

Auteur Prof.ir. P.G. (Peter) Luscuere

# De circulariteit voorbij, duurzame overvloed of limiteringen aan de energietransitie?

*Van de afgelopen veertig jaar dat ik consultant op het gebied van binnenmilieu, bouwfysica en gebouwgebonden installaties was, waren er zo'n dertig jaar tevens als hoogleraar. De combinatie was immer interessant en inspirerend (zie kader Peter Luscuere). De rode draad in deze functies was immer de hoogwaardige kwaliteit van het benodigde binnenmilieu. Of het nu die van operatiekamers van ziekenhuizen betrof dan wel die voor het behoud van de Nachtwacht blootgesteld aan de vele bezoekers, in alle gevallen noodzaakte dat veel installaties en het bijbehorende energiegebruik. Het relatief grote energiegebruik van deze installaties was aanleiding om ons hier verder in te verdiepen. En al snel kwamen logischerwijs water- en materialenverbruik hierbij. Het hoge verbruik van deze drie natuurlijke hulpbronnen in industrie, gezondheidszorg en museale wereld waren de aanleiding om te zien of het ook anders kon. Dit artikel is een bewerking van de afscheidsrede, die ik heb uitgesproken op 9 december 2022.*

Als voorbeeld staat in tabel 1 het energiegebruik van academische ziekenhuizen in 1991 (operationele data) en in 2009 (ontwerpwaardes). In 2016 bedraagt dit nog immer  $\approx 278$  kWh/m<sup>2</sup>/jr, daar waar we anno 2022 een volledig glazen gebouw met een prima klimaatbeheersing realiseerden, het Co-Creation Centre op de Green Village aan de TUD met een energiegebruik van 27 kWh/m<sup>2</sup>/jr.

Het waterverbruik van ziekenhuizen is substantieel, maar het Pharmafilter-concept (Foto 1) bij diverse ziekenhuizen, waaronder het Reinier de Graaf, laat zien dat uitgaande van het rioolwater vermengd met alle restafval helder en zuiver water van nabij drinkwaterkwaliteit gemaakt kan worden. Nog los van het feit dat dit systeem voorkomt dat onder andere medicijnresten in het oppervlaktewater terecht komen, waar ze vanwege verdunning niet of nauwelijks uit verwijderd kunnen worden.

De chemicaliën in de afvalstromen bij de IC-fabricage bleken na een 'zerowaste'-project uiteindelijk een te verhandelen stroom te zijn. Het materiaalverbruik in de gezondheidszorg is echter

kWh/m <sup>2</sup> /jr	1991*)	2009**)
Warmte	95	115
Koude	69	55
Stoom	59	57
Electriciteit	128	134
Totaal	351	361

**Tabel 1:** Energiegebruik academische ziekenhuizen in Nederland, bron: RTB van Heugten. 1991\*) Operationele data bestaand academisch ziekenhuis (228.000 m<sup>2</sup>) 2009\*\*) Ontwerpwaardes nieuw academisch ziekenhuis (409.840 m<sup>2</sup>).

## Peter Luscuere

Negen jaar heb ik bij Philips als adviseur gewerkt bij het ontwerp en de realisatie van IC-fabrieken in Europa, de Verenigde Staten, Japan en China. Hierna heb ik zo'n zes jaar kennis overgedragen van onder andere cleanroomtechnieken aan de gezondheidszorg bij TNO in de vorm van onderzoek en stromingsleersimulatie (CFD). Vervolgens was ik zo'n acht jaar als directeur bij RTB van Heugten verantwoordelijk voor innovatie en gezondheidszorg. Als projectdirecteur ben ik actief geweest bij acquisitie en conceptueel ontwerp van meerdere ziekenhuizen, waaronder Orbis, Gelre, Bernhoven en Erasmus MC, alsook het ING-House en Het Nieuwe Rijksmuseum tezamen met Arup. De daaropvolgende vijf jaar als directeur bij een nieuw ingerichte divisie Building Physics and Systems bij Royal Haskoning, ditmaal was ik verantwoordelijk voor duurzaamheid en gezondheidszorg.

**Foto 1:** Pharmafilter installatie bij Reinier de Graaf Gasthuis. Bron: Pharmafilter.



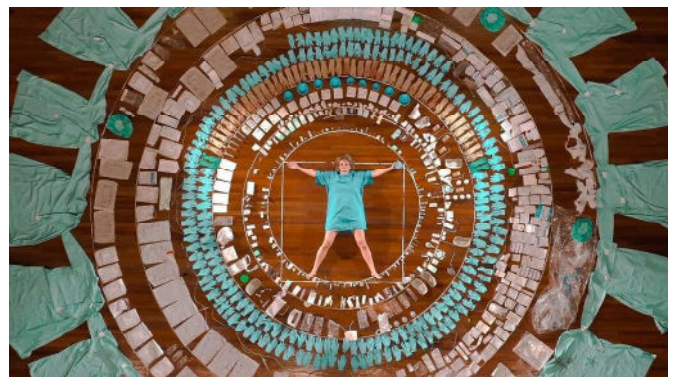
excessief, zoals uit Foto 2 blijkt, waarin alle gebruikte materialen ten behoeve van een operatie uitgestald zijn. Deze aanklacht tegen materiaalverspilling is fraai te zien op deze video.[1]

**De noodzaak voor een hernieuwbare energietransitie**

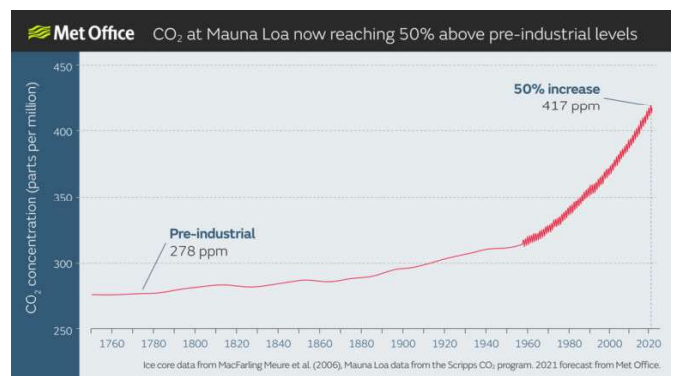
De klimaatverandering wordt primair gestuurd door het CO<sub>2</sub>-gehalte in onze atmosfeer. Deze is vanaf de industriële revolutie van rond 278 ppm gestaag gestegen tot de in figuur 1 getoonde waarde van ongeveer 417 ppm, met een nog niet aflatende stijging.

De waarschuwingen voor klimaatveranderingen bereiken ons dagelijks via TV en kranten, die refereren aan rapportages van het IPCC.[2] We merken het echter zelf al door hogere temperaturen en weerextremen. Een bijzondere weergave kan verkregen worden door een animatie van temperatuurafwijkingen van 1880 tot 2022.[3]

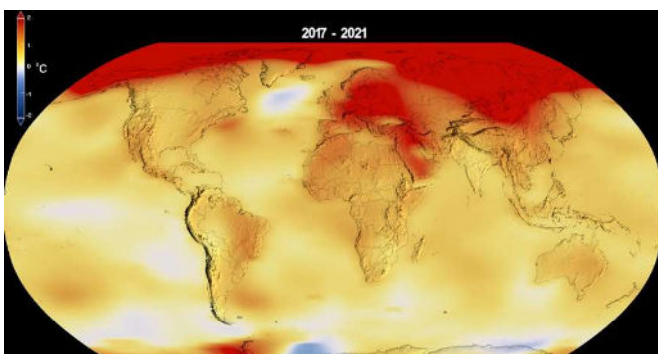
Dat deze temperatuurstijgingen gevolgen hebben, kan zeer wel gezien worden aan de hand van een andere animatie van NASA, ditmaal een opeenvolging van satellietopnames van de Noordpool. [4] In figuur 3 zijn de situaties van 1984 en 2016 naast elkaar zichtbaar.



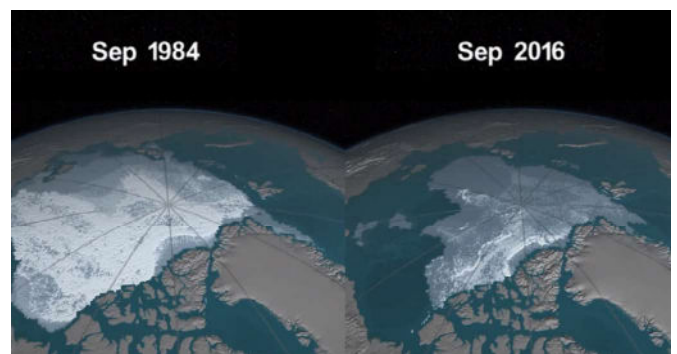
**Foto 2:** Gebruikte materialen ten behoeve van een (borst)operatie, foto: Maria Kojick.



**Figuur 1:** CO<sub>2</sub>-gehalte atmosfeer vanaf industriële revolutie in ppm, bron: Met Office.



**Figuur 2:** Wereldwijde temperatuurafwijkingen. In figuur 2 is het laatste beeld van de animatie dat 2022 betreft te zien, met een bijna geheel gele aarde (+1 °C) en een fors rood gedeelte (+2 °C). Bron: NASA.



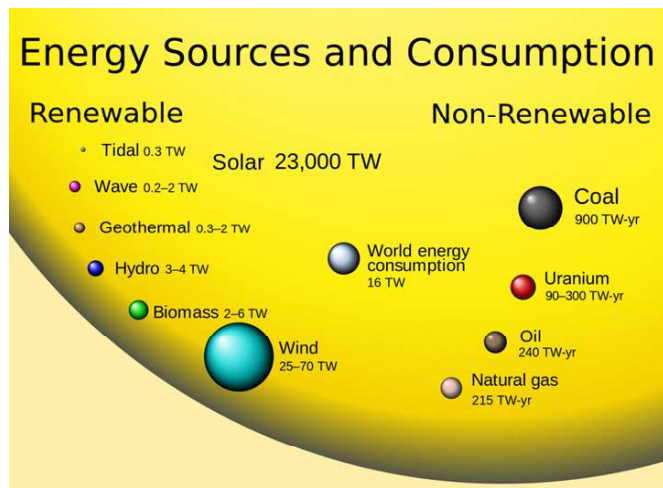
**Figuur 3:** Ijsbedekking Noordpool in 1984 en 2016, bron: NASA.

De afname van ijs is overduidelijk en het lijkt een kwestie van tijd tot de Noordpool volledig ijsvrij is. Gelukkig heeft dit niet direct effect op een wereldwijde zeespiegelstijging aangezien het drijvend ijs is. Niet ver ervandaan echter ligt Groenland waar eveneens substantiële afname van in dit geval landijs plaatsvindt. De potentie van Groenland qua zeespiegelstijging, mocht deze volledig ijsvrij worden, is +6 meter, hetgeen op zijn zachts gezegd een uitdaging vormt voor klimaatadaptatie. Helaas vertoont ook de Zuidpool eveneens tekenen van dooi. Het is niet te voorspellen en zeker niet te hopen dat dit doorzet, aangezien de potentie qua zeespiegelstijging bij de Zuidpool +60 meter is.

De noodzaak om actie te ondernemen tegen klimaatverandering werd in 2018 al door secretaris-generaal António Guteris van de Verenigde Naties in niet mis te verstane woorden uitgedrukt: "Failing to agree on climate action would 'not only be immoral' but 'suicidal'". Het begint met duurzaamheid, maar wat wordt hiermee bedoeld?

Duurzaamheid

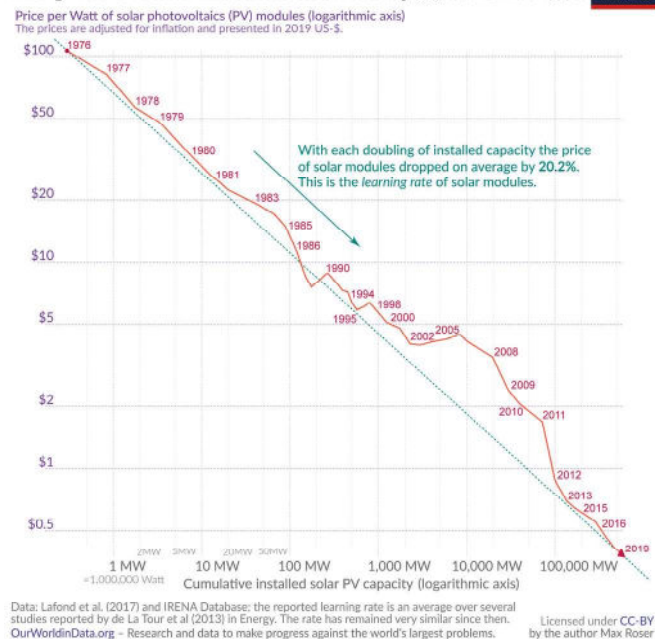
Duurzaamheid en duurzame ontwikkeling is in 1987 goed gedefinieerd door de voormalige Noorse premier Gro Harlem Brundtland in het rapport 'Our common future' als: "Een ontwikkeling die tegemoetkomt aan de noden van het heden, zonder de mogelijkheden van toekomstige generaties om in hun behoeften te voorzien in het gedrang te brengen".



Figuur 4: Overzicht van hernieuwbare en niet-hernieuwbare (eindige) energiebronnen op aarde, bron: Perez&Perez.

Dat gaat veel verder dan uitsluitend de energievoorziening. Hier betrekken we het, gegeven onze aandacht voor de gebouwde omgeving, op alle natuurlijke hulpbronnen die we in de gebouwde omgeving ge- en veelal verbruiken. Dat wil zeggen: energie, water, lucht, biologische en technische materialen, vruchtbare bovengrond en tenslotte ruimte (zie ook verder figuur 16).

The price of solar modules declined by 99.6% since 1976



Figuur 5: Prijs van PV-modules tussen 1976 en 2019 (logaritmische schaal), bron: Our world in data.

Duurzaamheid, energie

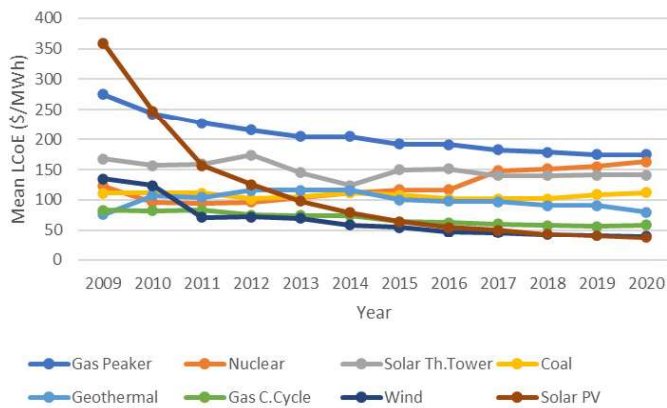
Het wereldenergiegebruik bedroeg in 2009 zo'n 16 TW continue, oftewel 16 TWy in een jaar.[5] Vandaag de dag zal dat al opgelopen zijn tot 20 TW, maar figuur 4 is dermate instructief dat we deze en de daarin begrepen getallen hanteren.

Aan de rechterzijde zien we de fossiele energiebronnen en de omvang van hun geschatte reserves in TWy. Deling door het wereldenergiegebruik geeft eenvoudig het aantal jaren dat we onze economie nog draaiend zouden kunnen houden, ware het niet dat we deze grondstoffen daadwerkelijk in de grond zouden moeten laten om de klimaatcrisis niet te laten ontsporen.

Aan de linkerkzijde zien we de inschattingen van de auteurs Perez&Perez ten aanzien van de hernieuwbare bronnen, ditmaal in TW. Wat opvalt is de relatief bescheiden bijdragen die bijna alle bronnen leveren, met uitzondering van wind en zon. Sommige wetenschappers stellen de potentiële bijdrage van wind factoren hoger, terwijl de bijdrage van de zon hier redelijk conservatief is ingeschat. Evident is de ruime mate waarin zon en wind in onze huidige energiebehoefte kunnen voorzien.

Duurzaamheid, energie en kosten

Kijken we naar de prijsdaling van PV-modulen over de afgelopen 40 jaar, dan zien we een (inflatie gecorrigeerde)



**Figuur 6:** LCoE van diverse energietechnologieën, bron Lazard.

exponentiële daling van 100 \$/W in 1976 naar < 0,5 \$/W in 2019, zie figuur 5. Voor een eerlijke vergelijking dienen we echter meer kosten in beschouwing mee te nemen dan deze PV-modules alleen. Hiervoor wordt het zogenaamde 'Levelized cost of energy' (LCoE) gebruikt waarin alle bijkomende kosten over de levensduur van de betreffende techniek zijn meegenomen. Een dergelijke vergelijking is weergegeven in figuur 6.

Goed te zien is hoe zonne-energie op basis van PV haar exponentiële daling heeft doorgemaakt en momenteel als goedkoopste te boek staat, net onder windenergie die al eerder als technologie volwassen werd. Opvallend is tevens de prijsstijging van nucleaire energie tot duurste van de reguliere technologieën. 'Gas peaker' is een installatie die slechts bij piekvraag opstart en derhalve dure energie levert.

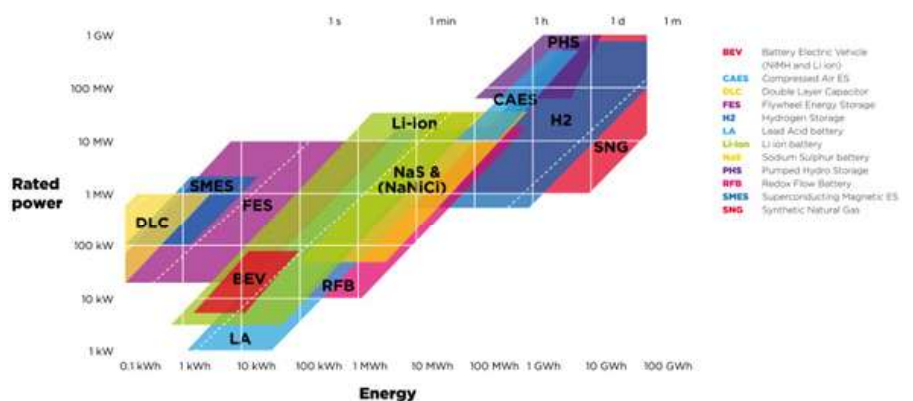
### Duurzaamheid, energie en opslag

Het heikele punt van zon en wind is de discontinuïteit ervan. Wind waait niet altijd en zon is er slechts een deel van de 24-uurscyclus, zo die er is. Vandaar dat opslag van duurzaam gewonnen energie noodzakelijk is. In figuur 7 is een weergave van diverse energieopslagtechnologieën weergegeven. Bepalend voor de diverse technologieën is het vermogen (Rated Power) dat eraan onttrokken kan worden en de totale hoeveelheid energie (Energy) die ermee kan worden opgeslagen.

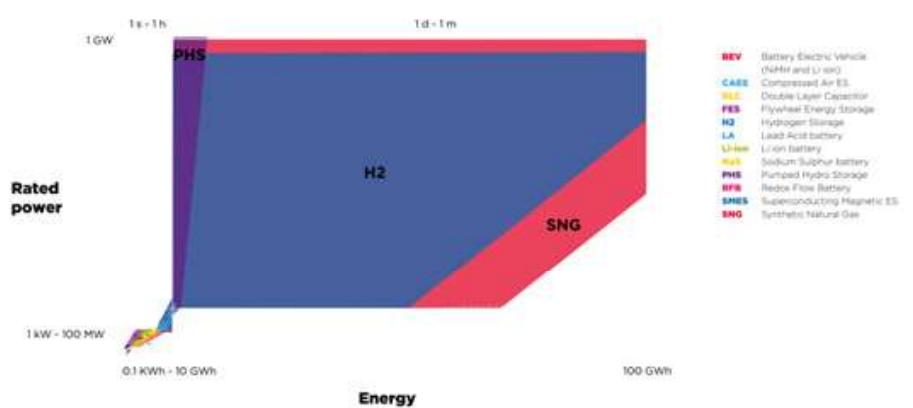
Beide eenheden zijn weergegeven in logaritmische schalen, die de verschillen tussen de diverse systemen beter tot uitdrukking laat komen. Een derde eenheid, de tijd waarin de energie zonder veel verlies kan worden opgeslagen, is bovenin te zien op een lineaire schaal.

Als ook de tijdsdimensie in een logaritmische schaal wordt weergegeven, dan volgt figuur 8. Uit deze figuur is het uitermate duidelijk dat op een tijdschaal van dagen tot maanden of langer (seizoensopslag) voor een gedecarboniseerde energieopslag slechts één mogelijkheid gebaseerd op waterstof overblijft.

Dat hoeft overigens niet te betekenen dat het uitsluitend in de vorm van waterstof is (gasvormig of vloeibaar), maar dat kan eveneens in een vorm zijn waarbij waterstof gebonden is aan een ander molecuul (bijvoorbeeld aan  $N_2$  in de vorm van  $NH_3$ ).



**Figuur 7:** Energieopslagssystemen: dubbellogaritmische schalen voor vermogen (Rated Power) en energie, en een lineaire schaal voor tijd, bron: Help de energietransitie, Marco Bijkerk.



**Figuur 8:** Energieopslagssystemen, logaritmische schalen voor vermogen, energie en tijd, bron: Help de energietransitie, Marco Bijkerk.

Duurzaamheid, water

Van al het water in de wereld is slechts 87 ppm zoet water, dat aan het oppervlak en niet bevroren beschikbaar is (volgt uit figuur 9).

Ondanks dat dit zoet water eigenlijk een zeer schaarse grondstof is, gaan we er niet heel efficiënt mee om. In figuur 10 is te zien hoeveel water er nodig is voor de groei/productie van een aantal voedingsmiddelen. Dat voor een kopje koffie het duizendvoudige aan water benodigd is, mag iedereen verbazen, maar het is nog bescheiden bij de duizelingwekkende hoeveelheid benodigd voor een bescheiden traditionele hamburger.

Ondanks het feit dat we de relatief schaarse hoeveelheid aan zoet water niet erg efficiënt gebruiken, blijken we het verontreinigde deel wel bijzonder effectief te kunnen reinigen en zo nodig te kunnen hergebruiken, zoals uit het voorbeeld van Pharmafilter blijkt (zie foto 1).

Duurzaamheid, lucht

Schone lucht is naast water een eerste levensbehoefte, maar ook een natuurlijke hulpbron die we vervuilen door vele soorten van uitstoot. In figuur 11 is te zien wat de jaarlijkse oversterfte in Europa is als gevolg van hart- en vaatziekten, die aan luchtvervuiling wordt toegeschreven.

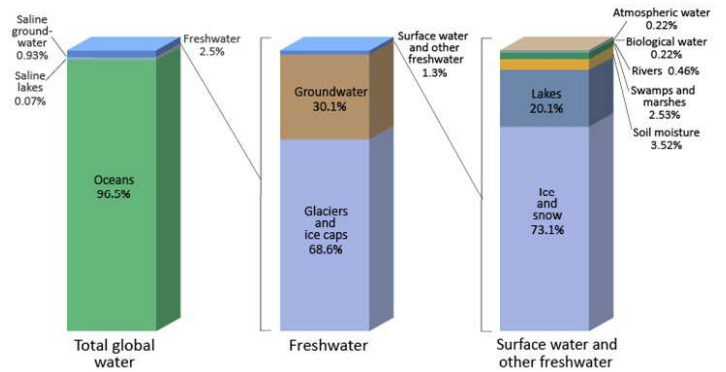
De lucht die we inademen, behandelen we dus niet erg effectief met betrekking tot onze gezondheid. Wat ook blijkt uit figuur 12 met het aantal voortijdige sterfgevallen als gevolg van blootstelling aan fijnstof (PM 2.5).

Toch moeten we in staat zijn deze gezondheidseffecten te voorkomen of op zijn minst te minimaliseren door het beperken van de uitstoot van fossiele energiecentrales, met name kolencentrales en de uitstoot van transportsystemen ter land ter zee en in de lucht. Ook kunnen mechanische en elektrostatische filtratiesystemen in gebouwen de blootstelling verminderen of kan het gebruik van vegetatie in en rond gebouwen fijnstof binden door metabolisatie van deeltjes. Tenslotte kunnen op titaniumdioxide gebaseerde reinigingscoatings worden ingezet.

Duurzaamheid, bovengrond

Bovengronds of in het Engels 'Topsoil' is de bovenste paar cm van grond waarvan we afhankelijk zijn voor het grootste deel van onze voedselproductie. Ondanks het grote belang

Distribution of Earth's Water



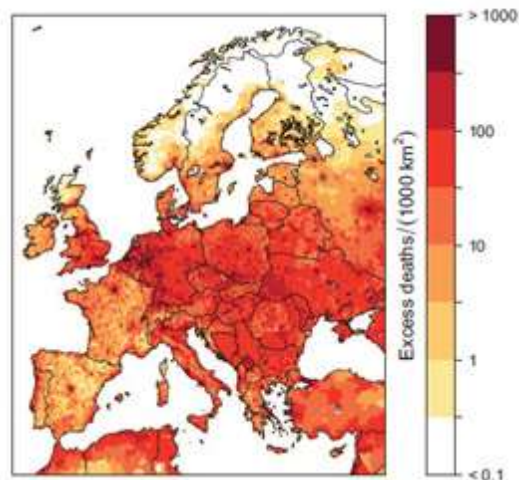
Source: Igor Shiklomanov's chapter "World fresh water resources" in Peter H. Gleick (editor), 1993, Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources.

Figuur 9: Water in de wereld, verdeeld naar zout en zoet, bevroren of vloeibaar en beschikbaar aan de oppervlakte, bron USGS.

Serving	Water (l)	Serving	Water (l)	Serving	Water (l)
250 ml	27	250 g	50	60 g	200
250 ml	74	150 g	80	100 g	433
125 ml	109	150 g	125	100 g	599
125 ml	132	200 g	160	100 g	1.540

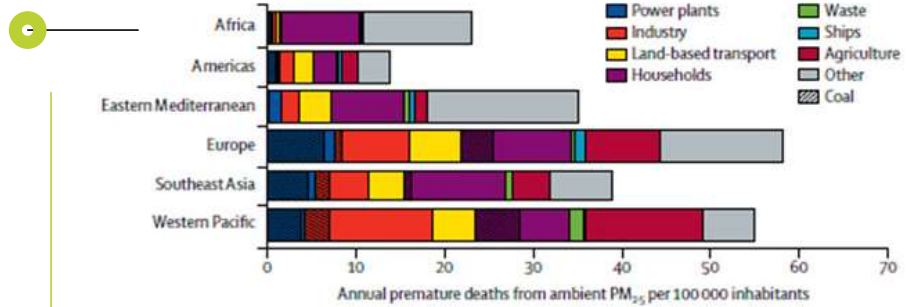
Source pictures and data: <https://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/product-gallery/>

Figuur 10: Benodigde waterhoeveelheden in liter bij de groei/productie van een aantal levensmiddelen per portie, bron: Waterfootprint.org.



Figuur 11: Jaarlijkse overmortaliteit van hart- en vaatziekten, toegeschreven aan luchtvervuiling, bron.[6]

**Figuur 12:** Jaarlijkse vroegtijdige sterfte als gevolg van fijnstof (PM<sub>2.5</sub>), bron.[7]



hiervan, blijkt de hoeveelheid alsmaar af te nemen. Volgens een rapport van de WWF is er 50% verloren gegaan in de laatste 150 jaar.[8] Dit vindt plaats door woestijnvorming, door ontbossing, door al of niet opzettelijke bosbranden en door stofstormen die bij het bereiken van een oceaan de in de storm meegenomen deeltjes onomkeerbaar aan de aarde onttrekken. Dit is het best zichtbaar in de Amazone waar enorme stukken van het tropisch oerwoud (de longen van de aarde) in weilanden worden omgezet, zie de figuren 13 en 14 voor de situaties in respectievelijk 1985 en 2018.

Wereldwijd bestaan er ongeveer zeven verschillende problemen met de bovengrond. In Nederland kennen we er vier: inklinking, gebrek aan

voedingsstoffen, erosie en verzilting. Deze kunnen en moeten lokaal worden aangepakt. Op wereldschaal zijn er andere positieve voorbeelden, zoals in de Tegenlichtdocumentaire 'Green Gold' van John D. Liu te zien is.[10]

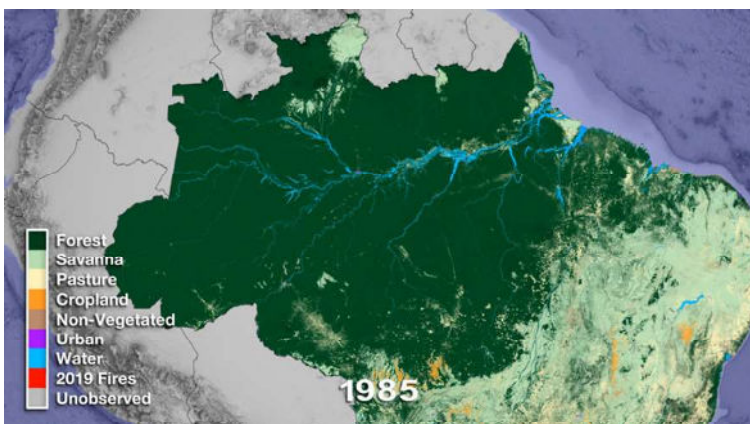
#### Duurzaamheid, biologische materialen

Je zou denken dat biologische materialen per definitie duurzaam zijn: ze groeien! Maar helaas niet altijd met dezelfde snelheid als waarin wij ze verbruiken. Zo is het op wereldschaal te betwijfelen of hout in deze zin als duurzaam moet worden bestempeld, gezien de gigantische hoeveelheden die opzettelijk vernietigd worden om door middel van bosbranden landbouwgrond te verkrijgen (zie eveneens nevenstaande figuren van de Amazone).[9]

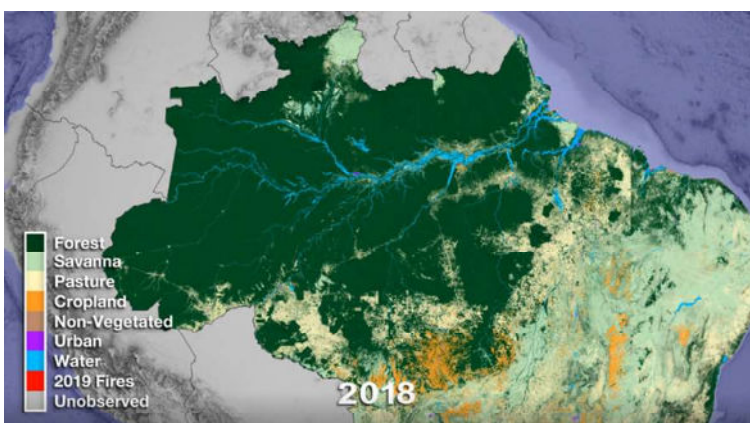
Toch kan ook hier de natuur ons verbazen. Door middel van fotosynthese kan CO<sub>2</sub> in water omgezet worden in microalgen. Uit diverse publicaties van het 'National Renewable Energy Lab' (NREL) blijkt de potentiële opbrengst in de vorm van bio-olie een orde groter dan die van palmolie, waar onder andere bovengenoemde tropische wouden voor worden platgebrand. De opbrengst van palmolie is weer een orde groter dan bijvoorbeeld van mosterdzaad of van sojabonen, die op zich een factor meer opleveren dan het meest gebruikte gewas: maïs. En dan te bedenken dat deze olie niet alleen bruikbaar is als brandstof, maar vele andere, deels voedingsgerelateerde, toepassingen kent. Zo wordt een extreem productief gewas, dat enerzijds ons voornaamste broeikasgas als input heeft en anderzijds een bijdrage kan leveren aan het wereldvoedselprobleem, nog immer niet op waarde geschat.

#### Duurzaamheid, technische materialen

Bij technische materialen is het verleidelijk om het begrip duurzaamheid in te perken tot: duurzaam. Hoe lang iets

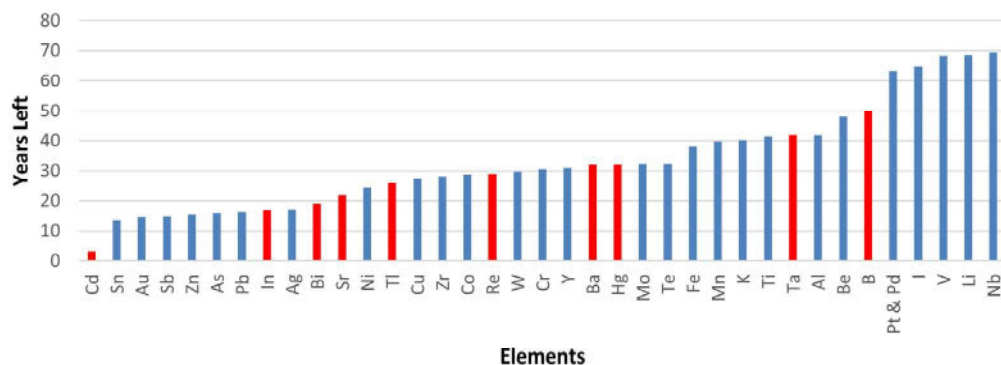


**Figuur 13:** Amazone in 1985.



**Figuur 14:** Amazone in 2018, bron.[9]

Years of Resources left at 2% growth p.a. (USGS 2022)



**Figuur 15:** Het aantal jaren dat nog resteert gegeven de geschatte commercieel winbare wereldwijde voorraden (2022) bij een geschatte jaarlijkse groei van 2%. (Rood zijn geschatte waarden door toegenomen onbeschikbaarheid van getallen), bron: P.G. Luscuere.

meegaat, is echter niet de mate van duurzaamheid ervan. Recycling is in de meeste gevallen slechts deels mogelijk, waardoor het eerder 'downcycling' is. Om dezelfde kwaliteit te behouden moet er een deel 'virgin'-materiaal worden toegevoegd en aangezien het eindige aardse voorraden betreft, kan dit niet duurzaam zijn.

Het U.S. Geographical Survey publiceert jaarlijks een overzicht van zo'n 84 gedolven erts/mineralen alsook de geschatte wereldwijde commercieel winbare voorraden.[11] Op basis hiervan en van de publicatie van André Diederer kan een inschatting gemaakt worden van hoe lang deze wereldvoorraden nog meegaan.[12] In figuur 15 is het resultaat weergegeven van de getallen uit 2022 bij een bescheiden aangenomen jaarlijkse groei van 2%.

Het is evident dat wij de komende twintig jaar al door de resterende voorraad van een tiental materialen heen zullen zijn. Dat wil niet zeggen dat er niets meer is, maar dat er gedolven moet worden in minder ertsrijke mijnen, hetgeen ook meer energiegebruik met zich meebrengt. Een substantiële prijsstijging zal daarom een logisch gevolg zijn.

#### Duurzaamheid, Cradle to Cradle

In hun boek *Cradle to Cradle* beschrijven Braungart en McDonough hun concept, dat een principiële benadering van duurzaamheid beschrijft waarin geen afval bestaat, de zon de bron van alle energie is en er respect voor diversiteit betracht wordt.[13] Het brengt de hele discussie rond de thematiek in een stroomversnelling. Bij de faculteit Bouwkunde aan de TU Delft is enkele jaren een C2C-lab gehouden waar Michael Braungart zelf aan deelnam, samen met Douglas Mulhall en Katja Hansen.

In dezelfde periode wisten we Michael Braungart te verbinden aan Royal Haskoning, waar een groep van ongeveer vijftig, veelal jonge medewerkers, de Royal Cradle vormde. De deelnemers kwamen uit de tien verschillende divisies, allemaal actief op het gebied van

duurzaamheid. Door de vele verschillende achtergronden hadden de eerste sessies veel weg van een 'Poolse landdag'. Er werden veel verschillende termen gebruikt voor soms dezelfde concepten. Het was tijd om structuur aan te brengen. Er werd een eerste versie van een matrix bedacht die enerzijds de natuurlijke hulpbronnen benoemt in relatie tot drie waardegebieden: Ecology, Economy en Equity (Gerechtigheid in het Nederlands). Hierin worden voorbeelden van uitdagingen en oplossingen gepositioneerd, hetgeen leidt tot overeenstemming.

Deze matrix wordt tot op de dag van vandaag verder ontwikkeld (zie figuur 16) en heeft al vele malen zijn waarde bewezen bij projecten in binnen- en buitenland.

Het krachtigste concept binnen Cradle to Cradle is mijns inziens het concept van de 'Positieve Voetafdruk' of 'Positive Footprint' in het Engels. Het concept 'Footprint' heeft intrinsiek iets negatiefs, het is de hoeveelheid energie die we gebruiken, of de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die we uitstoten. Deze moet geminimaliseerd tot liefst nul, vandaar het onzinnige 'nearly zero energy'-idee. Alsof nul een niet te overschrijden grens zou zijn. Vergeet dit minimaliserende streven, maar ga voor een zo groot mogelijke positieve voetafdruk. In de woorden van Michael Braungart en Steven Beckers: "Indien we gebouwen als bomen realiseren, bouwen we steden als bossen."

#### Duurzaamheid, Co-benefits

Bij ingrepen in de gebouwde omgeving is het steeds van belang een brede blik te hebben, zowel ten aanzien van de ingreep zelf als van eventueel belanghebbenden. Een verruiming van blikveld opent mogelijkheden om er partijen inhoudelijk dan wel financieel bij te betrekken die er oppervlakkig gezien geen belang bij hebben. Een goed voorbeeld van een brede blik is de aanpak door William McDonough (medeauteur van *Cradle to Cradle*) bij het Ford Rouge-plan voor een vernieuwing van het regenwaterafvoersysteem. In plaats van het ondergronds aanpassen van een kostbaar nieuw rioleringsstelsel,

Values Re-sources	Ecology			Economy			Equity		
	Biodiversity	Health Effects	Climate Change	Scarcity	Cost / Benefits	PR Metaphor	Social Responsibility	Fairness	
Energy	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , Acid Rain	NO <sub>x</sub> , PM <sub>2.5</sub>	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>	Fossil fuels	Pay Back Time	'Net Positive'	Energy Positive Buildings	Climate Change Consequences	Coal Powered Electricity
	Solar, Wind, Hydro, Geothermal, Wave & Tidal Energy and (High Productive) Biofuels (eg Algae)								Child Labor
Air	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , CO, PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>	Clean Air	Life Cycle Analysis	'Every Breath We Take'	Actively Cleaning Buildings	Global burden of disease / DALYs	Increasing Inequality
	Limit fossil emissions of transport and energy systems. Apply filtration in buildings, metabolize particles by vegetation, use TiO <sub>2</sub> coatings								non-Inclusivity
Water	Contaminated Water	Hormones & Medicines	Rising Sea Level	Fresh Water	Total Cost of Ownership	'Clean'	Cleaner Discharge as Intake	Geo-Political Governance (Lack of)	Resource Depletion
	Local Cleaning (Reed filters), use of Algae, Nutrition Regeneration								Externalised Costs
Materials	Waste *	Hazardous Emissions	Chlorofluoro-carbons	Virgin Materials	Life Cycle Costing	'Healthy'	Waste as Resource & Endless Recycling	'Securing' Resources	Rampant Environmental Pollution
	Non-hazardous Substances, From Down-to Re- and UpCycling								Flooding of lands
Topsoil	Loss, Degradation & Compaction **	Contamination	CH <sub>4</sub> -Emissions	Phosphate	Hard & Soft Costs and Benefits	'Fertile'	Positive Contribution to Top Soil Quality	Displacing Arable Land by BioFuels	Burning Tropical Forest
	Apply Green Roofs & Walls, Close Continuous Cycles, Recover Nutrients, Apply local solutions & Large Scale Eco-Rehabilitation								
Space	Expulsion of wild life	Proximity heavy industry	Energy/Food Production	Scarcity in densely used areas	Co-Benefits	'Available'	Responsible multiple use of space	'Supergrid' or 'Soft Diplomacy'	
	Multiple use of space; Fair, economic and ecologically sound consideration of alternatives where conflicts arise								

Figuur 16: Matrix Hulpbronnen-Waardegebieden (Resources-Values), bron: P.G. Luscuere.[14]

heeft hij door middel van landschappelijke ingrepen de waterretentie dusdanig vergroot dat de vernieuwing aanzienlijk goedkoper kon en het geheel voor 15 M\$ in plaats van de oorspronkelijke 50 M\$ kon worden gerealiseerd. Het moge duidelijk zijn dat deze ingreep niet alleen een kostenvoordeel bood, maar dat er veel waarde aan de omgeving is toegevoegd, zowel voor mensen als qua biotoop voor veel diersoorten.

Een ander voorbeeld van Co-benefits kan worden ontleend aan studies die onder andere Realdania laat doen. Realdania is een organisatie die tot doel heeft het verbeteren van de levenskwaliteit van de Denen, door interventies in de gebouwde omgeving. In 2016 hebben zij ons werkverband een bezoek gebracht ter inspiratie. Verder laten zij studies verrichten om te zien welke projecten het meeste effect sorteren. Zo is er een studie verricht tezamen met C40 Cities, Damvad Analytics en The City of Copenhagen.[15] Hierin worden diverse

projecten beschreven, waaronder de financiële voordelen van 'Congestion Charges' in London en Stockholm. Hierin blijken veel effecten in geld uit te drukken te zijn. Dat zijn niet alleen de directe kosten/inkomsten, maar ook een serie indirecte posten zoals kortere reistijden, verminderde emissies en minder ongelukken. Al met al is het maatschappelijk een zeer positieve interventie. Het is de kunst bij een voorgenomen interventie verschillende belanghebbenden bijeen te brengen die ieder verschillende in geld uit te drukken belangen hebben, maar gezamenlijk meer waarde creëren.

### Beyond Sustainability of De duurzaamheid voorbij

Voortbouwend op de matrix (figuur 16) is in de publicatie in Rumoer het concept van een positieve footprint toegepast op natuurlijke hulpbronnen, die leiden tot definities over wat verder gaat dan duurzaamheid, oftewel Beyond Sustainability.[16] De auteurs hebben deze definities voor toepassing bij een interventie in de gebouwde omgeving verder ontwikkeld tot de volgende set:

De haalbaarheid van deze definities varieert per hulpbron. Voor energie is deze - afhankelijk van locatie en ontwerp - zeker mogelijk, voor technische materialen in de huidige context vrijwel niet. In de praktijk passen we natuurlijk al lang de stappen uit het vlindermodel van de Ellen

Energie	Produceer meer hernieuwbare energie dan de interventie gebruikt, inclusief het 'embodied' gedeelte.
Water	Reinig de afvoer van water zodat de uitstoot schoner is dan de inname.
Lucht	Reinig de afvoer van lucht zodat de uitstoot schoner is dan de inname.
Bovengrond	Neem maatregelen zodat de kwaliteit van de bovengrond toeneemt gedurende de verwachte levensduur.
Biologische materialen	Breng biologische materialen in een biologische kringloop, zodat deze door de natuur eeuwigdurend kunnen worden hergebruikt.
Technische materialen	Breng technische materialen in een technische kringloop, zodat deze eeuwigdurend kunnen worden hergebruikt zonder kwaliteitsverlies.
Ruimte	Meerzijdig ruimtegebruik zonder kwaliteitsverlies.

Tabel 2: Definities van 'Beyond Sustainability' voor in de gebouwde omgeving gebruikelijke natuurlijke hulpbronnen bij een interventie in de gebouwde omgeving.



MacArthur Foundation toe (figuur 17): delen, onderhouden, hergebruiken, en opknappen. Het probleem ontstaat dat recycling, hoe noodzakelijk ook in de praktijk meestal 'downcycling' betreft. En dat is in termen van Cradle to Cradle 'Less Bad' en dus niet goed genoeg.

Wij kunnen dit probleem verdere duiding geven met behulp van een ander begrip dat momenteel in de belangstelling staat: Circulariteit.

### Circulariteit

In de praktijk wordt circulariteit veelal uitsluitend in verband gebracht met technische materialen. In het boek Circulariteit, Op weg naar 2050? wordt een bredere definitie gegeven van circulariteit, namelijk een waarin de relatie gelegd wordt met alle genoemde natuurlijke hulpbronnen.[17] Het legt de nadruk op de herbruikbaarheid van technische materialen, lucht, water, ruimte en bovengrond en voor energie en biologische materialen betreft dit dan de hernieuwbaarheid. Herbruikbaarheid is in deze zin ook te zien als een hernieuwbaarheid, waardoor de definitie simpel is:

Circulariteit = hernieuwbaarheid, voor alle natuurlijke hulpbronnen

De conditie waaronder circulariteit voor de hulpbronnen bij een interventie in de gebouwde omgeving bereikt wordt, kan worden gedefinieerd, als voorbeeld Energie: Deze dient van een hernieuwbare bron te komen: Zon, Wind, Golven, OTEC, Biomassa, Waterkracht, Geothermie of Getijden. Indien niet volledig aan bovenstaande conditie kan worden voldaan, kunnen we ratio's definiëren die aangeven in welke mate dat al dan

niet bereikt wordt, zoals voor Energie:  $CR = \text{de fractie die hernieuwbaar is opgewekt}$ .

### De circulariteit voorbij, Beyond Circularity

In analogie met de Duurzaamheid voorbij (Beyond Sustainability) kunnen we nu ook definities geven voor de 'Circulariteit voorbij' als we hier een positieve footprint aan koppelen. Voorwaarde hierbij is wel dat alle maatregelen op zich moeten voldoen aan de circulariteitscondities. Als voorbeeld Energie: Circulariteit wordt bereikt als alle benodigde energie hernieuwbaar wordt opgewekt, overschrijding hiervan geeft een positieve footprint, de Circulariteit voorbij.

### Duurzame overvloed?

Op dit moment kunnen we stellen dat er een overvloed bestaat aan hernieuwbare energie, dat water en lucht reinigbaar zijn tot uitgangskondities, dat bovengrondproblemen zowel lokaal als op wereldschaal oplosbaar lijken en dat biologische materialen in overvloed beschikbaar zijn mits wij onze consumptie hiervan kunnen beheersen. Wat echter niet in overvloed voorhanden is, zijn de technische materialen, zie met name figuur 15.

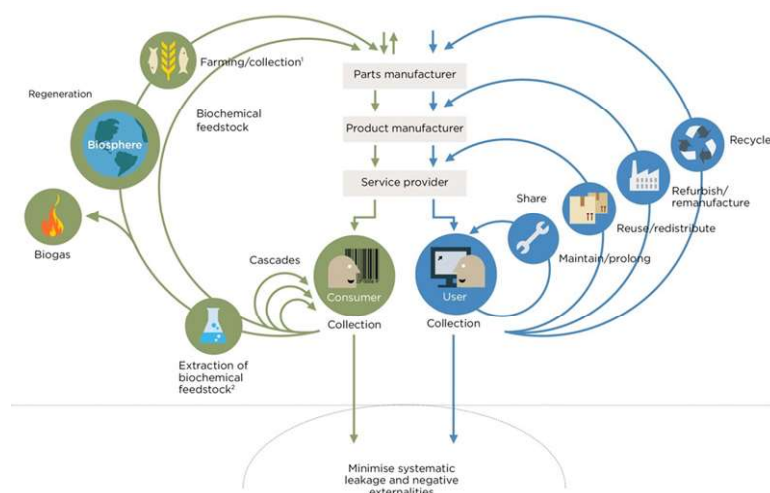
De vraag is daarmee te stellen of wij voldoende technische materialen ter beschikking hebben om de zo noodzakelijke energietransitie te kunnen realiseren, of dat de beschikbaarheid hiervan limieten stelt.

### Technische materialen en de energietransitie

Denkend aan de noodzakelijke energietransitie kwam bij mij een gedachtenexperiment naar boven: kunnen we uitrekenen of we voldoende materialen hebben om aan de gehele wereldenergiebehoefte te voldoen. Als eerste gebruiken we daarvoor het door Perez&Perez in 2022 beschreven energiegebruik van 18,5 TW.[18] Het is slechts een gedachtenexperiment aangezien bij de meeste hernieuwbare energietechnologieën wij vanwege discontinuïteiten een veelvoud hiervan nodig hebben.

We gebruiken verder de al eerdergenoemde publicatie van de US Geological Survey en de publicatie van André Diederens<sup>9</sup> om de wereldwijd commercieel winbare voorraden te identificeren. Recepturen voor diverse energietechnologieën in kg/kWnom ontlenen we aan Michael F. Ashby.[19]

Op deze wijze blijken bij diverse technologieën voor meerdere materialen substantiële hoeveelheden van de wereldvoorraden noodzakelijk te zijn en in sommige gevallen zelfs vele malen meer dan in zijn totaal voorradig



Figuur 17: Vlindermodel, bron: Ellen MacArthur Foundation.

is. Dat geldt niet alleen voor 'Silicon based PV', of 'Concentrating thermal power', maar eveneens voor 'Offshore wind' of ter vergelijking een niet hernieuwbaar voorbeeld: 'Pressurized water reactor'.

Materialen die schaars dan wel **volledig overvraagd** zijn: Silver, Aluminium, Indium, Tin, Cadmium, Tellurium, Koper, Chroom, Lood, Molybdeen en Zirkonium.

Dit zijn niet zozeer de 'kritieke materialen' die de laatste tijd in de belangstelling staan, waar geopolitieke aspecten een belangrijke rol spelen, maar waarvan in het geheel de verkrijgbaarheid grenzen stelt. Natuurlijk kunnen we onderzoek doen naar het verminderen van de benodigde hoeveelheden materialen of ze vervangen door alternatieven.

Een goed voorbeeld van vervanging betreft goud bij de productie van Silicon PV-cellen. Bij eerdere technologieën was er aanmerkelijk meer dan de wereldvoorraad nodig. Goud is echter vervangen door zilver. Maar ook hier wordt veel van de wereldvoorraad gevraagd. Momenteel gebruikt de wereldwijde PV-productie ongeveer 10% van de wereldproductie aan zilver. Hiermee werd in 2022 ongeveer 200 GW aan capaciteit toegevoegd, waarmee zojuist de eerste TW aan productiecapaciteit gerealiseerd is. Zelfs als we de afnemende hoeveelheden zilver extrapoleren naar een Consumption per Power (CPP) van 3,9-8,9 mg/W in 2030, resulteert dat in 0,68-1,55 van de commercieel winbare voorraden om de beoogde 18,5 TW te realiseren.[20]

We kunnen veilig stellen dat we op dit moment, met de huidige technologieën en gegeven de beperkte voorraden eindige technische materialen, niet in staat zijn de energietransitie tot een goed einde te brengen. Dat staat nog los van het feit dat we allengs afhankelijk geworden zijn van een beperkt aantal landen voor het leveren van deze materialen en we ook in Europa meer aandacht aan het winnen van dergelijke materialen moeten schenken.

Naast het verminderen van materiaalintensiteit zullen we moeten inzetten op hoogwaardige recycling omdat, zolang het geen

vervanging betreft door biologische materialen, we moeten beseffen dat de technische materialen **eindig** zijn.

### Technische materialen en de gebouwde omgeving

We weten dat de gebouwde omgeving veel van onze hulpbronnen vergt, ongeveer 40% van het finale energieverbruik en eveneens ongeveer 40% van het materiaalgebruik.[21] Als we verder inzoomen naar nieuwbouw, dan nemen de gebouwinstallaties 30-50% van de investeringen voor hun rekening. Dit zijn met name hoogwaardige technische materialen, die ook nog eens een kortere technische of economische levensduur hebben dan de constructie en de gevel.

Hiermee gebruiken de technische installaties een groot deel van de benodigde technische materialen in de gebouwde omgeving. En hiermee heeft de installatiebranche een grote verantwoordelijkheid een bijdrage te leveren aan het bereiken van een circulaire industrie. Zij kan dat niet alleen en er dient dan ook samengewerkt te worden met alle betrokken partijen, van delfstoffenwinning tot en met de recyclingsbranche aan toe. En dat onder een behoorlijke tijdsdruk om met elkaar de noodzakelijke energietransitie mogelijk te maken. Tot 2030 resteren nog 2.089 werkdagen om 50% van de beoogde doelstellingen te halen en tot 2050 nog 7.309.

We weten wat ons te doen staat, nu nog de wil om het waar te maken. In dit kader kwam ik een toepasselijk citaat tegen: "The saddest aspect of life right now is that science gathers knowledge faster than society gathers wisdom." Isaac Asimov.

### Dankbetuiging

Ik dank mijn praktijkleerscholen: Philips, TNO, RTB van Heugten en Royal Haskoning. Ik dank hen die mij geïnspireerd hebben: Jeremy Rifkin en Michael Braungart. Ik dank vrienden en collega's in China en aan de TU Delft. Ik dank de vele collega's van bouwpartijen, waarmee we projecten gerealiseerd hebben. Ik dank mijn familie.

#### Referenties

1. [https://www.facebook.com/vrouw/videos/maria-koijck-maakt-kunstwerk-van-haar-eigen-operatie-afval/707935473205272/?locale=th\\_TH](https://www.facebook.com/vrouw/videos/maria-koijck-maakt-kunstwerk-van-haar-eigen-operatie-afval/707935473205272/?locale=th_TH)
2. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
3. <https://svs.gsfc.nasa.gov/5060>
4. [https://climate.nasa.gov/climate\\_resources/155/video-annual-arctic-sea-ice-minimum-1979-2022-with-area-graph/](https://climate.nasa.gov/climate_resources/155/video-annual-arctic-sea-ice-minimum-1979-2022-with-area-graph/)
5. a-fundamental-look-at-the-planetary-energy-reserves
6. Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions, Jos Lelieveld et.al.
7. The 2018 report of the Lancet Countdown on health and climate change: shaping the health of nations for centuries to come, Nick Watts et.al.
8. <https://www.worldwildlife.org/threats/soil-erosion-and-degradation>
9. Stills from internet animation (novo\_progressov\_finalcomp\_1080p30.mp4)
10. <https://www.youtube.com/watch?v=YBLZmwlPa8A>
11. <https://doi.org/10.5066/P9KKMCP4>
12. Global Resource Depletion, Eburon Delft 2010
13. M Braungart, W McDonough, Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things, 2002. ISBN: 0-86547-587-
14. Environmental Challenges/Solutions/model v.15.7, PG Luscuere & WM Luscuere & SC Jansen, May 2021
15. The Co-benefits of Sustainable City Projects
16. RuMoer #62 Sustainability, p.26-45. PG Luscuere, RJ Geldermans, MJ Tenpierik, SC Jansen ([https://issuu.com/rumoer/docs/rumoer\\_62-sustainability](https://issuu.com/rumoer/docs/rumoer_62-sustainability))
17. <https://www.Hydrogenrocks.nl>
18. Update 2022 –A fundamental look at supply side energy reserves for the planet, Marc Perez, Richard Perez
19. Michael F. Ashby, Materials and the Environment: eco-informed material choice. ISBN 978-0-12-385971-6
20. JC Goldschmidt et al, Technological learning for resource efficient terawatt scale photovoltaics, DOI: 10.1039/d1ee02497c
21. Eurostat (online data code: nrg\_bal\_s)