



Universiteit  
Leiden

Copper8

# METAALVRAAG VAN ELEKTRISCH VERVOER

*Op weg naar duurzaam, eerlijk en toekomstbestendig personenvervoer*

# 00

## SAMENVATTING

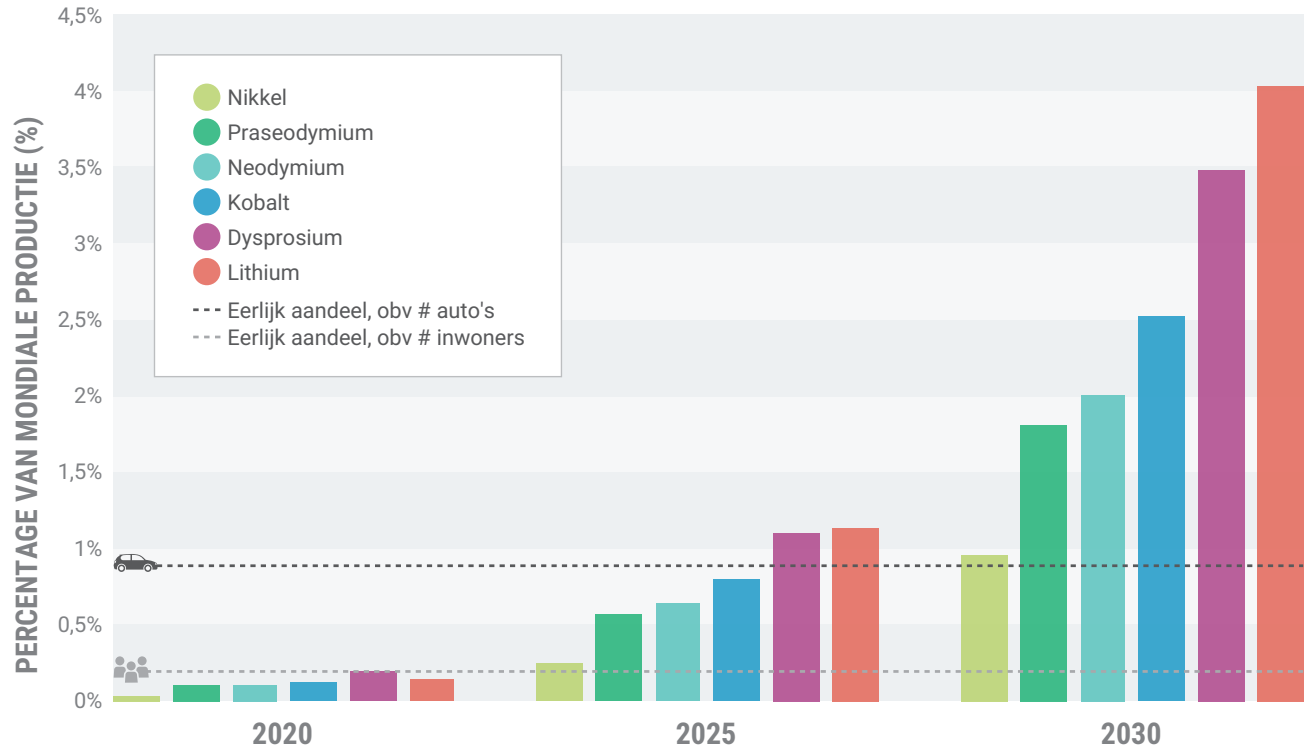


Fig. 1 Benodigde kritieke metalen voor elektrische voertuigen in Nederland, als percentage van de wereldwijde jaarproductie van deze kritieke metalen.

De huidige globale productie van sommige kritieke metalen is onvoldoende voor de grootschalige overstap naar elektrisch vervoer. Berekeningen voor Nederland laten zien dat we in 2030 maximaal 1.000.000 elektrische auto's in Nederland kunnen hebben rijden. Uitgangspunt daarbij is dat we niet meer dan ons 'eerlijk deel' van de wereldwijde jaarproductie van belangrijke kritieke metalen gebruiken.

Om de gestelde klimaatdoelen te realiseren moeten er voldoende elektrische auto's beschikbaar zijn. Van een aantal specifieke metalen die cruciaal zijn voor elektrische voertuigen – nikkel, praseodymium, neodymium, kobalt, dysprosium en lithium – lijkt in de productiecapaciteit echter een tekort te ontstaan. Dit kan de uitrol van elektrisch vervoer belemmeren. Daarnaast zijn deze metalen ook nodig voor andere toepassingen, zoals zonnepanelen, windmolens en consumentenelektronica.

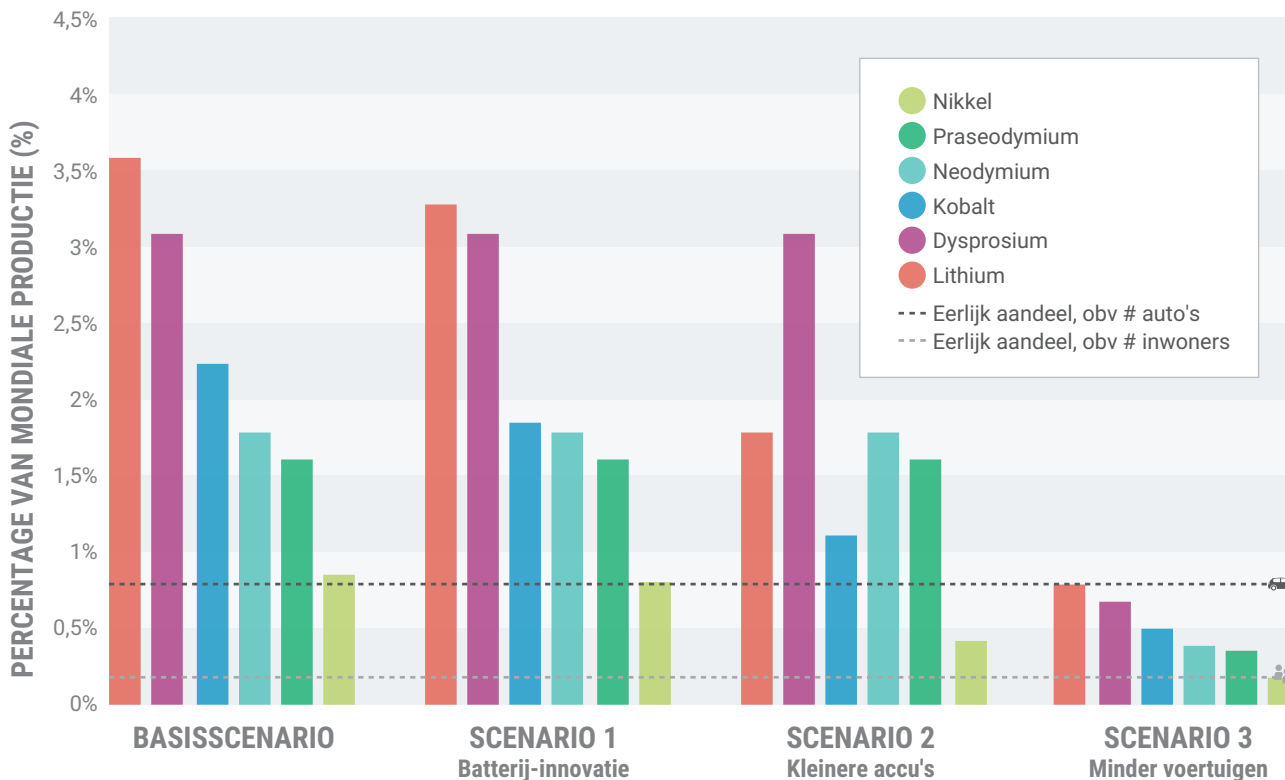
## COMPLEXE KETENS VAN KRITIEKE METALEN

De ketens van kritieke metalen zijn lang en complex. Opschaling kost veel tijd, vraagt grote investeringen, en niet alle theoretische reserves zijn technisch of economisch winbaar. Daarnaast worden kritieke metalen gebruikt om geopolitieke invloed uit te oefenen, en staan mijnbouwactiviteiten bekend om de vele mensenrechtenschendingen en grote milieuschade.

Als niet op tijd wordt begonnen met opschaling van productie, worden deze kritieke metalen schaars. Deze schaarste leidt tot toenemende competitie, zowel tussen toepassingen als tussen landen. Door wereldwijd groeiende vraag naar kritieke metalen, neemt de kans op geopolitieke problemen ieder jaar verder toe. Tekorten of onderbrekingen in de toevoer van kritieke metalen kunnen de ontwikkeling van elektrisch vervoer vertragen: iets dat we niet kunnen gebruiken vanuit onze klimaatopgave.

## DRIE OPLOSSINGSRICHTINGEN

Om de klimaatdoelen te halen is het belangrijk om voertuigen op fossiele brandstoffen uit te faseren. Waterstofauto's zijn vanuit een nationaal perspectief voor personenvervoer geen reële mogelijkheid, omdat duurzame waterstof hard nodig is voor andere toepassingen. Uitgaande van elektrische auto's als technologie zijn er drie oplossingsrichtingen om de vraag naar kritieke metalen te beperken, die ieder zijn uitgewerkt in een scenario:



### 01 Batterij-innovatie

Door substitutie van kritieke metalen met andere metalen kan de afhankelijkheid van specifieke metalen worden beperkt. Dit lijkt maatschappelijk de meest eenvoudige oplossing, maar is technisch op korte termijn niet reëel.

### 02 Kleinere accu's

Door vaker te kiezen voor voertuigen met een kleiner bereik neemt de benodigde hoeveelheid metalen voor de accu af. De metaalvraag voor de elektromotor blijft echter, waarmee de effectiviteit beperkt is;

### 03 Minder voertuigen

Door een effectiever gebruik van onze voertuigen kan het aantal voertuigen afnemen. Daarmee vermindert direct de behoefte aan kritieke metalen. Dit is verreweg de meest effectieve oplossing, maar maatschappelijk de meest complexe.

Fig.  
2

Drie scenario's voor het beperken van de metaalvraag van elektrisch vervoer





## AANBEVELINGEN

De afspraken in het Klimaatakkoord gaan uit van een exponentiële groei van elektrische auto's tot en met 2030. Ook na 2030 blijven nieuwe elektrische auto's nodig, als vervanging van auto's die het einde van hun levensduur hebben bereikt. Dit leidt naar verwachting tot een sterk groeiende vraag naar kritieke metalen. Om te komen tot een mobiliteitssysteem op basis van elektrische voertuigen, dat ook vanuit materiaal oogpunt toekomstbestendig is, doen wij zes aanbevelingen:

- 1** Zet in op nieuwe mobiliteitsconcepten met minder voertuigen
- 2** Investeer in toekomstbestendige infrastructuur en voorkom lock-ins
- 3** Stimuleer elektrische voertuigen met kleine batterijen voor regionale oplossingen
- 4** Ontwikkel een Nederlandse recycling-industrie voor kritieke metalen
- 5** Ondersteun duurzame mijnbouwinitiatieven om de impact op mens en milieu te minimaliseren
- 6** Stimuleer de ontwikkeling van nieuwe batterijtypes op Europees niveau

# INHOUDSOPGAVE

02

---

00 SAMENVATTING

06

---

01 INTRODUCTIE

08

---

02 NEDERLANDSE CONTEXT  
& ONTWIKKELINGEN

12

---

03 METAALBUDGET VOOR  
ELEKTRISCH VERVOER

16

---

04 CONTEXT: EEN  
COMPLEXE KETEN

22

---

05 OPLOSSINGSRICHTINGEN:  
DRIE TOEKOMSTSCENARIO'S

28

---

06 AANBEVELINGEN

30

---

07 VERANTWOORDING

34

---

BIJLAGEN

# 01

## INTRODUCTIE

In juni 2019 is het Klimaatakkoord gepresenteerd, waarin partijen de breed gedragen verplichting aan zijn gegaan om in 2050 de nationale CO<sub>2</sub>-emissies met 95% te hebben gereduceerd<sup>1</sup>. Onderdeel van dit akkoord is onze mobiliteit. Daarbinnen wordt er voor personenvervoer vaak gekeken naar elektrische auto's als kansrijke oplossing. Elektrische auto's zijn schoner, efficiënter en kunnen gebruik maken van duurzame elektriciteit. De markt groeit gestaag: alle grote autoproducenten hebben inmiddels een elektrisch model op de markt gebracht, en alleen al in Nederland worden iedere maand bijna 2500 elektrische auto's verkocht<sup>2</sup>. Nederland loopt - samen met onder andere Noorwegen - internationaal voorop in de uitrol van elektrisch vervoer.

De productie van die elektrische auto's vraagt om de toepassing van kritieke metalen (voorbeeld: kobalt), onder meer voor de elektromotor en batterijen. Wereldwijd is er een groeiende afhankelijkheid van kritieke metalen, wat ook in de media het afgelopen jaar sterker zichtbaar is geworden<sup>3</sup>. Door de handelsoorlog tussen de Verenigde Staten en China wordt de afhankelijkheid van Chinese metaalproductie duidelijk zichtbaar, bijvoorbeeld voor het metaal praseodymium<sup>4</sup>. Wanneer een aantal kritieke metalen niet meer wordt geëxporteerd, kunnen bepaalde producten mogelijk niet meer gemaakt worden. Dat geldt niet alleen voor elektrische auto's, maar ook voor bijvoorbeeld zonnepanelen of industriële apparatuur.

Dit materialenvraagstuk krijgt momenteel nog maar beperkt aandacht. Voor elektrisch vervoer liggen er echter belangrijke vragen. Welke materialen zijn nodig voor de Nederlandse opgave, en in welke hoeveelheden? Waar komen deze materialen vandaan? En hoe kunnen we toekomstig hergebruik van deze materialen organiseren om afhankelijkheid van import te verminderen? Met deze studie willen we inzicht krijgen in deze vragen, en op die manier bijdragen aan een écht toekomstbestendig mobiliteitssysteem.

## AFBAKENING: KRITIEKE METALEN IN PERSONENAUTO'S EN LAADINFRASTRUCTUUR

In dit onderzoek maken we de behoefte aan kritieke metalen voor elektrische personenauto's en de bijbehorende laadinfrastructuur in Nederland inzichtelijk. Daarbij kijken we zowel naar voertuigen met alleen een batterij (BEV), als naar hybride voertuigen (PHEV). Lichte, elektrische stadsdistributie valt buiten scope, omdat de ontwikkelingen hierop lastig voorspelbaar zijn. Ook zwaar vracht- en busvervoer blijven buiten scope: vrachtvervoer omdat andere technologieën daar naar verwachting beter geschikt voor zijn, en busvervoer omdat het een relatief klein aantal voertuigen betreft (+/- 5200)<sup>5</sup>. Tot slot kijken we niet naar de eventueel benodigde netverzwaring, omdat daarbij ook veel andere factoren een rol spelen (voorbeeld: elektrificatie van warmtevoorziening in de gebouwde omgeving).

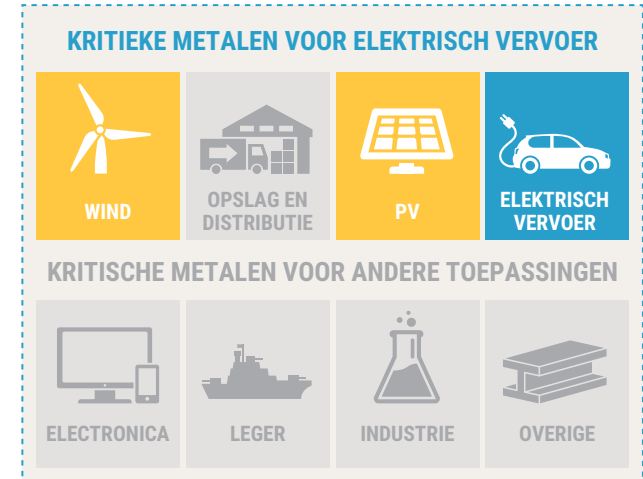


Fig. 3 Dit onderzoek richt zich op de metaalvraag van elektrisch personenvervoer, en vult aan op eerder onderzoek over de metaalvraag van windmolens en zonnepanelen.





## HET VOLGENDE PUZZELSTUKJE

In september 2018 hebben wij de studie *Metaalvraag van de Energietransitie* gepubliceerd<sup>6</sup>. Die studie liet zien dat Nederland, om haar doelen uit het klimaatakkoord op het gebied van duurzame elektriciteitsproductie te halen, meer kritieke metalen nodig heeft dan haar 'eerlijke deel' van de wereldwijde jaarproductie. Met deze studie leggen wij een volgend stukje in deze complexe puzzel van het gebruik van onze kritieke metalen: de metaalvraag van elektrisch personenvervoer.



## 02

# NEDERLANDSE CONTEXT & ONTWIKKELINGEN

Nederland heeft grote uitdagingen om haar economie te verduurzamen. Daarom zijn zowel op klimaat als op circulaire economie nationale doelstellingen geformuleerd. Op het gebied van klimaat wil Nederland in 2050 de CO<sub>2</sub>-uitstoot met 95% hebben verminderd ten opzichte van 1990. In 2030 moet er een reductie van 49-55% zijn gerealiseerd, mede afhankelijk van het ambitieniveau van de rest van de Europese Unie<sup>7</sup>.

Naast het klimaatakkoord heeft Nederland de ambitie om circulair te worden. De toenemende afhankelijkheid van schaarse grondstoffen is daar een van de redenen voor, naast de explosieve groei in grondstofverbruik - en de bijbehorende milieu-impact - in algemene zin<sup>8</sup>. Ook hiervoor zijn doelstellingen geformuleerd: we willen 100% circulair zijn in 2050, en ons primair grondstofverbruik in 2030 met 50% hebben teruggebracht.

Ook wil Nederland voorop lopen op het gebied van elektrisch vervoer, een ambitie die in 2009 voor het eerst is geformuleerd<sup>9</sup>. Die koplopersrol uit zich enerzijds in de publiek gefinancierde uitrol van laadinfrastructuur, in de vroege jaren van elektrisch rijden. Daarnaast vallen elektrische auto's in een gunstig belastingregime, al wordt dit vanaf januari 2020 stapsgewijs afgebouwd. Tot slot heeft Nederland de afgelopen jaren ruim baan geboden voor tests met zelfrijdende, elektrische auto's.



## NATIONAAL BELEID: KLIMAAT

In het Klimaatakkoord wordt ingezet op het uitrollen van elektrisch vervoer om de nationale CO<sub>2</sub>-emissies te verlagen. Elektrische personenauto's worden daarbij genoemd als bouwsteen van het mobiliteitssysteem van de toekomst, in combinatie met waterstofvoertuigen voor zwaarder transport en een versterking van het openbaar vervoer. Voor mobiliteit moet dit leiden tot een

emissiereductie van 7,3 Mton CO<sub>2</sub> in 2030 (ruim 20%), waarmee de maximale uitstoot moet uitkomen op 25 Mton<sup>1</sup>. De doelstellingen voor de aantallen elektrische auto's voor de komende jaren zijn samengevat in tabel 1. Overigens zijn de tussendoelen in het Klimaatakkoord naar beneden zijn bijgesteld ten opzichte van eerder beleid<sup>9</sup>: 166.228 in 2020 (was 200.000), en 589.355 in 2025 (was 1.000.000).

Tabel 1 De doelstellingen op elektrisch vervoer, op basis van het Klimaatakkoord<sup>2</sup>

DOELSTELLINGEN ELEKTRISCH RIJDEN			
JAAR	AUTO'S (BEV + PHEV)	LAADPUNTEN	(WAARVAN SNELLAAD)
2020	166.228	222.840	1.322
2025	589.355	678.657	3.699
2030	1.947.946	1.741.500	9.740

## Noodzakelijke systeemveranderingen in mobiliteit

Het Klimaatakkoord geeft al aan dat het niet haalbaar is om alle bestaande benzine- en dieselauto's 1-op-1 te vervangen door elektrische auto's. Daarvoor zijn twee belangrijke redenen. Allereerst loopt het verkeer simpelweg vast als gevolg van het absolute aantal voertuigen: de filedruk en vertraging nemen naar verwachting de komende jaren verder toe<sup>10</sup>. Daarnaast lopen belastinginkomsten flink terug bij een afname van fossiel aangedreven auto's: meer dan de helft van Rijksinkomsten uit mobiliteit (in 2018 zo'n € 8 miljard)<sup>11</sup> komt van accijns op brandstoffen.



Daarom schetst het Klimaatakkoord drie noodzakelijke systeemveranderingen, die op hoofdlijnen ook worden geadviseerd door de Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur (#1 en #2)<sup>12</sup>, en worden onderschreven door de Mobiliteitsalliantie (#3)<sup>13</sup>:

1. Het omvormen van het Infrastructuurfonds naar een Mobiliteitsfonds, waardoor de financiële middelen niet meer worden verdeeld per infrastructuurtype (weg, spoor, waterweg), maar op basis van de mobiliteitsopgave.
2. Het opstellen van regionale mobiliteitsplannen voor bereikbaarheid, waarbij regionaal wordt gekeken naar de beste oplossing in samenhang met verschillende mobiliteitsdiensten.
3. Een andere belastingsystematiek, die uitgaat van 'betalen naar gebruik', eventueel gespecificeerd op basis van emissies, locatie en/of tijdstip.



## NATIONAAL BELEID: CIRCULAIRE ECONOMIE

Nederland heeft de ambitie uitgesproken voor een circulaire economie in 2050. In die ambitie wil Nederland in 2030 de helft minder primaire grondstoffen verbruiken dan in 2015. Met een circulaire economie bouwen we onze afhankelijkheid van kritieke metalen af: van de 54 kritieke metalen die Europa gebruikt, moet 90% worden geïmporteerd<sup>7</sup>. De Transitieagenda Circulaire Maakindustrie schetst het steeds 'slimmer' worden van auto's, waardoor deze efficiënter gebruikt kunnen worden<sup>14</sup>. Als gevolg daarvan zijn minder voertuigen en daarmee minder grondstoffen nodig.



## NATIONAAL BELEID: ELEKTRISCH VERVOER

Nederland werkt al jaren aan het stimuleren van elektrisch vervoer, en is een van de internationale koplopers op dit vlak. In opeenvolgende plannen wordt het beleid op het gebied van elektrisch (personen)vervoer verder uitgewerkt. Samenvattend worden er doelstellingen geformuleerd en beleidsinstrumenten benoemd om het aantal elektrische auto's te stimuleren. Er is echter nauwelijks aandacht voor de rol van kritieke metalen.

De hoofdlijnen van de meest relevante beleidsdocumenten zijn als volgt: In het Plan van Aanpak Elektrisch Rijden (2009) schetst de Rijksoverheid een eerste beeld van de toekomst van elektrisch vervoer. Voor 2015 wordt er gestreefd naar 20.000 elektrische auto's, voor 2020 naar 200.000, en in 2025 moeten dit er 1.000.000 zijn<sup>8</sup>.

- Het Plan van Aanpak Elektrisch Rijden in de Versnelling (2011) behoudt deze doelstellingen, en richt zich in de uitrol op focusgebieden voor de aanleg van laadinfrastructuur, de fiscale maatregelen voor aanschaf van elektrische auto's (voorbeeld: nultarief voor de bijtelling) en een uniform systeem voor laad- en betaaldienstverlening<sup>9</sup>.
- De Schets Mobiliteit naar 2040: veilig, robuust, duurzaam - het meest recente toekomstbeeld van de Nederlandse mobiliteit - benoemt acht speerpunten voor de toekomstige ontwikkeling van mobiliteit, waarvan duurzaamheid er één is. Hierin is nauwelijks aandacht voor de uitrol van elektrisch personenvervoer en wordt slechts beperkt geschetst

hoe ander vervoer dan met personenauto's eruit zou kunnen zien<sup>15</sup>.

- De Nationale Agenda Laadinfrastructuur geeft een aanpak voor de installatie van laadinfrastructuur de komende jaren, en noemt het doel van 1,7 miljoen laadpalen in 2030. Ook wordt ingezet op innovatie, waaronder smart charging, nieuwe mobiliteitsdiensten en autonoom rijden<sup>16</sup>.
- Het Meerjarig Missiegedreven Innovatieprogramma (MMIP) Duurzame Mobiliteit, dat voortkomt uit de Mobiliteitstafel van het Klimaatakkoord, geeft richting aan de innovatie die nodig is: zowel op de aandrijving van vervoersmiddelen en het gebruik van duurzame energiedragers, als op doelmatige vervoersbewegingen voor mensen en goederen<sup>17</sup>.

## Aanvullende ontwikkelingen

Naast specifiek beleid op elektrisch vervoer zijn er nog enkele aanvullende ontwikkelingen die invloed hebben op de uitrol van elektrisch vervoer. Allereerst is in afgesproken dat wordt toegewerkt naar 100% emissieloze nieuwverkoop van personenauto's in 2030<sup>18</sup>. Daarnaast stellen steeds meer steden milieuzones in: na Utrecht en Amsterdam nu ook Arnhem, Nijmegen en Rotterdam. Vooralsnog kunnen schone voertuigen mét emissie hier ook naar binnen, maar het is goed denkbaar dat voertuigen met emissies op termijn worden geweerd. Ook werkt het programma 'Beter Benutten' al sinds 2011 aan het verlagen van het aantal voertuigbewegingen, wat een basis is voor het verlagen van het totaal aantal voertuigen<sup>19</sup>.

Tot slot werkt het Rijk aan een Nationale Batterijenstrategie, onder meer vanwege de benodigde kritieke metalen. Belangrijke vraagstukken daarin zijn onder meer de benodigde technologische innovatie, de toenemende geopolitieke afhankelijkheid en de

organisatie van inzamel- en recyclingprocessen. Hierin komen ook maatschappelijke dilemma's terug, zoals brandveiligheid en toxiciteit van batterijen.

## TRENDS & CIJFERS

Het Nederlandse wagenpark groeit nog steeds, en niet alleen door het elektrische deel. Begin 2019 telde Nederland 12,7 miljoen wegvoertuigen<sup>20</sup>. 8,5 miljoen hiervan waren personenauto's: 0,9% van het wereldwijde totaal<sup>21</sup>. Met een Nederlandse stijging van 1,9% in het aantal voertuigen in 2018 (zo'n 160.000) was de groei van het aantal elektrische auto's beperkt: iets meer dan 20.000<sup>20</sup>. Enkele kerncijfers over het Nederlandse wagenpark zijn samengevat in figuur 4. Kerncijfers over elektrisch vervoer zijn samengevat in tabel 2.

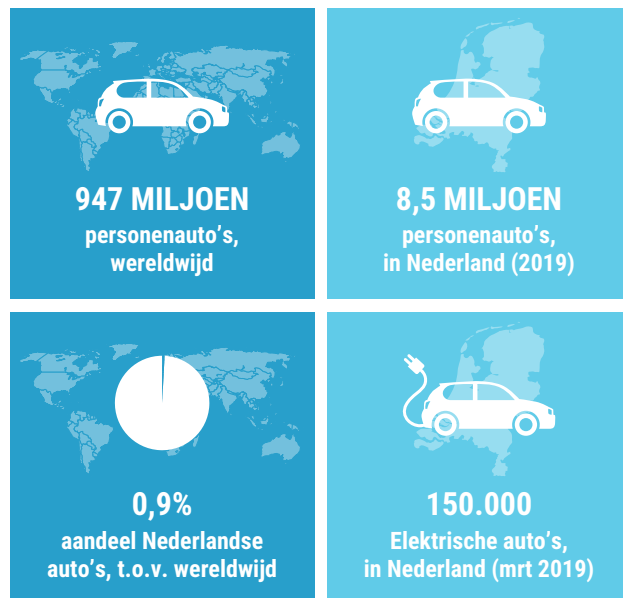


Fig. 4 Kerncijfers Nederlandse wagenpark, ook in verhouding tot de rest van de wereld<sup>20,21</sup>

	2017	2018	GROEI
BEV	21.115	44.984	+ 23.869 (+113%)
PHEV	98.217	97.702	- 515 (-0,5%)
TOTAAL	119.332	142.686	+ 23.354 (+20%)
REGULIERE LAADPUNTEN	32.875	35.861	+2.986 (+9%)
SNELLAAD-PUNTEN	755	1.116	+ 361 (+48%)
TOTAAL	33.630	36.977	+ 3.347 (+10%)

## WATERSTOFAUTO'S: EEN BEPERKTE ROL

Waterstof duikt regelmatig op als de energiedrager van de toekomst, zo ook in personenvervoer. Zowel batterij- als waterstof aangedreven auto's staan hoog in een trendanalyse onder CEO's uit de autosector<sup>22</sup>. Technologisch liggen er zeker mogelijkheden voor waterstofauto's: meerdere producenten hebben inmiddels immers modellen gelanceerd, zoals recentelijk de Toyota Mirai en de Hyundai Nexa.

NRC omschreef de vraag of de waterstofauto gaat winnen van de batterij-aangedreven elektrische auto als een 'welles-nietes-discussie'<sup>23</sup>. Belangrijkste argumenten vóór de waterstofauto zijn de snelle technologische ontwikkeling van brandstofcellen, de energiedichtheid en de tanksnelheid. Belangrijkste argumenten tegen zijn de waterstofauto zijn de grotere

energievraag per kilometer (vergeleken met een batterij-aangedreven auto) en het gebrek aan een infrastructuur om waterstof te transporteren. Overigens geldt zowel voor waterstof- als voor batterij-aangedreven auto's dat de huidige energie vooral fossiel is: waterstof wordt momenteel vooral gewonnen uit aardgas ('grijze' waterstof), en elektrische auto's worden vaak opgeladen met fossiele stroom<sup>24</sup>.

## Waterstof nodig voor verschillende toepassingen

In het toekomstig energiesysteem is het belangrijk om te kijken naar de mogelijke toepassingen van waterstof, waar personenvervoer er slechts één van is. Voor sommige toepassingen zijn minder of zelfs geen alternatieven beschikbaar voor waterstof: denk bijvoorbeeld aan brandstof voor hogetemperatuurwarmte voor de industrie; aan grondstof voor onder meer kunstmest en de chemische industrie (voorbeeld: verpakkingsmateriaal, medicijnen, kleding), of aan brandstof voor vliegtuig- en scheepsverkeer<sup>25,26</sup>.

## Productiecapaciteit duurzame waterstof is onvoldoende

De huidige Nederlandse productie van 'groene' (uit duurzame energie) en 'blauwe' (uit aardgas, met CCS) waterstof is zo goed als nihil, het jaarlijkse verbruik is zo'n 100 PJ. Wanneer we toe willen naar duurzame waterstofproductie is het dus eerst nodig om deze basisbehoefte duurzaam te produceren, waarna er opgeschaald moet worden richting de 200 of zelfs 300 PJ in 2030<sup>26</sup>.

## Waterstofauto's geen prioriteit

Vanuit de beperkte beschikbaarheid van duurzame waterstof moeten er dus keuzes gemaakt worden in de toepassing. Er lijken andere functies dan personenvervoer waar waterstof harder voor nodig is in een klimaatneutrale economie, vooral omdat goede

alternatieven daar ontbreken. Dit is gevisualiseerd in de prioriteitenladder voor de toepassing van waterstof (figuur 5): auto's voor personenvervoer hebben daar een lage prioriteit. Mochten er toch waterstofauto's worden geïntroduceerd, dan is het aantal waarschijnlijk relatief beperkt ten opzichte van het benodigde aantal emissievrije auto's. Voor deze studie laten we waterstofauto's daarom buiten beschouwing in het toekomstig personenvervoer per auto.



Fig. 5 **Indicatieve prioriteitenladder voor de toepassing van waterstof, op basis van de 'ladder van waterstof'<sup>25</sup> en de onderbouwing van het Klimaatakkoord<sup>26</sup>**

## De CO<sub>2</sub>-winst van elektrisch rijden



Elektrische auto's hebben een flink lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot dan fossiel aangedreven auto's. De IEA heeft recent een overzichtstudie gepubliceerd op basis waarvan we kunnen stellen dat - voor de Nederlandse situatie - een elektrische auto over zijn hele levensduur zo'n 50% minder CO<sub>2</sub> uitstoot, ten opzichte van een gelijksoortige benzineauto. De CO<sub>2</sub> besparing kan oplopen tot 70% als de Nederlandse energiemix verder decarboniseert, en kan nog verder verbeteren bij schonere productie en een langere levensduur van batterijen<sup>28</sup>.

Er is echter regelmatig discussie over de duurzaamheid van EVs. Verschillende LCA-studies zouden naar verwachting ruwweg dezelfde resultaten moeten laten zien. Dat is echter niet het geval. Hoe komt dit?

LCAs nemen diverse variabelen mee, zoals de impact bij de productie van de auto en hoe duurzaam de gebruikte electriciteit is. Voor het bovenstaande getal van 50% CO<sub>2</sub> besparing zijn we uitgegaan van een elektrische auto met een relatief grote batterijcapaciteit (58 kWh), de Nederlandse energiemix van 2017, en een gemiddelde milieuschade bij de batterijproductie. Daar zijn echter keuzes in te maken. Twee voorbeelden:

- **Batterij:** een auto met een relatief kleinere batterij scoort ~10% beter dan een auto met een relatief grote batterij. Als je uitgaat van een schone batterijproductie scoort een EV over de hele levenscyclus 35-40% beter, dan als je uitgaat van het meest vervuilende productieproces<sup>27</sup>.
- **Energiemix:** de emissies van een elektrische auto zijn bij een schone energiemix flink lager dan bij een meer vervuilende energiemix. In Nederland is de CO<sub>2</sub>-intensiteit van de energiemix over de periode 2000-2017 gedaald van 550 gram/kWh naar 450 gram/kWh. De verwachting is dat deze in de toekomst sterk zal dalen, mede- als gevolg van de grote hoeveelheid windenergie, met een CO<sub>2</sub>-intensiteit van zo'n 12 gram/kWh<sup>29</sup>.

Dit soort keuzes zijn opgenomen in de methodologie, maar raken vaak verloren in het maatschappelijk debat.

## 03

# METAALBUDGET VOOR ELEKTRISCH VERVOER

In de huidige discussies rondom elektrisch vervoer lijkt de aanname te zijn dat er altijd kan worden voldaan aan de vraag naar elektrische auto's. Immers: we moeten alle doelstellingen halen, willen we de ambities uit het klimaatakkoord realiseren. De praktijk zal naar verwachting weerbarstiger zijn: onder meer de beschikbaarheid van

kritieke metalen is simpelweg beperkt. Dit hoofdstuk presenteert een basisscenario voor de metaalvraag van onze elektrische auto's, wanneer we sturen op de huidige doelstellingen uit het Klimaatakkoord. Daarnaast wordt een indicatie gegeven van de metaalvraag van laadinfrastructuur.

## BASISSCENARIO

### Opbouw basisscenario: groei elektrische auto's

In 2018 reden er ruim 142.000 elektrische auto's (BEV + PHEV) op de weg in Nederland: 23.000 meer dan het jaar ervoor<sup>2</sup>. Waar de hoeveelheid PHEV's in 2018 licht daalde (-0,5%), groeide het aantal BEV's met maar liefst 113%. De opgave is echter een stuk groter wanneer we dit vergelijken met het totaal aantal verkochte auto's in 2018: 447.000<sup>30</sup>. Het aantal nieuw te verkopen elektrische auto's moet de komende jaren dus behoorlijk groeien.

Op basis van de doelstellingen uit het Klimaatakkoord (voor 2020, 2025 en 2030) en de huidige hoeveelheid elektrische auto's hebben we een exponentieel groeiscenario gemodelleerd voor het aantal elektrische auto's. In dit scenario neemt het aantal nieuwe elektrische auto's per jaar toe van bijna 29.000 in 2020 tot 131.000 in 2025 en 414.000 in 2030. Door de sterke ontwikkeling van BEV gaan we ervan uit dat in 2030, 90% van het wagenpark bestaat uit volledig elektrische auto's en nog maar 10% uit hybrides. De bronnen voor het scenario zijn nog verder toegelicht in de verantwoording.

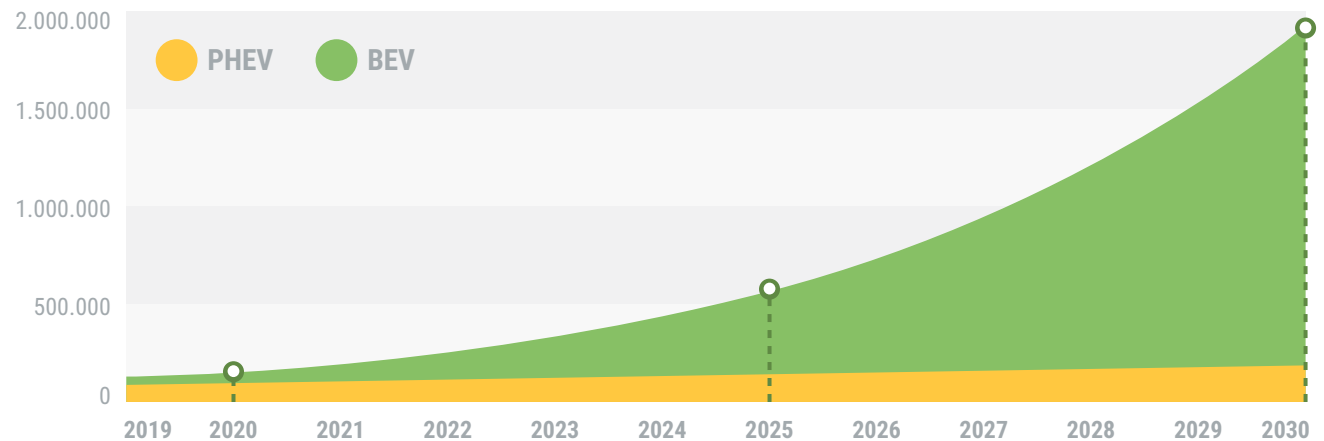


Fig. 6 Het aantal elektrische auto's in Nederland tot 2030, inclusief de verhouding tussen BEV en PHEV. De stipjes zijn de doelstellingen uit het Klimaatakkoord.



## JAARLIJKSE METAALVRAAG ELEKTRISCH PERSONENVERVOER IN NEDERLAND

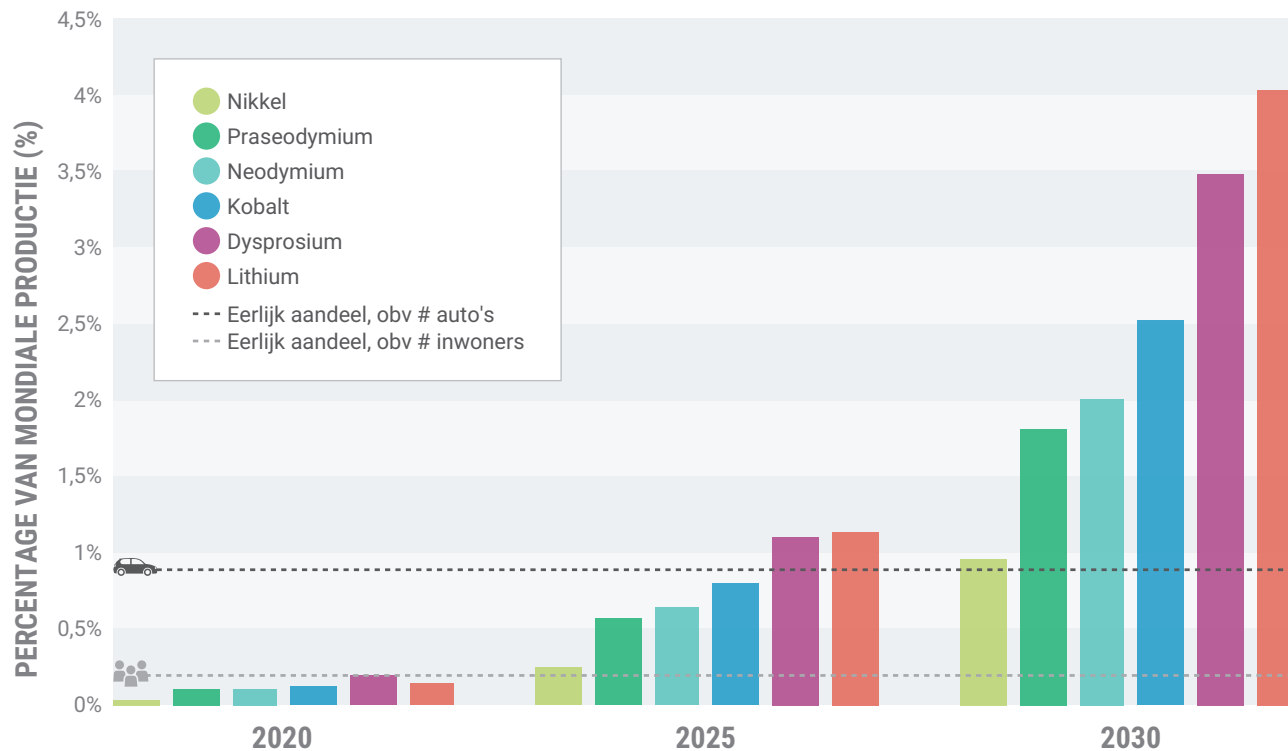


Fig. 7 Basisscenario voor de benodigde hoeveelheid kritieke metalen per jaar tussen 2020 en 2030 voor elektrisch personenvervoer in Nederland, als percentage van de huidige wereldwijde jaarproductie (2018).

Figuur 7 toont de verwachte jaarlijkse behoefte aan een aantal kritieke metalen, die nodig zijn voor het elektrificeren van het wagenpark. Deze hoeveelheid is uitgedrukt als percentage van de wereldwijde jaarproductie van deze metalen. De grafiek toont de behoefte voor het jaar 2030, wanneer er zo'n 414.000 elektrische auto's per jaar bij komen.

## CONCLUSIES

- Voor vijf verschillende metalen hebben we in 2030 ruim meer dan 1% van de huidige wereldwijde jaarproductie nodig. Dit is meer dan het Nederlandse aandeel van het wereldwijde wagenpark (0,9%) of het Nederlandse aandeel van de wereldwijde bevolking (0,2%).

- De vraag naar kritieke metalen voor elektrisch vervoer in 2030 is 17 tot 28 keer groter dan in 2020. Het gemiddelde jaarlijkse groeipercentage tussen 2020 en 2030 in de behoefte van deze metalen is 33-40%.
- De elementen neodymium, dysprosium en praseodymium - die in elektrische auto's nodig zijn voor elektromotoren - zijn ook nodig voor het produceren van zonnepanelen en windmolens. Deze schaarste zorgt voor spanning tussen verschillende duurzame oplossingen.

## METHODE

- Voor de jaarlijkse groei in elektrische voertuigen zijn we uitgegaan van een exponentiële groeicurve tussen het huidige aantal elektrische voertuigen (eind 2018) en de einddoelstelling van 1,9 miljoen elektrische voertuigen in 2030.
- Voor de batterijcapaciteit van een elektrische auto gaan we uit van een stijging tussen 2019 en 2030 van 58 kWh naar 75 kWh (voor BEV) en van 10 kWh naar 12,5 kWh (voor plug-ins), op basis van de projecties van de International Energy Agency<sup>31</sup>.
- Voor het bepalen van de metaalvraag per voertuig (batterij + elektromotor) gaan we uit van een ontwikkeling in batterijtechnologie op basis van prognoses van McKinsey 2018<sup>32</sup>, die overeenkomen met projecties van de Benchmark Minerals Intelligence<sup>33</sup>.
- Voor het bepalen van de metaalproductie is gebruik gemaakt van de productiecijfers van de USGS<sup>34</sup>. De huidige productie is bewust gebruikt omdat de groei lastig te voorspellen is voor de meeste metalen.

## HERKOMST VAN METALEN: TOEPASSING EN AANDEEL IN DE WERELDWIJDE PRODUCTIE

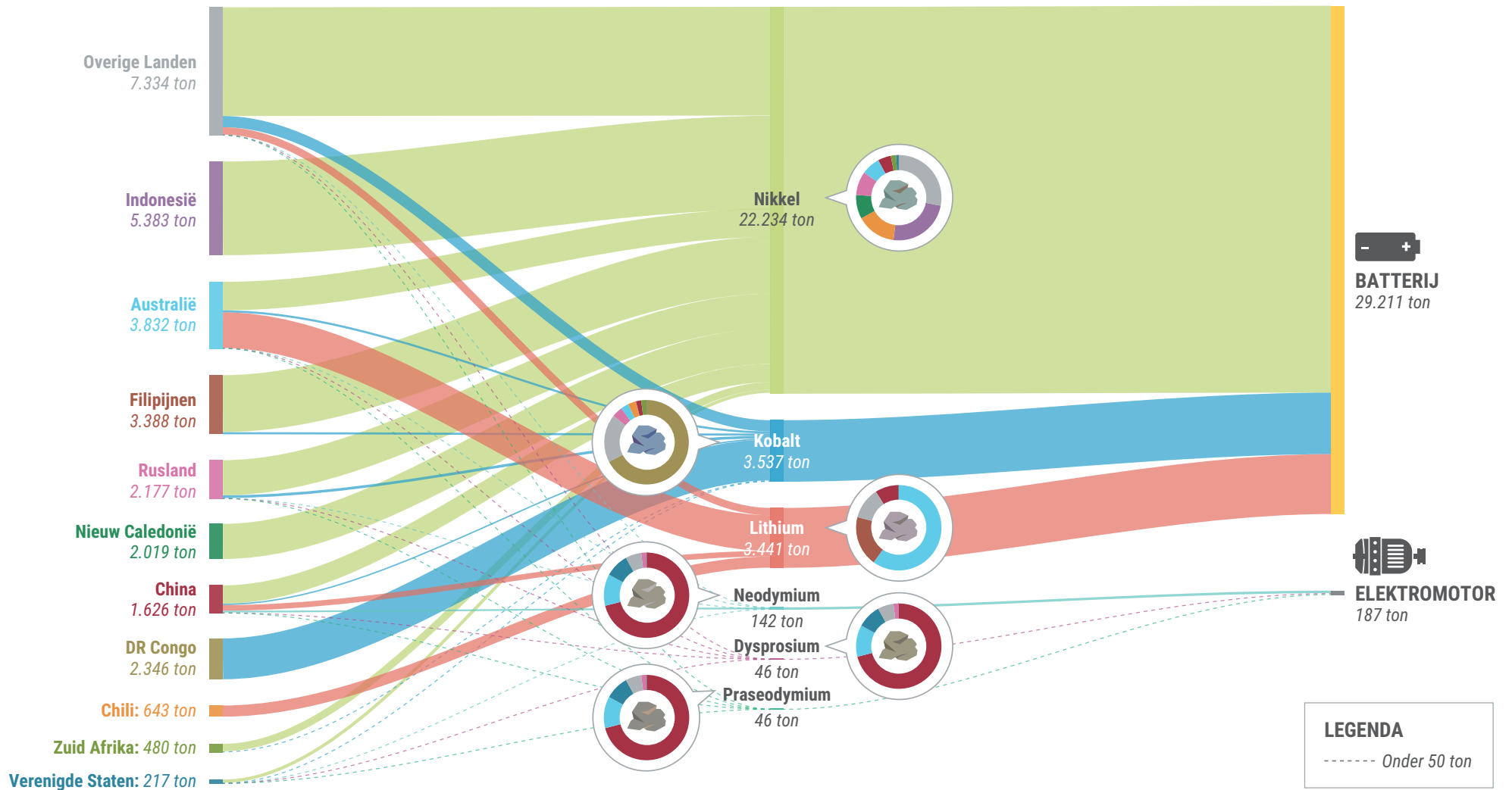


Fig. 8 De herkomst van kritieke metalen in het basisscenario, uitgaande van de metaalvraag in 2030 en de wereldwijde jaarproductie in 2018<sup>34</sup>. Het stroomdiagram toont de herkomst van de metalen (links) en hun toepassing (rechts). De taartdiagrammen laten de productieverhoudingen van deze metalen tussen verschillende landen zien.

Van de zes kritieke metalen die voor elektrisch vervoer nodig zijn, is in kaart gebracht waar deze op dit moment worden gewonnen. Voor de meeste ertsen is dat in een beperkt aantal landen. Europa delft nauwelijks grondstoffen voor batterijen en elektromotoren. Belangrijk is dat deze ertsen - na winning - ook nog moeten worden verwerkt tot componenten en producten. Hierbij kan ook afhankelijkheid ontstaan.

## CONCLUSIES

- Elf landen zijn samen goed voor 72% tot 94% van de huidige wereldproductie van deze zes kritieke metalen. Dit maakt de toelevering gevoelig voor geopolitieke ontwikkelingen.
- In absolute zin (massa) is nikkel van deze zes metalen het meeste nodig. In relatieve zin (verhouding tot totale productie) is nikkel echter veel minder kritisch. Wel is de productie van nikkel verspreid over meerdere landen.
- China controleert 71% van de mondiale productie van neodymium, praseodymium en dysprosium. Hoewel kobalt voornamelijk in Congo wordt gewonnen, vindt 80-90% van de wereldwijde raffinage plaats in China. Ook bijna de helft van de wereldwijde lithiumproductie is in handen van China<sup>35</sup>. China is dus een dominante speler.

## METHODE

- De productiegegevens zijn afkomstig van de United States Geological Survey (USGS)<sup>34</sup>. Omdat de groei van productiecapaciteit van deze kritieke metalen moeilijk opschaalbaar en tevens lastig te voorspellen is, zijn de productiecijfers over 2018 als uitgangspunt genomen.

### Metaalvraag van laadinfrastructuur

De metaalvraag voor de laadinfrastructuur, de laadpalen en eventuele netverzwaring die nodig is om de laadpalen aan te sluiten, is niet meegenomen in dit rapport omdat de benodigde hoeveelheid kritieke metalen in verhouding tot de metalen in elektrische auto's beperkt is. De samenstelling van laadpalen is divers en afhankelijk van onder andere het type aansluiting, aantal aansluitingen en leverancier. De meeste laadpalen bestaan tenminste uit de volgende componenten:

- Behuizing (vaak van aluminium)
- Controle- en besturingssysteem
- Hoofdschakelaar en zekeringen
- Een elektriciteitsmeter (intern of extern)

Het is lastig om een kwantitatieve inschatting te maken van de precieze metaalvraag van de laadpalen in Nederland. Dit heeft onder meer te maken met de steeds groter wordende diversiteit in laadpalen, met de grote diversiteit aan metalen in de componenten binnen een laadpaal, en met het verschillende aantal laadpunten ('stopcontacten') per laadpaal. Ter illustratie: alleen al voor een elektriciteitsmeter, waarvan er één in iedere laadpaal zit, is de exacte samenstelling tot op metaalniveau nauwelijks aan te tonen<sup>36</sup>.



Een laadpaal bevat een kleine hoeveelheid kritieke metalen in de elektronische componenten. Gezien het gemiddelde gewicht van een (semi)publieke laadpaal, variërend tussen de 30 en 80 kilogram, nemen we aan dat het volume kritieke metalen in een laadpaal in verhouding tot het volume kritieke metalen in een elektrische auto verwaarloosbaar is. Ter illustratie: voor koper - het meest voorkomend metaal in een laadpaal - gaat het hier om zo'n 147.000 kg<sup>37</sup> voor bijna 41.000 laadpalen, zo'n 3,5 kilo per laadpaal.

Op dit moment is het aantal (semi-)publieke laadpunten in Nederland ongeveer gelijk aan het aantal elektrische auto's<sup>2</sup>. De verwachting is dat deze verhouding verschuift van 1:1 (laadpunten: auto) naar 1:2<sup>16</sup>. Daarmee neemt de relatieve bijdrage in de metaalvraag van laadpunten verder af.

- De benodigde hoeveelheden metalen per land (linkerzijde figuur) is vervolgens bepaald op basis van de aandelen van deze landen in de wereldwijde jaarproductie.
- Per metaal zijn de productieverhoudingen tussen de verschillende landen (ook over 2018) weergegeven in de taartdiagrammen.

# 04

## CONTEXT: EEN COMPLEXE KETEN



Fig.  
9

De keten van een kritiek metaal, van mijnbouw tot en met recycling.

De beschikbaarheid van kritieke metalen gaat gepaard met grote onzekerheden. Dit komt voort uit een aantal aspecten, waaronder onduidelijkheid over de voorraden van metalen; de samenhang met andere metalen in de winning van grondstoffen; de complexiteit rondom en gevolgen van substitutie; en verschillende sociale en geopolitieke aspecten. et scenario zijn nog verder toegelicht in de verantwoording.

De meest gestelde vraag in discussies over beschikbaarheid van kritieke metalen gaat over hoe groot de voorraad nog is. De identified reserves zijn vaak meer dan voldoende. Dat is echter niet relevant, omdat de beschikbaarheid wordt beperkt door de productiecapaciteit. Deze productiecapaciteit kent technische grenzen (wat kan er gewonnen worden met de huidige techniek?), economische grenzen (wat is winstgevend om te winnen?) en maatschappelijke grenzen (wat is de sociale- en milieu-impact?).





## Verschillende definities van reserves

In discussies over beschikbaarheid van metalen worden vier definities gebruikt<sup>38</sup>:

- **Reserves:** de ertsen die bij huidige marktomstandigheden kunnen worden gewonnen.
- **Reserve base:** alle ertsen die met bestaande technologieën gedolven kunnen worden, inclusief ertsen die op dit moment marginaal of deels niet rendabel zijn.
- **Identified reserves:** alle bekende ertsen, inclusief ertsen die op dit moment niet rendabel te delven zijn. Deze categorie omvat ook een schatting van aannemelijke, maar niet 100% bewezen onrendabele ertsen.
- **Crustal abundance:** de statistisch gemiddelde hoeveelheid van een element in de gehele aardkorst, inclusief in niet-windbare gesteentes, zoals graniet. De concentratie metalen in de meeste gesteentes is overigens veel te laag voor commerciële mijnbouw.

Nieuws over materiaalschaarste gaat vaak uit van de reserves of de reserve base. Deze inschattingen geven echter geen accuraat beeld over de hoeveelheid metaal die er nog kan worden gewonnen. Door hogere prijzen of innovatie kan de reserves en de reserve base toenemen. Ook stoppen mijnbouwbedrijven vaak met (kostbare) exploratie als ze voldoende reserves hebben geïdentificeerd voor de komende twintig jaar.

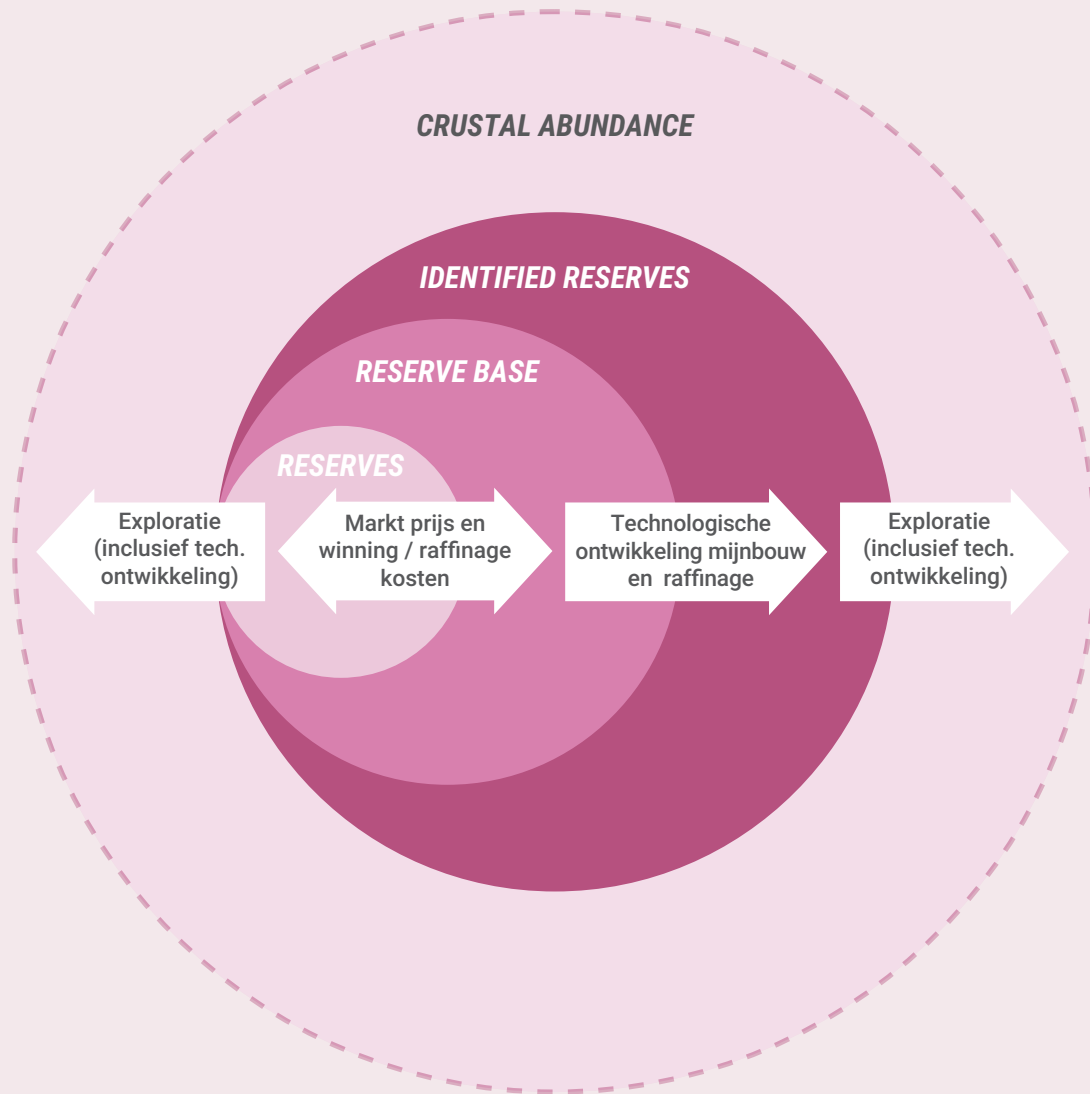


Fig. 10 Vier definities op de beschikbaarheid van metalen: van reserves tot en met de Crustal abundance.



## MIJNBOW

### Samenhang in grondstoffenwinning

De opschaling van productielocaties - of het openen van nieuwe mijnen - is vaak een lang en kostbaar proces. Als gevolg van onder meer verkenningen, vergunningen en de aanleg van infrastructuur duurt het openen van een nieuwe mijn zo'n 10-20 jaar. Als gevolg van deze lange termijn vraagt dit grote private investeringen en economische (bedrijfs)risico's voor mijnbouwbedrijven. Een snelle groei van de wereldwijde mijnbouwproductie zal dan ook niet plaatsvinden, ook niet bij een snel stijgende vraag.

Kritieke metalen worden vaak niet zelfstandig gewonnen. Het zijn vaak zogeheten companion metals: een bijproduct bij de productie van zogeheten major metals als koper, ijzer en zink. Ter illustratie: de Katanga-mijn van Glencore produceerde, in het eerste kwartaal van 2018, één ton kobalt per 55 ton koper<sup>39</sup>.

De prijs van een companion metal zal extreem moeten stijgen voordat er overproductie van het hoofdproduct plaats gaat vinden om een kleine hoeveelheid extra bijproduct te winnen. Anderzijds is de prijs van een companion metal soms zo laag dat een mijnbouwbedrijf niet de moeite neemt om het companion metal volledig te winnen. Als de vraag naar een companion metal stijgt, kan in zo'n geval de productie in eerste instantie relatief eenvoudig worden verhoogd. Echter, op het moment dat deze onbenutte productiecapaciteit volledig gebruikt is verdere opschaling praktisch onmogelijk en kan de prijs plots extreem stijgen. Omdat er weinig informatie beschikbaar is over de onbenutte productiecapaciteit is het voorspellen van prijsniveaus van companion metals erg moeilijk.

Niet alle kritieke metalen in dit rapport zijn companion metals: zo worden lithium en nikkel op zichzelf gewonnen. Zeldzame aardmetalen (REE) en kobalt zijn vaak een bijproduct, al zijn er enkele specifieke mijnen waar dit het hoofdproduct is. Ter illustratie: De Chinese Bayan Obo mijn, die momenteel een groot deel van de wereldproductie van zeldzame aardmetalen voor haar rekening neemt, was oorspronkelijk een ijzermijn, die toevallig ook REEs produceerde. Door de sterk stijgende prijs van REEs en de dalende concentratie ijzer in het erts veranderde de Bayan Obo in een mijn die primair REEs produceert, met ijzer als bijproduct.

### Geopolitieke, ecologische en sociale impact

Het feit dat er operationele mijnen aanwezig zijn voor een specifiek metaal, betekent niet dat dit metaal direct vrij beschikbaar is op de wereldmarkt. Er zijn drie belangrijke factoren die daarbij een rol spelen:

- **Protectionisme:** Producerende landen zijn dominante spelers wanneer het gaat over de beschikbaarheid van kritieke metalen: zij kunnen immers bepalen of zij een metaal exporteren of besluiten om het zelf te houden. Vooral China heeft haar export verlaagd om meer industrie aan te trekken. Immers: de transformatie van materialen naar producten leidt tot een hogere exportwaarde. De productie van zonnepanelen is een voorbeeld waar dit duidelijk zichtbaar wordt.
- **Milieufactoren:** Mijnbouw heeft grote milieueffecten op de gebieden waar dat plaatsvindt. Wettelijke standaarden rondom gezondheid en milieu werken kostenverhogend voor producenten, of mijnbouw zelfs onmogelijk maken. Door verschillen in milieuwetgeving kunnen dus verschillen in productie ontstaan. Ter illustratie: China is praktisch monopolist in de productie van zeldzame aardmetalen (REEs). Er is regelmatig

geprobeerd om het Chinese monopolie te doorbreken. Echter: de voormalig grootste REE-mijn (Mountain Pass, Californië) buiten China - die eerder om milieuredenen gesloten is gesloten - is heropend met een Chinese eigenaar, wat het monopolie verder versterkt. Een andere belangrijke productielocatie van REE's, van Lynas in Maleisië, ligt onder vuur bij de lokale bevolking wegens vermeende milieuproblemen<sup>40</sup>. Overigens worden ook in China regelmatig kleinere REE-mijnen gesloten wegens het veroorzaken van milieuschade.

- **Gedwongen arbeid:** Een belangrijk aandachtspunt in de keten van kritieke metalen is de arbeidsomstandigheden waaronder metalen worden gewonnen. Productiebedrijven van kritieke metalen staan bekend om de vele kinderarbeid, slechte arbeidsomstandigheden, geweld en corruptie. Recent onderzoek laat zien dat 20 van de 23 grootste mijnbouwbedrijven hier de afgelopen tien jaar mee te maken heeft gehad - ook specifiek rondom kobalt en lithium<sup>41</sup>. Een volledige keten zonder gedwongen arbeid lijkt op dit moment zo goed als onmogelijk.



## RAFFINAGE

### Geopolitieke dominantie China

Vaak wordt bij een analyse van geopolitieke afhankelijkheid alleen gekeken naar de locatie van de mijn. Kobalt wordt vooral in de Democratische Republiek Congo geproduceerd (>50%), waarmee de afhankelijkheid daar begint. Echter, de hele keten is van belang. Een studie van Benchmark Mineral Intelligence<sup>33</sup> stelt dat China 68% van de productie van Li-ion batterijen voor haar rekening neemt (tegenover 6,7% in Europa), en bovendien ~80% van de overige individuele processtappen in de productieketen.



## PRODUCTIE COMPONENTEN

### Complexiteit en gevolgen van substitutie

Bij plotseling stijgende materiaalprices wordt veel aandacht gevraagd voor het openen van nieuwe mijnen. Deze nieuwe mijnen komen echter vaak te laat om acute leveringsproblemen op te lossen. Bij disrupties in de levering zet de industrie daarom vooral in op substitutie. Substitutie kan plaatsvinden op het niveau van materialen (voorbeeld: vervanging van kobalt door nikkel in lithium-ionbatterijen), of het niveau van een technologie (voorbeeld: vervanging van neodymium-gebaseerde magneetmotoren door koper-gebaseerde inductiemotoren). Tot op heden is deze substitutie vaak reactief.

Substitutie kent vaak echter wettelijke beperkingen. Bij consumentenelektronica kan substitutie heel snel worden geïmplementeerd, omdat de veiligheidsvoorschriften relatief soepel zijn. In de auto-industrie duurt het toepassen van een nieuwe component al snel vijf jaar; in de defensie- en vliegtuigindustrie kan dit oplopen tot tien jaar<sup>42</sup>.



## RECYCLING

### Potentie

Op het moment dat er voldoende metalen van een specifieke soort in een economie in omloop zijn, kan het aanbod uit recycling een bijdrage leveren aan de vraag naar deze metalen. Een indicatieve berekening (figuur 11) laat zien dat de materiaalstroom uit recycling pas vanaf 2030 op gang komt, en pas vanaf 2040 een serieus aandeel in de totale metaalvraag kan vormen. Dat serieuze aandeel geldt alleen op het moment dat het recyclingpercentage voldoende hoog is. Tot die tijd

is er - door de snelle groei van de hoeveelheid benodigde metalen - simpelweg onvoldoende aanbod om zelfs bij volledige recycling aan de vraag te kunnen voldoen. Voorlopig blijft de afhankelijkheid van nieuwe metalen dus bestaan.

Daarbij liggen de huidige recyclingpercentages van kritieke metalen nog onder de 1%<sup>44</sup>. Dit is het gevolg van de technische complexiteit in de toepassing. Deze metalen zijn vaak onlosmakelijk met elkaar verbonden, en vermengd met andere materialen om de juiste eigenschappen te creëren. Dat maakt hoogwaardige terugwinning lastig. Ter illustratie: het Belgische Umicore, een wereldwijde koploper in recycling, slaagt er bij een telefoon slechts in om 8 van de 25 kritieke metalen terug te winnen voor hergebruik. De andere materialen gaan verloren in dat recyclingproces.

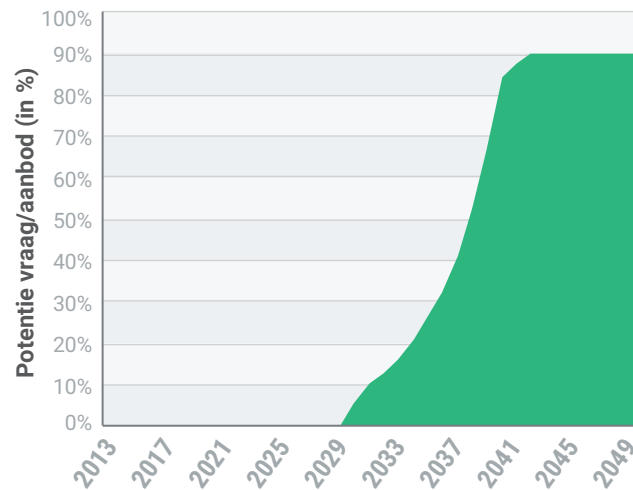


Fig. 11

**Indicatief aanbod van herbruikbare kritieke metalen uit elektrische voertuigen, bij een theoretisch recyclingpercentage van 90% en een levensduur (van zowel auto's als batterijen) van 15 jaar.**



## Mogelijkheden van substitutie

Om snelle batterij-innovatie (scenario 1) mogelijk te maken, is substitutie nodig. Substitutie kan plaatsvinden op twee niveaus<sup>43</sup>:

- **Materiaalniveau:** Voor een specifieke toepassing is een metaal vaak te vervangen. Voor roestvrij staal kunnen onder meer nikkel, chroom en vanadium worden gebruikt. In de lithium-ion batterijen van huidige EVs kan kobalt deels worden vervangen door nikkel. Bij katalysatoren zijn de platinum group metals relatief inwisselbaar. Bedrijven hebben dit soort alternatieven vaak op de plank liggen. Dit type substitutie kent echter ook haar grenzen: in een katalysator kan bijvoorbeeld wel platinum door palladium worden vervangen, maar niet door een metaal als ijzer of koper. Bij grootschalige substitutie kan vervolgens een tekort ontstaan van het alternatieve materiaal.
- **Technologieniveau:** Elektromotoren in elektrische voertuigen maken vaak gebruik van grote hoeveelheden neodymium in hun magneten, mede als gevolg van de hogere efficiëntie. Dit geldt echter niet voor alle modellen: Tesla gebruikt in haar Model S bijvoorbeeld koper-gebaseerde inductiemotoren, maar in haar Model 3 neodymium-magneet motoren. Deze dynamiek is vergelijkbaar met windturbines: sommige modellen hebben grote neodymium magneten, andere modellen hebben een mechanische versnellingsbak.

## STAND VAN ZAKEN RONDOM BELANGRIJKSTE METALEN



### Lithium

Lithium wordt voornamelijk gewonnen in Australië (uit het rotsachtige materiaal spodumeen) en Chili en Argentinië (uit zoutmeren). Bijna de helft van de wereldwijde lithiumproductie is op dit moment in Chinees eigendom, ondanks dat veel van de mijnen niet in China staan<sup>45</sup>.

De productie in Zuid-Amerikaanse zoutmeren kost veel water, dat gezien de toenemende droogte in deze regio's leidt tot conflicten tussen de lokale bevolking en mijnbouwbedrijven. Daarnaast leiden deze zoutmeren tot grote aantasting van het landschap, omdat deze open moeten worden gebroken om 'baden' te creëren waarin het water kan verdampen zodat het lithium kan worden gewonnen<sup>46</sup>. Lithiumproductie uit zeewater wordt vaak genoemd als oplossingsrichting voor de toekomst, maar vraagt veel energie per gram lithium.



### Kobalt

Ruim 60% van de wereldwijde productie vindt plaats in de Democratische Republiek Congo. De mijnbouw daar is berucht om zijn slechte arbeidsomstandigheden, kinderarbeid en corruptie<sup>47</sup>. Zelfs FairPhone, die alleen kobalt zonder conflict- en kinderarbeid wil gebruiken, heeft moeite deze keten transparant te krijgen<sup>48</sup>.

Congo en Marokko zijn bijzonder, omdat hier primair kobalt wordt gewonnen. De overige kobaltproductie is bijvangst van de koper- of nikkelmijnbouw. Mijnbouwbedrijven zijn huiverig om investeringen in aanvullende kobaltproductie te doen, omdat deze qua productiekosten moeilijk kunnen concurreren met Afrikaanse kobalt.



### Nikkel

Omdat nikkel grootschalig wordt gewonnen en toegepast - onder meer in roestvrij staal - wordt het niet als kritiek metaal aangemerkt. Nikkel is desondanks problematisch, omdat de productie gepaard kan gaan met grote milieuschade. Norilsk, de thuisstad van een van 's werelds grootste nikkelproducenten (Norilsk Nickel), is tevens een van de meest vervuilde steden ter wereld<sup>49</sup>.

In 2017 werden in de Filipijnen 23 mijnen - overwegend nikkelmijnen - gesloten als gevolg van hun milieuschade<sup>50</sup>. Er zijn naar verwachting nog flinke onontdekte reserves in het Arctisch gebied en op oceanbododem, maar winning hiervan zal gepaard gaan met enorme risico's voor kwetsbare ecosystemen. Daarbij bevat nikkelerts relatief veel companion metals, waarvan de beschikbaarheid afhankelijk is van de vraag naar nikkel.



### Zeldzame aardmetalen: Neodymium, Dysprosium, Praseodymium

De winning van de zeldzame aardmetalen neodymium, dysprosium en praseodymium vindt voor het overgrote deel plaats in China (zo'n 70% in 2018), en voor een klein deel in Australië. China controleert hiermee het grootste deel van de keten, van mijnbouw tot en met raffinage, en in toenemende mate ook de productie van onderdelen waar deze metalen in zitten. Behalve voor elektromotoren zijn deze metalen ook nodig voor de productie van permanente magneten, en daarmee essentieel voor direct-drive windturbines<sup>51</sup>.





**Onder de Uyuni-zoutvlakte  
in Zuid-Amerika ligt een  
van de grootste lithium-  
voorraden van de wereld**

# 05

## OPLOSSINGS- RICHTINGEN: DRIE TOEKOMST- SCENARIO'S VOOR ELEKTRISCH VERVOER



De klimaatopgave is een wereldwijd vraagstuk, waar Nederland niet alleen in staat. Nederland is dus ook niet het enige land dat de overstap van fossiel aangedreven auto's naar elektrische auto's zal moeten maken. Wanneer Nederland niet meer metalen zou mogen gebruiken dan haar 'eerlijk deel' op basis van haar percentage voertuigen, stelt dat een grens op 0,9% van de wereldwijde jaarproductie per kritiek metaal.

Met deze beperking is het op basis van bestaande technologie niet mogelijk om de doelstelling van 1,9 miljoen elektrische auto's in 2030 te realiseren. Het op termijn geheel vervangen van alle bestaande personenauto's door elektrisch aangedreven alternatieven is dan zeker geen alternatief. Er lijken drie oplossingsrichtingen te zijn, waarbij wij per oplossingsrichting één mogelijk scenario hebben geschetst.

## DRIE OPLOSSINGSRICHTINGEN



SCENARIO  
01

### SNELLE BATTERIJ-INNOVATIE

#### Batterij-innovatie

Door andere metalen toe te passen, neemt de druk op de nu vaak gebruikte kritieke metalen af. Deze 'substitutie' wordt sociaal-maatschappelijk als meest wenselijke oplossing gezien, maar blijkt vaak uitdagend - omdat de metalen die nu gebruikt worden, vaak betere prestaties leveren dan de metalen waarmee deze vervangen worden. In deze richting zullen echter ook oplossingen gevonden moeten gaan worden. Dit is uitgewerkt in het scenario 'Snelle batterij-innovatie'.

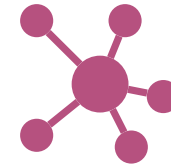


SCENARIO  
02

### IEDEREEN EEN EIGEN ELEKTRISCHE AUTO

#### Kleinere accu's

Een ontwikkeling waar leveranciers al hard aan werken. Er is nog wat winst te behalen in het efficiënter gebruik van metalen, maar die winst is naar verwachting beperkt. Een manier waarop dit ingevuld kan worden, is door de accucapaciteit per auto te verkleinen. Dit is uitgewerkt in het scenario 'Iedereen een eigen elektrische auto'.



SCENARIO  
03

### NIEUWE MOBILITEITSCONCEPTEN

#### Minder voertuigen

Technisch de meest eenvoudige optie, sociaal-maatschappelijk de meest complexe. Wanneer we het aantal voertuigen verminderen, neemt de hoeveelheid kritieke metalen die we nodig hebben het snelst af. Ook zijn er allerlei positieve neveneffecten, zoals minder vertraging door filevorming. Dit is uitgewerkt in het scenario 'Nieuwe mobiliteitsconcepten'.



Fig.  
12

Drie toekomstscenario's voor de opschaling van elektrisch vervoer in Nederland.



SCENARIO

01

## SNELLE BATTERIJ-INNOVATIE

In het eerste scenario zal 'technologie ons redden': het eenvoudigste toekomstbeeld, omdat er geen verandering in gedrag of leefstijl nodig is. In het geval van elektrisch vervoer betekent dit een sterke inzet op de ontwikkeling van nieuwe batterijtechnologie om de hoeveelheid benodigde kritieke metalen te verlagen.

In elektrische auto's worden verschillende soorten batterijen toegepast. De meeste auto's zijn zogenaamde nikkel-mangaan-kobalt (NMC) batterijen, met een kathode van deze drie metalen. NMC-batterijen hebben een hoge energiedichtheid en zijn daarom geschikt voor mobiliteit. Modernere NMC-batterijen, die de komende jaren op de markt komen, bevatten over het algemeen minder kobalt en lithium. In het basisscenario nemen we deze ontwikkelingen al mee, maar in dit scenario simuleren we een versnelde overgang naar deze nieuwe NMC-batterijen. Hierbij gaan we uit dat er in 90% van de nieuwe BEV's de kobalt-arme NMC 811 wordt gebruikt (ten opzichte van 75% in het basisscenario). Daarnaast gaan we er vanuit dat silicium anode materiaal (zie textbox) wordt toegepast in de helft van de batterijen die de energiedichtheid vergroot met 15%.

In dit scenario ontstaat vooral een afname in de benodigde hoeveelheid kobalt. Dit komt doordat nieuwere batterijen specifiek op substitutie van kobalt zijn gericht. Voor de andere metalen in de batterij zijn de verschillen marginaal, en daarnaast verandert er (uiteraard) niets aan de metalen die in de elektromotor zitten.



SCENARIO

02

## IEDEREEN EEN EIGEN ELEKRISCHE AUTO

In het tweede scenario kijken we naar het effect van het verkleinen van de gemiddelde capaciteit van batterijen. In het basisscenario gaan we uit van een gemiddelde capaciteit van 75 kWh voor BEV en 12,5 voor PHEV. Daarmee haalt een BEV meer dan 500 kilometer op een volledig opgeladen accu. Veel van het verkeer in Nederland zijn echter korte afstanden naar werk, sport, en recreatie in de buurt.

In scenario 2 gaan we uit van een halvering van de gemiddelde batterijcapaciteit. Met een batterij van 37,5 kWh is de actieradius nog steeds circa 250 kilometer. Naast auto's met kleinere batterijen voor kortere afstanden in gebieden met veel laadpunten, zijn er nog steeds BEV's met accu's van meer dan 80 kWh voor particulieren die lange afstanden moeten afleggen voor hun werk of om mee op vakantie te gaan. Deelconcepten kunnen helpen om van batterij-grootte te wisselen naar gelang de behoefte.

Dit scenario heeft een gedeeltelijk effect. De vraag naar kobalt, lithium en nikkel halveert tot maximaal 2% van de huidige productie. Maar dit heeft geen effect op de hoeveelheid kritieke metalen die er toegepast zijn in de elektromotor. De hoeveelheid metalen per elektromotor is ongeveer gelijk voor iedere elektrische auto: in de elektromotor van een Volkswagen E-Up zit dus ongeveer dezelfde hoeveelheid kritieke metalen als in een Tesla Model X<sup>54</sup>.



SCENARIO

03

## NIEUWE MOBILITEITSCONCEPTEN

In het derde scenario onderzoeken we hoe in 2030 de vraag van alle metalen onder de 0,9% van de huidige jaarlijkse productie kan komen. Hierbij zetten we volledig in op nieuwe mobiliteitsconcepten zoals zelfrijdende auto's. Daarin gebruiken we een zo klein mogelijk aantal voertuigen, die een maximaal bereik hebben. Vanuit een breder perspectief op benodigde materialen - als we ook kijken naar de rest van een auto en de benodigde infrastructuur - is dit positief.

Zo'n beperkt aantal auto's betekent een ander soort mobiliteitssysteem, waarin we intensief inzetten op elektrische, zelfrijdende deelauto's. Daarbij zijn er voor dit scenario wel flinke investeringen nodig in zowel sociale aspecten (gedragsverandering en acceptatie) als technologie (zelfrijdende auto's en digitale platformen voor het aanbieden van mobiliteitsdiensten).

In dit scenario zijn er in 2030 een miljoen elektrische auto's op de weg. Bijna de helft minder dan de doelstellingen in het Klimaatakkoord (en het basisscenario). In 2030 worden er in deze optie 92.000 elektrische auto's verkocht, in vergelijking met de 414.000 die er naar schatting nodig zijn om de doelstellingen te halen.

Het voordeel van dit scenario is dat - als gevolg van de vermindering van het aantal auto's - zowel de benodigde kritieke metalen voor de batterijen als voor de elektromotoren afnemen. Daarmee komt er ook minder druk op vraag naar neodymium, praseodymium en dysprosium.



## Nieuwe batterij-ontwikkelingen

Naast verwachte ontwikkelingen in bestaande batterij-technologie zijn er alternatieven die nog minder kritieke metalen bevatten, of zelfs hele andere materialen gebruiken. Daarbij zijn er twee mogelijk kansrijke technologieën, die op dit moment nog niet (commercieel) beschikbaar zijn, maar op termijn een verschil zouden kunnen maken:

- **Silicium anode materiaal:** De op dit moment meest marktrijpe batterij-innovatie is het vervangen van de grafiet anode met een anode-materiaal op basis van silicium. Hierdoor is veel minder grafiet nodig, waarbij dit tevens zorgt voor een hogere energiedichtheid van de batterij, waarbij de inschattingen uiteenlopen van 10% tot op termijn zelfs 40%<sup>52,53</sup>. Onder meer Sila Nanotechnologies, Enevate en Enovix werken hier aan. De eerste verwachte introductie is in 2023.
- **Solid state** batterijen hebben op langere termijn veel potentie. In een solid state batterij wordt de vloeibare elektrolyt vervangen door bijvoorbeeld glas of een polymeer. Deze hebben de potentie om twee à drie keer meer energie op te slaan dan huidige batterijen. Deze technologie bevindt zich op dit moment echter nog in het laboratorium, en zal naar verwachting niet binnen tien jaar commercieel beschikbaar komen. Daarom zijn deze technologieën niet meegenomen in dit scenario.

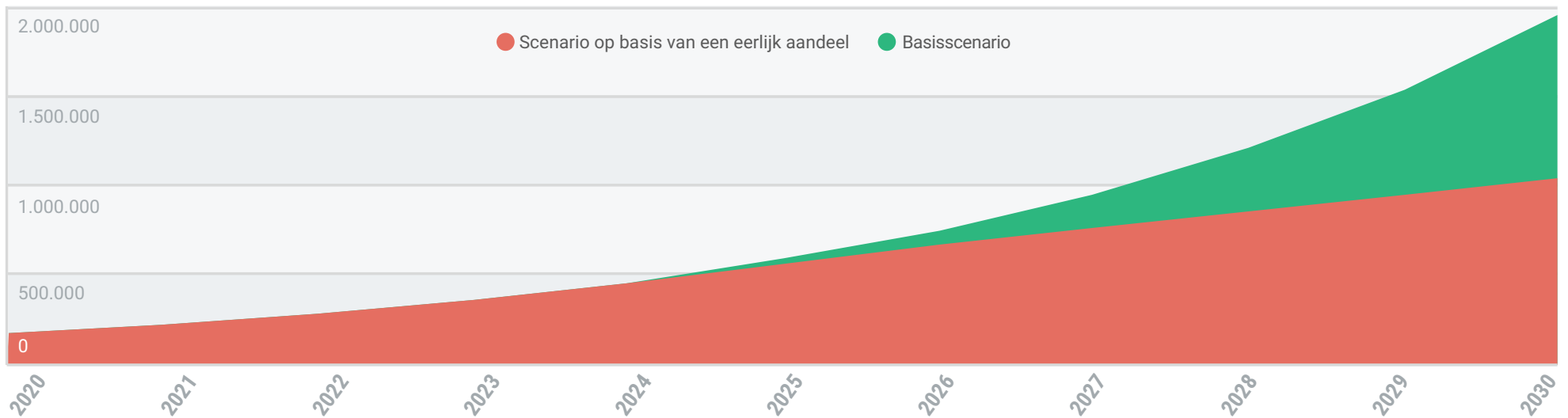


Fig.  
13

Totaal aantal elektrische auto's in Nederland, op basis van het basisscenario, en op basis van een scenario waarin Nederland niet meer dan haar 'eerlijk' deel verbruikt.



## UITGANGSPUNTEN SCENARIO'S

Bij het ontwikkelen van deze scenario's hanteren we drie uitgangspunten:

**1** We gaan er van uit dat er op termijn géén fossiel aangedreven auto's meer in Nederland rijden.

**2** In scenario 1 en 2 proberen we ons 'eerlijke' deel van de wereldwijde jaarproductie van kritieke metalen (0,9%) te benaderen, vanuit de drie oplossingsrichtingen.

**3** In scenario 3 nemen we ons 'eerlijke' deel van de wereldwijde jaarproductie als harde grens, waarbinnen we het maximale aantal voertuigen bepalen.

Let op: gebruik van grondstoffen voor andere producten - zoals bijvoorbeeld windmolens, zonnepanelen of industriële componenten - valt in deze berekening dus buiten 'budget'. Daarmee is de gestelde grenswaarde van 0,9% in feite te optimistisch.

## EFFECT VAN DRIE TOEKOMSTSCENARIO'S OP DE METAALVRAAG

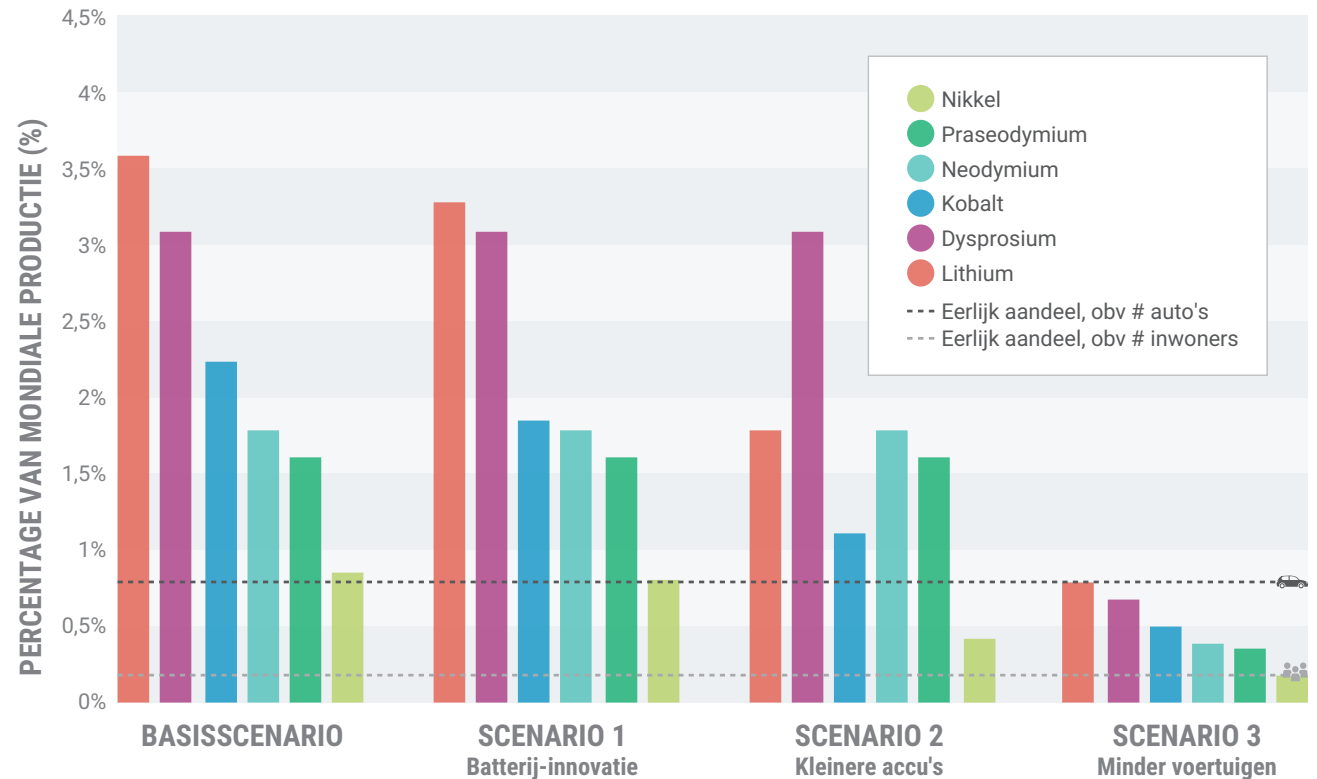


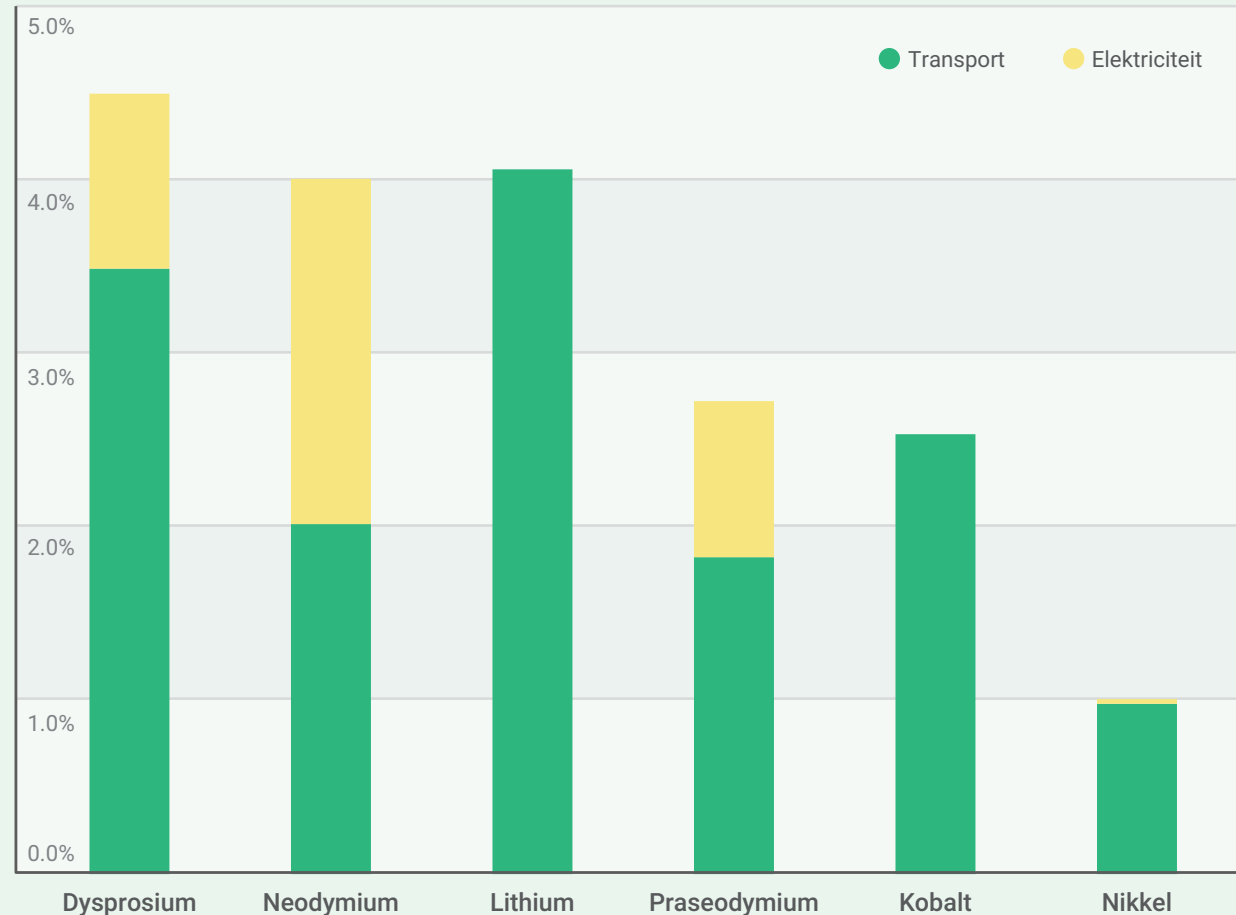
Fig. 14 De benodigde hoeveelheid kritieke metalen per jaar (in 2030) voor elektrisch personenvervoer in Nederland, als percentage van de huidige wereldwijde jaarproductie (2018) onder verschillende scenario's.

## Gecombineerde metaalvraag voor duurzame elektriciteitsproductie en elektrisch transport

Niet alleen elektrisch vervoer creëert een vraag naar kritieke metalen: ook zonnepanelen en windmolens doen dat. Uit *Metaalvraag van de Nederlandse energietransitie* bleek dat voor de productie van duurzame elektriciteit voor meerdere kritieke metalen al een paar procent van de huidige wereldwijde jaarproductie nodig is. Voor een deel zijn dit dezelfde metalen als voor elektrisch vervoer.

In beide rapporten is een 'eerlijk deel' van de wereldwijde jaarproductie bepaald. Voor elektriciteit was dit 0,5%: het Nederlandse percentage van het finale elektriciteitsverbruik. Voor elektrische auto's is dit 0,9%: het Nederlandse aandeel van de wereldwijde autovoorraad. Omdat beide toepassingen nodig zijn - naast een aantal andere toepassingen die in dit rapport niet terugkomen - zijn beide grenzen fictief, en veel hoger dan in de praktijk mogelijk is. Wanneer we per wereldburger zouden kijken, is de gecombineerde Nederlandse grens voor ons aandeel in de toepassing van kritieke metalen 0,2%.

Het optellen van beide uitkomsten geeft een totaalbeeld van de metaalvraag van zonnepanelen, windmolens en elektrisch vervoer. Deze gecombineerde vraag gaat ver over ons 'eerlijk deel' heen. De grootste uitdagingen lijken te ontstaan bij neodymium, dysprosium, praseodymium, lithium, kobalt en nikkel. Vooral de toepassing van neodymium, dysprosium en praseodymium is kritiek. Figuur 15 toont de totale Nederlandse behoefte in 2030.



**Fig. 15** De gecombineerde Nederlandse metaalbehoefte van elektrisch transport en duurzaam opgewekte elektriciteit in 2030, als percentage van de huidige mondiale jaarproductie.

# 06

## AANBEVELINGEN

Op internationaal niveau is stabiel en eenduidig klimaatbeleid nodig om mijnbouwbedrijven te kunnen laten investeren in nieuwe productiecapaciteit. Dit stabiele en eenduidige beleid ontbreekt op dit moment vaak nog. Bij deze benodigde uitbreiding is het belangrijk om - vanuit de bredere duurzaamheidsopgave - sterk in te zetten op responsible sourcing: het uitvoeren van mijnbouw binnen maatschappelijke grenzen.

Voor het realiseren van de doelstellingen uit het Nederlandse klimaatakkoord (1.900.000 elektrische auto's in 2030) hebben we een flinke hoeveelheid kritieke metalen nodig. Voor zes specifieke metalen is dat zelfs 1,5 tot 2,5% van de wereldwijde jaarproductie van deze metalen - ruim boven ons 'eerlijk budget' van 0,9%. Wanneer we uitgaan van een toekomst zonder auto's op

fossiele brandstoffen, en waterstofauto's uitsluiten, zijn er dus andere soorten oplossingen nodig.

De drie toekomstscenario's uit hoofdstuk 5 schetsen drie extremen, die ieder voor zich slecht voorstelbaar lijken. Toch ligt een antwoord waarschijnlijk in de combinatie van deze drie oplossingsrichtingen: we zullen door middel van substitutie in moeten gaan zetten op andere batterijtypen, we zullen typen elektrische auto's meer moeten gaan koppelen aan de specifieke behoeften van gebruikers, en we zullen meer gebruik gaan maken van deelauto's en minder eigen auto's bezitten.

Om toe te werken naar een mobiliteitssysteem dat toekomstbestendig is en waarin Nederland niet meer dan een 'eerlijk' deel van de wereldwijde jaarproductie van kritieke metalen gebruikt, doen wij zes aanbevelingen.

2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>AANBEVELINGEN MET EFFECT OP KORTE TERMIJN (2020-2030)</b>						
<i>De periode tot 2030 staat in het teken van de opbouw van een elektrisch wagenpark en de bijbehorende infrastructuur. Om op korte termijn nieuwe afhankelijkheden te beperken en elektrisch vervoer op redelijke schaal mogelijk te maken, doen wij drie aanbevelingen.</i>						

### **Aanbeveling 1: Zet in op nieuwe mobiliteitsconcepten met minder voertuigen**

De meest voor de hand liggende manier om de behoefte aan kritieke metalen af te laten nemen is door het aantal elektrische voertuigen te verminderen. Als het uitgangspunt blijft om de fossiel aangedreven voertuigen te vervangen, vraagt dit nieuwe mobiliteitsconcepten die uitgaan van minder voertuigen. Zelfrijdende auto's kunnen hier een belangrijke rol in spelen.

Er zijn reeds verschillende initiatieven, zowel publiek als privaat, die deelauto's stimuleren. De op dit moment verwachte groei richting 80.000 business-to-consumer deelauto's in 2030 lijkt echter niet voldoende. De verwachte grenzen aan de groei op het spoor - waar ProRail voor waarschuwt<sup>55</sup> - maken een verschuiving naar meer treinvervoer een lastige oplossingsrichting. Een afname in het aantal voertuigen vraagt dus sterke aanvullende inzet in andere mobiliteitsoplossingen.



## Aanbeveling 2: Investeer in toekomstbestendige infrastructuur en voorkom lock-ins

Op dit moment worden veel financiële middelen besteed aan de aanleg en het onderhoud van bestaande weginfrastructuur. Wanneer we uitgaan van een toekomstbeeld met minder voertuigen, vervalt de noodzaak van nieuwe investeringen in de aanleg of uitbreiding van de weginfrastructuur. Op nationaal niveau gaat dat om aanleg en uitbreiding van snelwegen; op lokaal niveau gaat dat bijvoorbeeld over de aanleg van parkeerplaatsen bij nieuwbouwwijken, waar nu vaak nog hoge normen gelden.

Het afzien van deze investeringen voorkomt dat consumenten zelf gaan investeren in méér auto's, omdat eigen autogebruik niet verder wordt gestimuleerd. Dit maakt de geleidelijke overstap naar een systeem met minder voertuigen, waarbij eigen autobezit niet meer de norm is, eenvoudiger. Daarbij kan de financiële ruimte worden gebruikt om te investeren in bijvoorbeeld nieuwe mobiliteitsconcepten (aanbeveling 1) en de opbouw van een Nederlandse recycling-industrie (aanbeveling 3).

## Aanbeveling 3: Stimuleer elektrische voertuigen met kleine batterijen voor regionale oplossingen

Op dit moment worden elektrische auto's vaak aangeschaft voor een grote afstand: de wens is immers om een auto overal voor te kunnen gebruiken. Veel vervoersbewegingen zijn echter relatief korte afstanden, waar een voertuig met een kleinere batterij prima geschikt voor is. Gezien de toenemende vergrijzing is de verwachting dat de vraag naar dit aantal vervoersbewegingen verder groeit. Bij het stimuleren van elektrische auto's kan het helpen om te sturen op het type auto.

2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>AANBEVELINGEN MET EFFECT OP LANGERE TERMIJN (2030-2050)</b>						
<i>Om een systeemverandering in gang te zetten en toekomstige lock-ins te voorkomen is het belangrijk om nu de juiste keuzes te maken. Deze keuzes vragen vaak nu al een investering, maar leiden pas op langere termijn tot een effect. Ondanks dat deze aanbevelingen nu minder prioriteit lijken te hebben, is nu inzetten hierop belangrijk om op langere termijn te bouwen aan een duurzaam en betrouwbaar mobiliteitssysteem.</i>						

## Aanbeveling 4: Ontwikkel een Nederlandse recycling-industrie voor kritieke metalen

Recycling van batterijen is belangrijk om de vraag naar kritieke metalen voor de productie van nieuwe batterijen te verminderen. In 2030 komt er in Nederland naar verwachting zo'n 7.400 ton batterijen vrij uit zo'n 20.000 auto's (+/- 370 kilogram per auto). Een geschikte schaalgrootte van een recyclingfaciliteit lijkt 5.000-7.000 ton jaarlijkse capaciteit te zijn (ter illustratie: Umicore in België heeft een capaciteit van 7.000 ton)<sup>56</sup>. Dat rechtvaardigt in 2030 minimaal één recyclingfaciliteit voor batterijen in Nederland. Om in 2030 de vrijkomende materialen optimaal te kunnen recyclen, is het nodig om deze recyclingcapaciteit voor die tijd gereed te hebben.

## Aanbeveling 5: Ondersteun duurzame mijnbouwinitiatieven om de impact op mens en milieu te minimaliseren

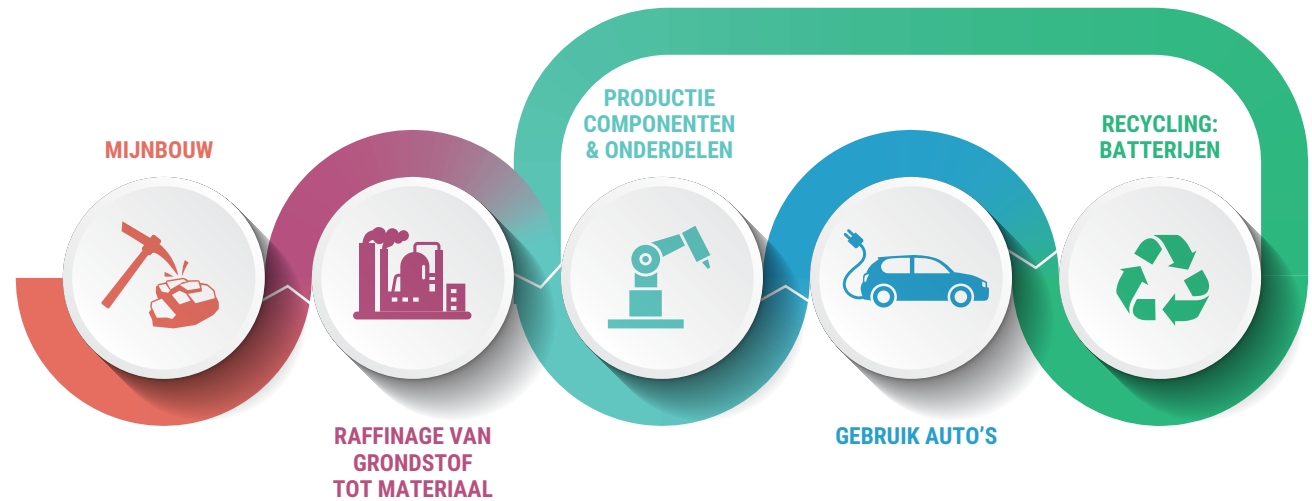
Mijnbouw zal de komende decennia niet verdwijnen. De sterk stijgende vraag naar metalen legt grote druk op de ecologische en sociale impact van mijnbouw. Meer mens- en milieuvriendelijke mijnbouw is mogelijk, alleen vraagt dit wel een andere houding van de mijnbouwindustrie en andere vormen van

samenwerking in de keten. Omdat mijnbouw bestaat uit vele wereldwijde ketens, is de directe invloed van een individueel land vaak beperkt. Desondanks kan Nederland zich hiervoor inzetten, bijvoorbeeld door ondersteuning van het Climate Smart Mining initiatief van de Wereldbank en het op Europees niveau inzetten voor meer transparantie in productieketens van kritieke metalen.

## Aanbeveling 6: Stimuleer de ontwikkeling van nieuwe batterijtypes op Europees niveau

Het ontwikkelen van nieuwe batterijtechnologieën op basis van andere metalen wordt vaak als mogelijke oplossing genoemd. Dit is echter een zeer kostbaar en tijdrovend proces: allereerst omdat dit fundamenteel onderzoek vraagt, en daarnaast omdat opschaling van nieuwe technologieën erg kapitaalintensief is. Daarbij ontstaan er nieuwe risico's, zowel technologisch als qua beschikbaarheid van eventueel nieuw toegepaste metalen. Op het Nederlandse schaalniveau is het niet realistisch om een batterijen-industrie op te bouwen en onderzoek naar nieuwe batterijtypes te stimuleren. Wanneer dit kans wil hebben, is het belangrijk om deze stimulans op Europees niveau te bieden.

## 07

VERANTWOORD-  
INGFig.  
16

Systemegrens van het onderzoek, waarbij er vanaf mijnbouw tot en met gebruik van de auto's wordt gekeken.

Deze studie is op eigen initiatief uitgevoerd door Metabolic, Copper8 en het Centrum voor Milieuwetenschappen van de Universiteit Leiden. Het doel is om inzichtelijk te maken wat de invloed gaat zijn van de groei van elektrisch vervoer in Nederland op de behoefte naar kritieke metalen. In deze verantwoording lichten we de methode van de studie verder toe.

## SYSTEMEGRENS

Voor deze studie hebben wij uitsluitend gekeken naar elektrische personenauto's: zowel personenauto's met batterij (BEV) als plug-in hybride auto's (PHEV). Voor de benodigde kritieke metalen kijken we naar de volledige keten: van mijnbouw via raffinage en productie tot en met gebruik en recycling aan het einde van de levensduur. Deze systeemgrens is samengevat in figuur 16.

Voor dit onderzoek zijn verschillende berekeningen en aannames gedaan. Daarbij kijken we naar drie aspecten:

- Groeiscenario's elektrische auto's
- Metaalvraag in technologie elektrische auto's
- Gebruikte definities

## GROEISCENARIO'S ELEKTRISCHE AUTO'S

Voor de groeiscenario's van de aantallen elektrische auto's zijn we uitgegaan van de doelen in het Klimaatakkoord: 1,9 miljoen elektrische auto's in 2030. Daarvoor hebben we een groeiscenario gemaakt met het huidige aantal elektrische auto's (januari 2019) als vertrekpunt.



Tabel 3 Aangenomen jaarlijkse aantal verkochte elektrische auto's (BEV en PHEV) tot en met 2030.

	2020	2025	2030
BEV	17.217	123.146	402.414
PHEV	6.325	8.655	11.844
TOTAAL	23.542	131.801	414.258

## METAALVRAAG IN TECHNOLOGIE ELEKTRISCHE AUTO'S

Voor de metaalvraag van elektrische auto's hebben we uitsluitend gekeken naar de metalen die nodig zijn voor de batterijen en de elektromotor. Voor alle andere metalen verschilt de vraag niet van een reguliere, met fossiele brandstoffen aangedreven auto. Daarbij hebben we ons uitsluitend gericht op kritieke metalen, en niet op kritieke materialen (voorbeeld: rubber).

### Metaalvraag batterijen

In elektrische auto's worden verschillende soorten batterijen toegepast. De meeste auto's zijn zogenaamde nikkel-mangaan-kobalt (NMC) batterijen, met een kathode van deze drie metalen. Modernere NMC-batterijen bevatten over het algemeen minder kobalt en lithium. De verwachte metaalvraag per type batterij is weergegeven in tabel 4.

Tabel 4 Metaalvraag per type batterij, in kg/kWh<sup>57</sup>.

	LITHIUM	KOBALT	NIKKEL	MANGAAN	KOOLSTOF
LCO	0,113	0,959	0	0	1,2
NCA	0,112	0,143	0,759	0	1,2
NMC-622	0,126	0,214	0,641	0,2	1,2
NMC-811	0,111	0,094	0,75	0,088	1,2

In scenario 1 gaan we uit van technologische ontwikkeling van de batterijen. De nieuwe auto's zijn daarbij uitgerust met moderne batterijen (zoals de NMC-811), die per kWh minder kobalt en lithium bevatten. De verwachte verhouding tussen deze technologieën voor de komende jaren is weergegeven in tabel 5.

Tabel 5 Verwachte ontwikkeling aandeel batterijtypes in verkochte elektrische auto's<sup>58</sup>.

	2019	2025	2030
LCO	2%	0	0
NCA	26%	16%	7%
NMC-622	40%	28%	16%
NMC-811	32%	56%	77%

### Metaalvraag elektromotoren

Elektromotoren bevatten een sterke permanente magneet waarin verschillende kritieke metalen verwerkt zijn. Anders dan bij batterijen is de hoeveelheid gebruikte kritieke metalen niet afhankelijk van de eigenschappen van de auto. De elektromotor van de Tesla bevat dus evenveel neodymium als die van een hybride Toyota Prius. De metaalvraag voor een elektromotor is weergegeven in tabel 6.

Tabel 6 Metaalvraag voor een elektromotor, in kg / voertuig<sup>54</sup>.

METAAL	VRAAG (KG / VOERTUIG)
NEODYMIUM	0,34
DYSPROSIUM	0,11
PRASEODYMIUM	0,11

Tabel 7 Overzicht van alle aannames voor elk van de verschillende scenario's.

AANNAMES SCENARIO'S				
	BASISSCENARIO	SCENARIO 1: BATTERIJ-INNOVATIE	SCENARIO 2: KLEINERE ACCU'S	SCENARIO 3: MINDER VOERTUIGEN
<b>TOTAAL AANTAL ELEKTRISCHE AUTO'S IN 2030</b>				
BEV	1.753.151	1.753.151	1.753.151	884.036
PHEV	194.795	194.795	194.795	160.994
<b>AANTAL VERKOCHTE ELEKTRISCHE AUTO'S IN 2030</b>				
BEV	402.414	402.414	402.414	89.470
PHEV	11.844	11.844	11.844	2.633
<b>BATTERIJCAPACITEIT 2030</b>				
BEV	75 KWH	75 KWH	37,5 KWH	75 KWH
PHEV	12,5 KWH	12,5 KWH	6,25 KWH	12,5 KWH
<b>AANDEEL BATTERIJTECHNOLOGIE 2030</b>				
NCA	7%	3%*	7%	7%
NMC-622	17%	7%*	17%	17%
NMC-811	77%	90%*	77%	77%

\* Wij nemen aan dat in 2030 50% van de batterijen silicium-anodes hebben, waarmee de energiedichtheid met 15% verbetert.

## GEBRUIKTE DEFINITIES

Metalen worden in veel categorieën ingedeeld: voornamelijk op basis van chemische eigenschappen, maar ook op prijs en universele beschikbaarheid. In dit onderzoek kiezen we voor de term **kritieke metalen** (niet te verwarren met zeldzame aardmetalen): dit is geen groep op zich, maar een verzamelnaam voor lastig vervangbare metalen met belangrijke toepassingen en potentieel problematische toevoer.<sup>59</sup> In figuur 17 wordt aangegeven welke metalen zijn onderzocht en de groep waarin ze toebehoren.

### Zeldzame aardmetalen (“Rare Earth Elements” (REE))

De term ‘rare earth elements’ wordt gebruikt als verzamelnaam voor een aantal elementen met gelijksoortige eigenschappen (roze in figuur 17). Deze categorie omvat zowel de ‘lichte’ REE’s (LREE) als de ‘zware’ REE’s (HREE). De elementen worden gewonnen in een geoxideerde vorm, en heten bij hun winning ‘rare earth oxides’ (REO). Tijdens het raffinageproces worden deze elementen omgezet in hun pure vorm: een metaal. In dit rapport wordt geen onderscheid gemaakt tussen LREE’s en HREE’s.

## BETROKKENHEID EXPERTS

Tijdens de studie zijn een aantal experts mondeling geraadpleegd. Ook zijn de (deel)uitkomsten gevalideerd met een aantal experts uit het veld. Wij zijn deze experts veel dank verschuldigd.

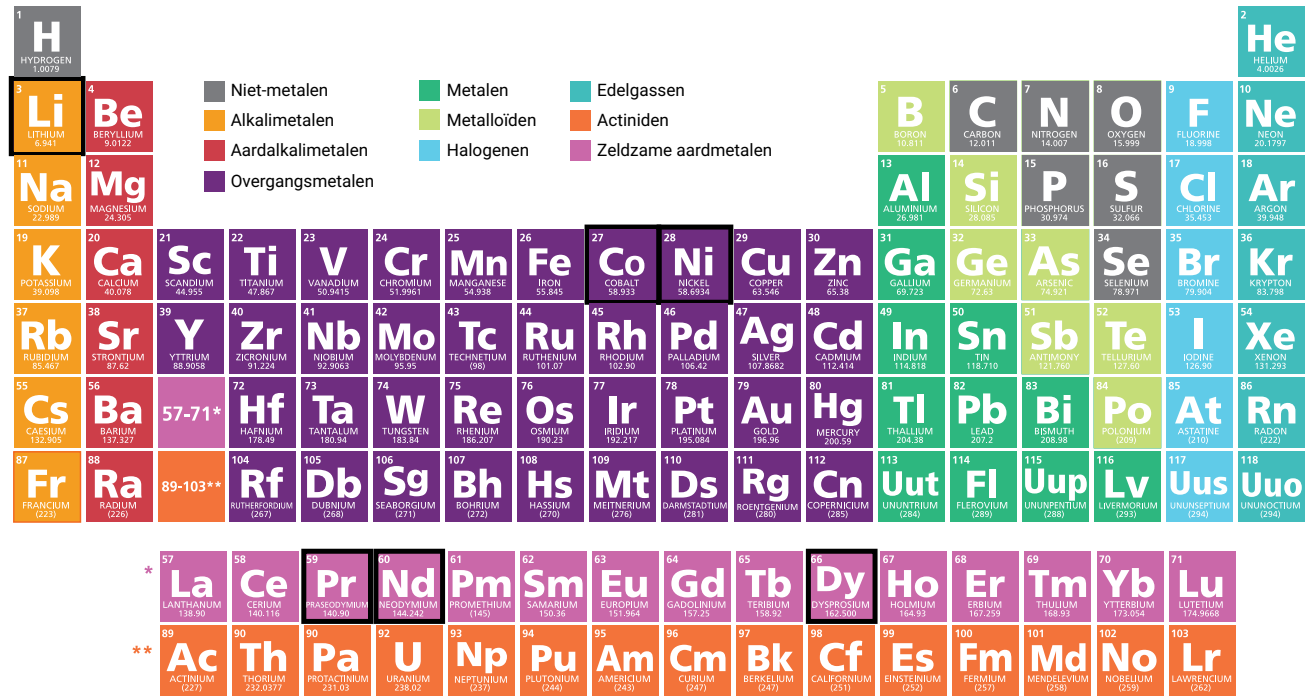


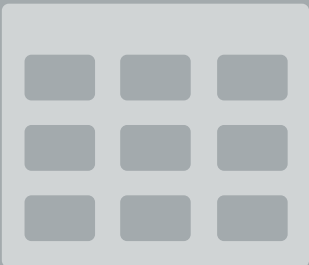
Fig. 17

Periodiek systeem der elementen, waarbij de rode omlijsting geeft weer welke elementen zijn meegenomen in de studie.

# BIJLAGE

## EIGENSCHAPPEN ELEKTRISCHE AUTO'S

TOP 10 ELEKTRISCHE AUTO'S IN NL NU (BEV)						
TYPE AUTO	TOTAAL 2018 <sup>2</sup>	AANTAL VERKOCHT 2018 <sup>2</sup>	BATTERIJCA-PACITEIT <sup>60</sup>	RANGE <sup>61</sup>	BATTERIJ-TYPE <sup>54</sup>	PRIJS VANAF <sup>61</sup>
TESLA MODEL S	12990	4962	100 KWH	510 KM	NCA	€ 87.020
NISSAN LEAF	5398	3275	40,0 KWH	230 KM	LMO	€ 36.990
TESLA MODEL X	4625	2956	100 KWH	460 KM	NCA (?)	€ 98.070
RENAULT ZOE	3586	1282	44,1 KWH	260 KM	LMO	€ 27.190
VOLKSWAGEN E-GOLF	3516	2296	35,8 KWH	190 KM	?	€ 39.680
JAGUAR I-PACE	3501	3501	90,0 KWH	380 KM	?	€ 80.330
BMW I3	3433	1657	42,2 KWH	235 KM	LMO	€ 41.995
HYUNDAI IONIQ ELECTRIC	2415	1422	38,3 KWH	265 KM	?	€ 33.995
OPEL AMPERA-E	1111	882	60,0 KWH	345 KM	?	€ 46.699
SMART FORTWO ELECTRIC DRIVE	615	149	17,6 KWH	105 KM	NMC	€ 23.669



## LITERATUURLIJST

1. **Rijksoverheid** (2019) Klimaatakkoord
2. **RVO** (2019) Stand van zaken elektrisch vervoer - online beschikbaar via <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/energie-en-milieu-innovaties/elektrisch-rijden/stand-van-zaken/cijfers>
3. **World Bank** (2017) The growing role of minerals and metals for a low carbon future
4. **NRC Handelsblad** (7 juni 2019) China's troefkaart: Praseodymium - online beschikbaar via <https://www.nrc.nl/nieuws/2019/06/07/chinas-troefkaart-praseodymium-a3963073>
5. **RVO** (2018) De milieuprestatie van openbaar vervoer bussen en ontwikkelingen rondom elektrische openbaar vervoer bussen in Nederland
6. **Metabolic, Copper8 & Universiteit Leiden** (2018) Metaalvraag van de Nederlandse Energietransitie
7. **Rijksoverheid** (2016) Rijksbreed Programma Circulaire Economie
8. **Rijksoverheid** (2009) Plan van Aanpak Elektrisch Rijden
9. **Rijksoverheid** (2010) Plan van Aanpak Elektrisch Rijden in de Versnelling 2011-2015
10. **Kennisinstituut voor Mobiliteit** (2018) Kerncijfers Mobiliteit 2018
11. **CBS** (2018) Kwartaalmonitor Overheidsinkomsten | 4e kwartaal 2018
12. **Raad voor Leefomgeving en Infrastructuur** (2018) Van B naar Anders: Investeren in mobiliteit voor de toekomst
13. **Mobiliteitsalliantie** (2019) Deltaplan 2030: Hoog tijd voor Mobiliteit
14. **Rijksoverheid** (2018) Transitieagenda Circulaire Economie: Maakindustrie
15. **Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat** (2019) Schets Mobiliteit naar 2040: veilig, robuust, duurzaam
16. **Rijksoverheid** (2019) Nationale Agenda Laadinfrastructuur: achtergrondnotitie voor het Klimaatakkoord
17. **Ministerie Infrastructuur & Waterstaat** (2019) Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma Duurzame Mobiliteit (2020 – 2024): Van petropolis naar ecopolis
18. **Rijksoverheid** (2017) Regeerakkoord Vertrouwen in de Toekomst
19. **Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat** (2018) Programma Beter Benutten Vervolg: Eindrapportage
20. **CBS Statline** (2019) - Motorvoertuigenpark; type, leeftijdsklasse, 1 januari - online beschikbaar via <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82044NED/table?ts=1563713829569>
21. **OICA** (2015) Motorization rate worldwide - online beschikbaar via <http://www.oica.net/category/vehicles-in-use/>
22. **KPMG** (2018) Global Automotive Executive Survey
23. **NRC Handelsblad** (13 januari 2019), Veelbelovende waterstofauto komt eraan, maar blijft-ie? - online beschikbaar via <https://www.nrc.nl/nieuws/2019/01/13/veelbelovende-waterstofauto-komt-eraan-maar-blijft-ie>
24. **Agora Energiewende and Sandbag** (2019): The European Power Sector in 2018. Up-to-date analysis on the electricity transition
25. **Ten Brink** (10 februari 2019), De waterstofladder van Watt is Duurzaam: wat 'mag' nog op waterstof? - online beschikbaar via <https://www.wattisduurzaam.nl/17479/energie-beleid/de-waterstofladder-van-wattisduurzaam-wat-mag-op-waterstof/>
26. **Van Soest & Warmerhoven** (2019), Waterstof in het klimaatakkoord: rapportage van de cross-sectorale werkgroep Waterstof aan de Klimaat Tafels Elektriciteit en Industrie
27. **International Energy Agency** (2018) Global EV Outlook 2018
28. **Euan Mearns** (2017) CO<sub>2</sub> intensity of electric cars - online beschikbaar via <http://euanmearns.com/co2-intensity-of-electric-cars/>
29. **CBS** (2 februari 2019) Rendementen en CO<sub>2</sub>-emissie van elektriciteitsproductie in Nederland, update 2017 - online beschikbaar via <https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2018/04/rendementen-en-co2-emissie-van-energieproductie-in-nederland-update-2017>
30. **Autoweek** (2019) Verkoopcijfers – online beschikbaar via <https://www.autoweek.nl/verkoopcijfers/>
31. **International Energy Agency** (2018) Global Electric Vehicle Outlook 2018
32. **McKinsey** (2018) Metal mining constraints on the electric mobility horizon
33. **Benchmark Material Intelligence** (2019) Megafactory Assessment
34. **US Geological Survey** (2019) Mineral Commodity Summaries 2018
35. **Reuters** (28 januari 2019) In the new lithium 'Great Game,' Germany edges out China in Bolivia - online beschikbaar via <https://uk.reuters.com/article/us-bolivia-lithium-germany/in-the-new-lithium-great-game-germany-edges-out-china-in-bolivia-idUKKCN1PM1LS>



36. **Metabolic** (2015) Proposed Resource Identification Tool Framework
37. **Ecoinvent Database** (2019) - online beschikbaar via <https://www.ecoinvent.org/home.html>
38. **United States Geological Survey** (1980) Principles of a Resource/Reserve Classification For Minerals
39. **Katanga Mining** (15 mei 2018) Katanga Mining Announces 2018 First Quarter Production and Financial Results, online beschikbaar via <http://www.katangamining.com/media/news-releases/2018/2018-05-15.aspx>
40. **Öko-Institut** (2013) Description and critical environmental evaluation of the REE refining plant LAMP near Kuantan/Malaysia
41. **The Guardian** (5 september 2019) 'Most Renewable Energy Companies' linked with claims of abuses in mines - online beschikbaar via <https://www.theguardian.com/global-development/2019/sep/05/most-renewable-energy-companies-claims-mines>
42. **Sprecher, B., Daigo, I., Murakami, S., Kleijn, R., Vos, M., & Kramer, G. J.** (2015) Framework for resilience in material supply chains, with a case study from the 2010 rare earth crisis. *Environmental science & technology*, 49(11), 6740-6750.
43. **Sprecher, B., Daigo, I., Spekkink, W., Vos, M., Kleijn, R., Murakami, S., & Kramer, G. J.** (2017). Novel indicators for the quantification of resilience in critical material supply chains, with a 2010 rare earth crisis case study. *Environmental science & technology*, 51(7), 3860-3870.
44. **UNEP** (2011) Recycling rates of metals: a status report
45. **Reuters** (28 januari 2019) In the new lithium 'Great Game,' Germany edges out China in Bolivia - online beschikbaar via <https://uk.reuters.com/article/us-bolivia-lithium-germany/in-the-new-lithium-great-game-germany-edges-out-china-in-bolivia-idUKKCN1PM1LS>
46. **National Geographic** (februari 2019) This metal is powering today's technology—at what price?
47. **SOMO** (2017) Human Rights in the Wind Turbine Supply Chain: Towards a truly sustainable energy transition
48. **FairPhone** (2017) Smartphone Material Profiles: Opportunities for improvement in ten supply chains
49. **The Guardian** (24 augustus 2017) Nickel mining: the hidden environmental cost of electric cars - online beschikbaar via <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2017/aug/24/nickel-Mining-hidden-environmental-cost-electric-cars-batteries>
50. **Reuters** (2 februari 2017) Philipines to shut half of mines, mostly nickel, in environmental clampdown - online beschikbaar via <https://www.reuters.com/article/us-philippines-mining-idUSKBN15H0BQ>
51. **Copper8, Metabolic & Universiteit Leiden** (2018) Metaalvraag van de Energietransitie
52. **The Wall Street Journal** (29 augustus 2019) The Battery Boost we've been waiting for is only a few years out - online beschikbaar via <https://www.wsj.com/articles/the-battery-boost-weve-been-waiting-for-is-only-a-few-years-out-1521374401>
53. **MIT Technology Review** (11 april 2018) This battery advance could make electric vehicles far cheaper - online beschikbaar via <https://www.technologyreview.com/s/610792/this-battery-advance-could-make-electric-vehicles-far-cheaper/>
54. **JRC** (2016) Critical Metals in the Path towards the Decarbonisation of the EU Energy Sector
55. **ProRail** (26 maart 2019) Meer en snellere treinen - online beschikbaar via <https://www.prorail.nl/nieuws/meer-en-snellere-treinen>
56. **Liu et al.** (2019) Recycling of spent lithium-ion batteries in view of lithium recovery: A critical review. *Journal of Cleaner Production*
57. **Olivetti et al.** (2017) Lithium-Ion Battery Supply Chain Considerations: Analysis of Potential Bottlenecks in Critical Metals
58. **McKinsey** (2018) Metal mining constraints on the electric mobility horizon
59. **European Commission** (2010) Critical raw materials for the EU
60. **EV-Database.org** (2019), Compare Hybrid and electric vehicles - online beschikbaar via <https://ev-database.org>
61. **ANWB** (2019) Welke elektrische auto's zijn er? - online beschikbaar via <https://www.anwb.nl/auto/themas/elektrisch-rijden/elektrische-autos/welke-autos-zijn-er>

# COLOFON

## Auteurs en onderzoek

Sybren Bosch (Copper8)  
Pieter van Exter (Metabolic)  
Dr. Benjamin Sprecher (CML)  
Hendrik de Vries (Copper8)  
Noortje Bonenkamp (Metabolic)

## Design en layout

Cassie Björck (Metabolic)

## Aanleiding

Dit rapport is opgesteld in het kader van Springtij Forum 2019.



+31 (0) 203690977  
info@metabolic.nl  
www.metabolic.nl



+31 (0) 202610289  
info@copper8.com  
www.copper8.com



+31 (0) 715277461  
secretariaat@cml.leidenuniv.nl  
www.universiteitleiden.nl



METABOLIC



Universiteit  
Leiden

Copper

