



Stappenplan voor de Energiemix van de Toekomst *Limburg*

Inhoudsopgave

1. Inleiding	4
2. Samenvatting	5
3. Leidende principes	6
4. Methode.....	9
Stap 1: Bepalen van de opgaven	9
Stap 1A: Scope energiebronnen/-dragers voor het verdere onderzoek.....	10
Stap 2: Vertalen van de opgaven naar bruikbare criteria en indicatoren	11
Stap 3: Bepalen van effecten op de (leef)omgeving	11
Stap 4: Afweging en onderbouwing van voorkeursalternatieven.....	12
Stap 5: Doelbereik en keuzes maken	13
Stap 6a: Van beleid naar uitvoering	13
Stap 6b: Lokale context bij uitvoering.....	13
5. Scoren van energiebronnen	14
1. Schone energie voor iedereen en tegengaan klimaatverandering	15
2. Schoon water en duurzame drinkwatervoorziening	15
3. Weerbaarheid tegen klimaatverandering en rampen	16
4. Circulaire samenleving door gebruik van materialen en natuurlijke hulpbronnen	16
5. Gezonde leefomgeving: goede milieukwaliteit van de bodem.....	17
6. Gezonde leefomgeving: goede milieukwaliteit van de lucht	18
7. Gezonde ecosystemen en biodiversiteit.....	18
8. Gezonde en veilige inrichting van de leefomgeving	18
6. Resultaten van afweging en voorkeursalternatieven	20
7. Lokale context bij uitvoering	25
8. Discussie.....	31
9. Conclusie	33
Bijlage 1: Toepassing methodiek NMF Limburg	34
Stap 1: De opgaven.....	34
Stap 1A: Scope energiebronnen/dragers in het verdere onderzoek.....	35
Stap 2: Vertaling van de opgaven naar bruikbare criteria en indicatoren.....	36

Stap 3: Effecten op de (leef)omgeving	38
Stap 4: Afweging en onderbouwing van voorkeursalternatieven	40
Stap 5: Doelbereik en keuzes maken	41
Stap 6b: Lokale context bij uitvoering.....	41
Bijlage 2: Energiebesparende maatregelen.....	43
Bijlage 3: Factsheets per energiebron	47

1. Inleiding

De Natuur en Milieufederatie Limburg zet zich in voor een duurzame energievoorziening in Limburg in 2050. Om de door de mens veroorzaakte uitstoot van broeikasgassen tot nul terug te brengen, is een ingrijpende energietransitie onvermijdelijk. Wij stimuleren de overgang naar duurzame energiebronnen en zorgen ervoor dat dit niet ten koste gaat van de natuur en het landschap in Limburg.

Op weg naar duurzame energiebronnen

Het tegengaan van de opwarming van de aarde is een wereldwijde uitdaging. Er zijn internationale afspraken gemaakt waaraan Nederland zich heeft verbonden. In 2030 moet de CO₂-uitstoot met 55% zijn teruggebracht ten opzichte van 1990 en in 2050 is de ambitie om de CO₂-uitstoot met 95% te hebben gereduceerd. Dit vraagt om een aanzienlijke inspanning op het gebied van energiebesparing, evenals een ingrijpende overgang van fossiele energievoorziening naar duurzame en waar mogelijk circulaire energiebronnen.

Onze rol in de provincie

De Natuur en Milieufederaties zijn medeondertekenaars van het landelijk Klimaatakkoord 2019. NMF Limburg speelt een belangrijke rol in de uitvoering van deze afspraken op regionaal niveau. Wij richten ons op het ondersteunen van bewonersinitiatieven en energiecoöperaties, het adviseren van overheden op het gebied van energiebesparing en duurzame energieopwekking, en het bevorderen van kennisdeling. Daarnaast zijn wij betrokken bij het proces van de Regionale Energiestrategie (RES) in Limburg.

Zorgvuldige afweging

Hernieuwbare energie vereist ruimte, en dat heeft invloed op natuur, milieu en landschap. NMF Limburg wil bijdragen aan de realisatie van de energieopgave met behoud van deze waarden. De energietransitie vraagt om keuzes, en wij vervullen hierin een verbindende en ondersteunende rol. We wegen verschillende belangen af en nemen het initiatief in het debat. Zo kunnen we komen tot breed gedragen voorstellen en oplossingen. Waar nodig bemiddelen we tussen ontwikkelaars, burgers en natuurorganisaties.

Insteek stappenplan

Dit document biedt een methodiek voor de verkenning van de energiemix van de toekomst en schetst een toekomstbeeld op basis van leidende principes en een afwegingskader. Het stappenplan heeft twee functies: het biedt beleidsmakers inzicht in de keuzes voor de gewenste energiemix op provinciaal niveau en reikt handvatten aan om lokale energieprojecten integraal te beoordelen. Hierbij wordt rekening gehouden met de specifieke uitdagingen van elk project, waarbij omgevingsfactoren op verschillende manieren afgewogen kunnen worden.

Het doel van dit document is om beleidsmakers en andere betrokkenen te ondersteunen in het proces om te komen tot een heldere Energievisie en de discussie te kunnen voeren over de te maken keuzes, rekening houdend met verschillende belangen.

2. Samenvatting

Het stappenplan voor de Limburgse energiemix van de toekomst van de Natuur- en Milieufederatie Limburg (NMF Limburg) heeft als doel om beleidsmakers te ondersteunen bij het maken van verantwoorde keuzes op basis van een afwegingskader dat rekening houdt met ecologische, sociale en economische factoren. Dit document richt zich op de overgang van fossiele brandstoffen naar duurzame energiebronnen, met behoud van de natuur, landschap en gezondheid van de inwoners.

Leidende Principes

De NMF Limburg stelt vijf leidende principes centraal in de energietransitie:

1. **Meervoudig ruimtegebruik:** Energiewinning moet waar mogelijk gecombineerd worden met andere functies, zoals landbouw of natuurbeheer.
2. **Niet afwentelen:** De keuzes voor duurzame energie mogen geen nieuwe problemen creëren, zoals ecologische schade, of problemen afschuiven naar andere delen van de wereld of toekomstige generaties.
3. **Gezonde natuur en leefomgeving:** Een toekomstbestendig energiesysteem moet onderdeel zijn van, en daarmee bijdragen aan, een veerkrachtig ecosysteem.
4. **Water- en bodem sturend:** Waterbeheer en bodembehoud zijn cruciaal om de negatieve effecten van energieprojecten te voorkomen.
5. **Energiebesparing:** Energiebesparing blijft een essentieel onderdeel van de strategie, omdat de meest duurzame energie de energie is die niet wordt verbruikt.

Methode

De visie is opgebouwd uit een stapsgewijze methode om de energiemix van de toekomst te bepalen:

- **Stap 1:** Het bepalen van de belangrijkste thema's, zoals schone energie, weerbaarheid tegen klimaatverandering en het behoud van biodiversiteit.
- **Stap 2:** Deze opgaven worden vervolgens vertaald naar concrete criteria en indicatoren, bijvoorbeeld CO₂-uitstoot en impact op biodiversiteit.
- **Stap 3-6:** De methode omvat het afwegen van de milieu- en sociale effecten van verschillende energiebronnen, het evalueren van hun impact op de lange termijn en het betrekken van de lokale context bij het selecteren van energieprojecten.

3. Leidende principes

De leidende principes van NMF Limburg vormen een cruciaal startpunt voor een duurzame energietransitie in de provincie. Ze bieden richting in een proces van complexe interacties tussen milieu, economie en sociaal welzijn. Met uitdagingen zoals wettelijke verplichtingen en de bescherming van unieke natuurgebieden, is het essentieel dat beleidsmakers duidelijke principes volgen, die helpen bij het maken van weloverwogen keuzes. Dit hoofdstuk verkent deze principes als fundament voor een veerkrachtige toekomst voor Limburg.

Meervoudig ruimtegebruik gebaseerd op prioriteiten en keuzes

Waar mogelijk dient gekozen te worden voor meervoudig ruimtegebruik, waarbij energieopwekking wordt gecombineerd met andere functies. Zo kan 'werk met werk' gemaakt worden en ontstaat meerwaarde. Het is een illusie om te denken dat alle ruimtelijke opgaven hiermee opgelost zijn. De verschillende opgaven en ambities leiden tot spanningen over (milieu)ruimtevrage en deze spanningen vragen om ruimtelijke keuzes. Er dient onderscheid gemaakt te worden in belang, urgentie en juridische grondslag van verschillende opgaven. Bepaalde opgaven zijn wettelijk verplicht, zoals die voor natuur (Habitatrichtlijn) en water (Nitraatrichtlijn en Kaderrichtlijn Water). In lijn met de Omgevingswet dient het milieubelang volwaardig meegewogen te worden.

Een risico is dat bestuurders soms terughoudend zijn om keuzes te maken. De hoop bestaat dat een slimme combinatie van meervoudig ruimtegebruik, innovatieve technologieën en samenwerking het mogelijk maakt aan alle verwachtingen en wensen te voldoen. Dit is zelden haalbaar. Keuzes zijn noodzakelijk en soms pijnlijk. Sommige besluiten komen voort uit wettelijke verplichtingen of uit participatieprocessen die consensus bevorderen, maar vaker zijn ze het resultaat van complexe afwegingen, waarbij bestuurders niet kunnen ontsnappen aan het teleurstellen van betrokkenen – inclusief zichzelf.

Niet afwentelen

Bij de transitie naar schone en hernieuwbare energie is het van belang dat oplossingen geen nieuwe problemen veroorzaken of bestaande doelstellingen ondermijnen, zoals natuurbescherming, waterkwaliteit en volksgezondheid. Daarnaast moet bij de keuzes die in Limburg worden gemaakt ook rekening gehouden worden met hun impact op andere delen van de wereld of toekomstige generaties, zodat we uitputting van het milieu elders of later zoveel mogelijk voorkomen. Daarom is het van belang om de effecten van de productie van energie over de gehele levenscyclus mee te nemen.

Water en bodem sturend – werken aan systeemherstel

Het concept van water- en bodem sturend houdt in dat de impact op waterbronnen, bodemkwaliteit en het natuurlijke landschap centraal staat bij elke stap van de energietransitie¹. Limburg, met zijn unieke landschappen zoals de Maasvallei en het Heuvelland, vereist zorgvuldig water- en bodembeheer. De ontwikkeling van energieprojecten kan immers de natuurlijke waterhuishouding verstoren en leiden tot bodemdegradatie, wat weer kan resulteren in bodemdaling en overstromingen. Door water- en bodemsturing als basis te hanteren, kan Limburg een energietransitie realiseren die zowel klimaatneutraal als ecologisch veerkrachtig is.

Diversiteit

Een robuust energiesysteem vereist diversiteit in energiebronnen om stabiliteit, flexibiliteit en duurzaamheid te waarborgen. Dit houdt in dat het energiesysteem niet afhankelijk mag zijn van slechts een beperkt aantal bronnen, maar moet steunen op een breed scala aan energiebronnen en -dragers. Een gediversifieerde energie-mix vermindert de kwetsbaarheid voor schommelingen in aanbod en vraag, en vergroot de energiezeekerheid.

Energiebesparing

Het belang van energiebesparing mag niet worden onderschat: hoe minder energie we verbruiken, hoe minder er geproduceerd hoeft te worden. Dit leidt niet alleen tot lagere productie-, transport- en importkosten, maar vermindert ook de afhankelijkheid van buitenlandse fossiele brandstoffen, wat cruciaal is in de huidige geopolitieke context. Daarnaast verlaagt energiebesparing onze ecologische voetafdruk, waardoor we de impact op het klimaat beperken.

Hoewel we de toekomstige energiebehoefte niet met zekerheid kunnen voorspellen, blijft het cruciaal om energiebesparende maatregelen te omarmen. De meest duurzame energie is immers de energie die we niet verbruiken. Daarom beschouwen wij energiebesparing als een onmisbare randvoorwaarde voor de energietransitie en als een fundament voor de ontwikkeling van een robuust en toekomstbestendig energiesysteem. Voor een overzicht van energiebesparende maatregelen verwijzen we naar bijlage 2.

Betrokkenheid lokale bevolking

Betrokkenheid van de lokale bevolking is essentieel voor het succes van hernieuwbare energieprojecten. Onderzoek van het Sociaal en Cultureel Planbureau (SCP) toont aan dat de acceptatie van dergelijke projecten sterk afhangt van de mate waarin lokale gemeenschappen worden betrokken bij de besluitvorming en profiteren van de opbrengsten².

¹ Water en bodem sturend – WUR

² <https://www.scp.nl/publicaties/monitors/2019/09/27/burgerperspectieven-2019-3>

Gezonde natuur en gezonde leefomgeving centraal

Een gezonde natuur is een veerkrachtig ecosysteem met goed functionerende natuurlijke kringlopen, dat in optimale conditie kan blijven en in staat is om te herstellen van verstoringen. Een gezonde natuur is flexibel en robuust. Een gezonde leefomgeving, volgens de definitie van het RIVM, is een leefomgeving die als prettig wordt ervaren, die uitnodigt tot gezond gedrag en waar de druk op de gezondheid zo laag mogelijk is. De NMF Limburg kijkt daarbij naar welzijn en gezondheid voor mens en dier. Deze uitgangspunten zijn essentieel voor het afwegen van de energiemix van de toekomst.

4. Methode

In dit hoofdstuk presenteren we een gestructureerde aanpak voor beleidsmedewerkers om de energiemix van de toekomst te bepalen. Dit proces is opgebouwd uit zes stappen, die samen een overzichtelijke leidraad bieden om de opgaven en criteria voor duurzame energiebronnen en -dragers te formuleren en te evalueren. Door deze stappen te volgen, kunnen transparante en weloverwogen keuzes gemaakt worden.

Stap 1: Bepalen van de opgaven

In deze eerste stap worden de opgaven vastgesteld waaraan de energiebronnen/ dragers, als onderdeel van de energiemix, moeten voldoen. Als NMF Limburg richten we ons bijvoorbeeld op de hoofdthema's die verband houden met de leefomgeving, zoals beschreven in onze besluitWIJZER. Daarnaast kunnen bijvoorbeeld ook de Duurzame Ontwikkelingsdoelen (SDG's) (figuur 1), principes van brede welvaart, de "Do No Significant Harm" (DNSH) richtlijn of eigen beleidsprincipes worden toegepast.



Figuur 1: Bron [SDG Nederland](#)

The six environmental objectives :



Figuur 2: Bron [European Commission](#)

Stap 1A: Scope energiebronnen/-dragers voor het verdere onderzoek

In deze stap is het belangrijk om als beleidsmakers te bepalen welke energiebronnen/-dragers³ verder onderzocht dienen te worden om de energiemix van de toekomst te bepalen. In de tabel hieronder staan de belangrijkste energiebronnen/-dragers voor Nederland, inclusief een korte omschrijving van hun gebruik.

Energiebron en/of -drager	Omschrijving	Gebruik
Aardgas	Fossiele brandstof, voornamelijk methaan (CH ₄), gevormd door afbraak van organisch materiaal onder druk en hitte.	Verwarming, elektriciteitsopwekking, koken
Kernenergie	Energie uit kernsplijting (bv. uranium-235) en kernfusie. Gebruikt om stoom op te wekken voor het aandrijven van turbines.	Elektriciteitsopwekking
Biomassa	Hernieuwbare energie uit organisch materiaal, omgezet via verbranding, vergassing, vergisting of pyrolyse.	Warmte, elektriciteitsopwekking, brandstof
Geothermie	Warmte uit de aarde, gewonnen door boringen naar hete waterlagen of stoom.	Verwarming, elektriciteitsopwekking
Waterstof	Kleurloos, reukloos gas (H ₂), geproduceerd via methoden zoals elektrolyse, stoommethaanhervorming of biomassa-vergassing.	Brandstof, industriële processen
Waterkracht	Energie uit stromend water, opgewekt via dammen of waterkeringen.	Elektriciteitsopwekking
Zonne-energie	Hernieuwbare energie uit zonlicht, opgewekt via zonnepanelen op daken of op land.	Elektriciteitsopwekking
Windenergie	Elektriciteit opgewekt door de kinetische energie van de wind, via windturbines.	Elektriciteitsopwekking
Thorium	Kernenergie via thorium, waarbij uranium-233 wordt gespleten dat uit thorium wordt geproduceerd.	Elektriciteitsopwekking
Aquathermie	Gebruikt warmte of koude uit oppervlaktewater (meren, rivieren, zee) voor verwarming en koeling.	Verwarming, koeling
Warmte-koude opslag	Opslag van warmte en koude in ondergrondse waterlagen voor gebruik in seizoenen met een tegenovergestelde vraag.	Verwarming, koeling
Kitepower	Opwekken van elektriciteit via vliegers die windstromen op grote hoogte benutten.	Elektriciteitsopwekking
Getijdenergie	Benut de op- en neergaande beweging van zeewater (getijden) voor het opwekken van elektriciteit.	Elektriciteitsopwekking

³ Een energiebron is een natuurlijke bron waaruit direct energie kan worden gewonnen. Deze bronnen leveren primaire energie, die nog niet is omgezet.

⁴ Een energiedrager is een middel om energie op te slaan of te vervoeren nadat deze is gewonnen of opgewekt. Een energiedrager bevat energie die oorspronkelijk uit een energiebron is gehaald en kan worden gebruikt of getransporteerd naar de plek waar de energie nodig is.

Zoet-zoutwater conversie	Ontzilting van zoutwater om zoetwater te produceren, via technieken zoals omgekeerde osmose of destillatie.	Drinkwater, irrigatie, industriële toepassingen
Olie	Fossiele brandstof, wereldwijd gebruikt voor transport (benzine, diesel, kerosine), elektriciteitsopwekking en als grondstof voor de petrochemische industrie.	Brandstof, elektriciteitsopwekking, chemische productie
Steenkool	Fossiele brandstof die veel wordt gebruikt voor elektriciteitsopwekking en in industriële processen.	Elektriciteitsopwekking, industriële processen

Tabel 1: Beschrijving mogelijke energiebronnen

Stap 2: Vertalen van de opgaven naar bruikbare criteria en indicatoren

Deze stap vertaalt de eerder gedefinieerde opgaven naar concrete en bruikbare criteria en indicatoren. Het is belangrijk om op te merken dat het niet altijd mogelijk is om kwantitatieve indicatoren vast te stellen. De beschikbaarheid van gegevens kan hierbij een rol spelen, hierover meer in stap 3. Daarnaast zijn sommige effecten van nature meer kwalitatief van aard, waardoor het cruciaal is om significante kwalitatieve aspecten mee te wegen.

De tabel hieronder toont een voorbeeld van een uitgewerkte opgave naar de bijbehorende criteria, meeteenheden en toelichting. Let op, het is mogelijk om meer dan één criterium en/of meerdere meeteenheden bij een opgave te stellen:

Opgave	Criterium	Meeteenheid	Uitleg
<i>Schone energie voor iedereen en tegengaan klimaatverandering</i>	CO ₂ -eq uitstoot	LCA (Life Cycle Analyses) CO ₂ equivalenten per energie-eenheid, MWh of KWh	Emissies van kooldioxide-equivalenten die bijdragen aan klimaatverandering gedurende de hele levensduur.

Tabel 2: voorbeeld uitwerking opgave 'Schone energie'

Stap 3: Bepalen van effecten op de (leef)omgeving

Deze stap analyseert op basis van gegevens de effecten van de geselecteerde energiebronnen op de fysieke leefomgeving en andere maatschappelijke opgaven, zoals eerder gedefinieerd in Stap 2. Dit proces omvat zowel kwantitatieve als kwalitatieve beoordelingen. Wanneer er onvoldoende gegevens beschikbaar zijn om de huidige situatie adequaat in kaart te brengen, kan een kwalitatief oordeel waardevol zijn. Een effectieve manier, is door experts op het betreffende gebied te raadplegen. Zij kunnen, op basis van de beschikbare gegevens en hun eigen ervaring, een 'expert judgement' geven over de specifieke opgaven of effecten. Daarnaast is het mogelijk om deze kwalitatieve gegevens te kwantificeren door te werken met schaalvragen van 1 tot 10. Hierdoor kunnen de meningen van experts gestructureerde vastgelegd en vergeleken worden.

Deze aanpak biedt beter inzicht in de verwachte effectiviteit van verschillende keuzes, wat beleidsmakers helpt om weloverwogen beslissingen te nemen over de impact van energiebronnen op de leefomgeving en de maatschappelijke opgaven. De tabel hieronder geeft een voorbeelduitwerking van de opgave ‘Schone energie voor iedereen en tegengaan klimaatverandering’ zoals beschreven in stap 2 voor een aantal bronnen:

	Aardgas	Nucleair	Thorium	Biomassa	Geothermie	Groene waterstof	Waterkracht	Zon op land	Zon op dak	Wind op land
LCA CO ₂ -eq uitstoot (Gram CO ₂ eq.)	430	5,1	9,9	230	25	9,1	11	37	37	12

Tabel 3: Voorbeelduitwerking van score op criterium CO₂ uitstoot

Stap 4: Afweging en onderbouwing van voorkeursalternatieven

In deze stap worden de alternatieve energiebronnen en -dragers beoordeeld en gewogen om tot weloverwogen keuzes te komen. Dit proces omvat verschillende aspecten:

- Leidende principes voor besluitvorming:** Beslissingen worden genomen op basis van vooraf gedefinieerde opgaven en doelen, die als richtlijnen dienen.
- Prioritering op basis van wettelijke doelen:** De opties worden geprioriteerd op basis van relevante wetgeving en beleidsdoelen.
- Stakeholderparticipatie:** Het is mogelijk om een brede groep stakeholders—zoals inwoners, maatschappelijke organisaties, raadsleden en gemeentemedewerkers—te betrekken bij het proces. Dit kan bijvoorbeeld door hen te vragen een score te geven op een 5-punts schaal over verwachte invloed van de voorgestelde energiemix op de kwaliteit van verschillende aspecten van de leefomgeving. Het gemiddelde van deze scores biedt inzicht in hoe deze ingeschatte verandering van de omgeving door verschillende groepen wordt ervaren. Deze inclusieve benadering zorgt voor een evenwichtig beeld van de situatie.

Bij het afwegen van alternatieven kan het nodig zijn om extra gewicht toe te kennen aan bepaalde thema's of onderdelen. Een voorbeeld hiervan is de Omgevingswet, die veel nadruk legt op het thema gezondheid. Vanuit dit perspectief kan ervoor worden gekozen om onderwerpen die betrekking hebben op een gezonde inrichting van de leefomgeving of een goede milieukwaliteit zwaarder mee te laten wegen.

De vrijheid om te prioriteren vraagt om transparantie en heldere argumenten. Een reden om een thema zwaarder te laten meewegen, kan zijn dat de nulmeting—aangeven hoe de huidige situatie is—tekorten laat zien die verholpen moeten worden. Een voorbeeld daarvan is de achteruitgang van de Nederlandse biodiversiteit: metingen wijzen erop dat veel natuurwaarden in Nederland onder druk staan.

Daarnaast kan uitstel van maatregelen leiden tot ontoelaatbare verslechtering van een situatie. Ook het afwegingsprincipe van 'meervoudig ruimtegebruik' kan aanleiding geven tot prioritering van een onderwerp of maatregel die op meerdere terreinen voordelen biedt. Tenslotte kan een thema extra gewicht krijgen vanwege specifieke lokale kwaliteiten die de lokale overheid wil benutten of versterken.

Stap 5: Doelbereik en keuzes maken

Op basis van stap 4 komt een aantal voorkeursscenario's bovendrijven. In deze stap wordt onderzocht in hoeverre de vooraf gestelde opgaven/doelen, zoals gedefinieerd in Stap 1, daadwerkelijk worden bereikt. Het doelbereik is cruciaal voor het evalueren van de effectiviteit van de mix van geselecteerde energiebronnen en -dragers.

Door te begrijpen welke doelen/opgaven wel of niet worden behaald, kan de regionale of lokale overheid weloverwogen beslissingen nemen over toekomstige richtingen en prioriteiten en/of mitigerende maatregelen nemen door o.a. flankerend beleid. Het maken van keuzes is onontkoombaar; soms zijn deze keuzes zelfs pijnlijk, omdat ze kunnen betekenen dat bepaalde belangen of wensen niet worden vervuld. In deze stap is transparantie en duidelijkheid naar stakeholders belangrijk, over de afwegingen die ten grondslag liggen aan de keuzes, de positieve en negatieve effecten van de keuze en eventuele mitigerende maatregelen die genomen moeten worden.

Stap 6a: Van beleid naar uitvoering

Een cruciale stap om tot de ideale energiemix te komen, is het verkrijgen van inzicht in het huidige energieverbruik en de toekomstige verwachtingen. Dit kan door het raadplegen van verschillende landelijke bronnen zoals de Klimaat en Energieverkenning (KEV) van het Planbureau voor de Leefomgeving, maar ook historische cijfers van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) zijn bruikbaar.

Stap 6b: Lokale context bij uitvoering

Bij het nemen van beslissingen over welke bronnen/dragers waar worden toegepast is de locatie waar het energieproject wordt uitgevoerd van groot belang. De impact van een energieproject is afhankelijk van verschillende factoren, waaronder:

- **Milieuomstandigheden:** De ecologische kenmerken van een gebied kunnen de haalbaarheid van een project beïnvloeden.
- **Lokale biodiversiteit:** Het behoud of zo mogelijk de inpassing van flora en fauna moet worden afgewogen bij het beoordelen van het project.
- **Sociale en economische contexten:** De acceptatie van een project door de lokale gemeenschap is cruciaal voor het succes ervan.
- **Bestaande infrastructuur:** De aanwezigheid van bestaande infrastructuur, zoals - energienetwerken en transportverbindingen, kan de implementatie van nieuwe energieoplossingen vergemakkelijken of bemoeilijken.

5. Scoren van energiebronnen

Bijlage 1 presenteert de toepassing van onze methode om tot een effectieve energiemix te komen vanuit het perspectief van de NMF Limburg. We tonen aan hoe we systematisch de benodigde stappen hebben doorlopen, beginnend met het vaststellen van de opgaven en criteria die richting geven aan onze keuzes. Door de energiebronnen systematisch te beoordelen, de criteria zorgvuldig af te wegen en de effecten van verschillende energiebronnen te evalueren, bieden we een transparante en onderbouwde basis voor een energiemix van de toekomst. In dit hoofdstuk geven we de uitkomsten weer van deze afweging voor verschillende energiebronnen ter inspiratie.

De afweging van energiebronnen vindt plaats aan de hand van een set indicatoren, die de belangrijkste directe en indirecte effecten van energiebronnen over de gehele levenscyclus meenemen op acht opgaven, zoals gedefinieerd door de NMF Limburg. Tabel 5 geeft de resultaten in de werkelijke meeteenheden voor elk van de energiebronnen terwijl in tabel 6 de resultaten zijn vertaald naar een score op een schaal van 0-100. Voor sommige energiebronnen ontbreekt in meer of mindere mate data om tot een goede afweging te komen.

Criteria	Meeteenheid /kWh	Aardgas	Nucleair	Thorium	Biomassa	Geothermie* *****	Waterkracht (360 Mw)	Zon op land (Poly-Si)	Zon op dak (Poly-Si)	Wind op land
Broeikasgas uitstoot	g CO ₂ eq.	430	5,1	9,9	165	25	11	37	37	12
Zoetwater eutrofiering	mg p. eq.	20	5,8		122		1,3	28	39	6,7
Zoetwater ecotoxiciteit	CTU	2,34E-01	2,70E-02				2,73E-02	7,92E-02	6,99E-02	7,48E-02
Landgebruik	Punten	0,2	0,058			4,21E-09	0,21	1,9	0,86	0,11
Grondstofgebruik (mineralen en metalen)	Microgram SB eq.	240	330			0,007135	61	4500	7200	680
Waterverbruik	Liters	1,2	2,4			0,198707	0,039	0,58	0,63	0,18
Grondstofbeschikbaarheid (R-ladder)	1-9 score	9	10	9	9	8	2	2	2	2
Energie efficiëntie	Percentage	0,50	0,36		0,85	0,40	0,90	0,22	0,22	0,45
Bodem vermessing	Mol N-eq.	7,49E-04	9,70E-05			8,10E-09	1,43E-04	4,48E-04	5,10E-04	1,26E-04
Nox	g	0,2	0,01		0,4		0,005	0,06	0,06	0,03
NH ₃	g	0,1	0,005				0,005	0,005	0,005	0,005
SO _x	g	0,1	0,02		0,1		0,005	0,05	0,05	0,025
Luchtvervuiling ademhalings ziekte-	i	1,33E-09	2,21E-09				8,07E-10	2,21E-09	2,31E-09	7,06E-10
Impact op ecosysteem	Punten per MWh	2,3	0,1				0,9	1,2	0,9	0,2
Niet-kankerverwekkende effecten	CTUh	7,49E-09	5,50E-09				1,39E-09	7,83E-09	1,38E-08	2,98E-09
Kankerverwekkend effect	CTUh	1,33E-09	5,51E-10				3,54E-10	4,12E-09	1,63E-09	6,56E-09
Bestraling	Gram U eq.	9,2	14				0,84	1,75	1,79	1,03

Tabel 5: Werkelijke scores energiebronnen op criteria – Bronnen op aanvraag⁴

⁴ O.a. https://unece.org/sites/default/files/2022-04/LCA_3_FINAL%20March%202022.pdf en <https://group.vattenfall.com/nl/siteassets/vattenfall-nl-site-assets/wie-we-zijn/duurzaamheid/voor-het-klimaat/duurzaam-gebruik-grondstoffen/lca-brochure-2019.pdf>

Criteria	Aardgas	Nucleair	Thorium	Biomassa	Geothermie** ****	Waterkracht (360 Mw)	Zon op land (Poly-Si)	Zon op dak (Poly-Si)	Wind op land
Broeikasgas uitstoot	100	0	1	38	5	1	8	8	2
Zoetwater eutrofiering	15	4		100		0	22	31	4
Zoetwater ecotoxiciteit	100	0				0	25	21	23
Landgebruik	11	3			0	11	100	45	6
Grondstofgebruik (mineralen en metalen)	3	5			0	1	62	100	9
Waterverbruik	49	100			7	0	23	25	6
Grondstofbeschikbaarheid (R-ladder)	88	100	88	88	75	0	0	0	0
Energie efficiëntie	59	79		7	74	0	100	100	66
Bodem vermisting	100	13			0	19	60	68	17
Nox	49	1		100		0	14	14	6
NH3	100	0				0	0	0	0
SOx	100	16		100		0	9	9	4
Luchtvervuiling ademhalings ziekte-	39	94				6	94	100	0
Impact op ecosysteem	100	0				36	50	36	5
Niet-kankerverwekkende effecten	49	33				0	52	100	13
Kankerverwekkend effect	16	3				0	61	21	100
Bestraling	64	100				0	7	7	1

Tabel 6: Gestandaardiseerde scores (0-100) van energiebronnen op criteria

Hieronder staan de kernresultaten voor elk van de acht opgaven kort beschreven. Voor meer informatie over de methodiek of de individuele energiebronnen verwijzen we naar de factsheets in **Bijlage 3**.

1. Schone energie voor iedereen en tegengaan klimaatverandering

Broeikasgas uitstoot

Op basis van de levenscyclusanalyse (LCA) CO2 equivalenten per KWh komt het beeld naar voren dat aardgas en biomassa van alle onderzochte bronnen het slechtste scoren met een uitstoot van respectievelijk 430 en 230 gram. Nucleaire energie, groene waterstof en wind op land scoren het beste met tussen de 5,1 en 12 gram CO2.

2. Schoon water en duurzame drinkwatervoorziening

Schoon water verwijst naar water dat vrij is van verontreinigingen en veilig is voor menselijke consumptie, hygiëne en landbouw. Het voldoet aan de kwaliteitseisen die zijn vastgesteld door gezondheidsautoriteiten, waaronder lage concentraties van ziekteverwekkers, chemicaliën en andere schadelijke stoffen. Toegang tot schoon water is essentieel voor gezondheid, welzijn en economische ontwikkeling.

Zoetwatereutrofiëring

Verontreiniging van zoetwater door overmatige voedingsstoffen, leidend tot algenbloei. Een belangrijk aandachtspunt bij dit criterium is dat niet voor alle energiebronnen en - dragers data gevonden kon worden. Met name de negatieve effecten van biomassa en

geothermie worden geschat als groot. Op basis van beschikbare data, wordt geconcludeerd dat bij de productie van energie uit biomassa en aardgas de grootste mate van zoetwater-eutrofiëring plaatsvindt en bij waterkracht de minste schadelijke effecten te verwachten zijn.

Zoetwater ecotoxiciteit

Dit betreft de schadelijke effecten van chemische stoffen op zoetwater ecosystemen. Bij de productie van aardgas blijken de effecten van ecotoxiciteit het grootst te zijn, terwijl die voor nucleaire energie en waterkracht het minst zijn. Voor biomassa, thorium, waterstof en geothermie zijn geen goede vergelijkende cijfers beschikbaar.

Watertemperatuurverhoging (gebruiksfase)

Dit criterium betreft de stijging van watertemperatuur door gebruik, en beïnvloedt de waterkwaliteit en op termijn waterbiodiversiteit. Databeschikbaarheid voor dit criterium is een aandachtspunt en het is daarom tot op heden niet mogelijk gebleken om de energiebronnen en -dragers hierop te beoordelen. Kwalitatief kan geconcludeerd worden dat energiebronnen die afhankelijk zijn van de aanvoer en lozing van grote hoeveelheden koelwater zoals nucleaire energie en aardgas de grootste bijdrage aan temperatuurverhogingen van het (grond- of oppervlakte) water hebben.

3. Weerbaarheid tegen klimaatverandering en rampen

Verschillende energiebronnen vereisen verschillende hoeveelheden land en brengen verschillende niveaus van risico voor omgevingsimpact bij ongevallen. De manier waarop land wordt gebruikt, kan grote gevolgen hebben voor lokale ecosystemen en biodiversiteit. Duurzaam landgebruik houdt rekening met het minimaliseren van deze negatieve effecten.

Landgebruik

Het landgebruik, de hoeveelheid land nodig voor productie of gebruiksfase van de activiteiten, leidt direct door verharding en verdichting en indirect (bijvoorbeeld door ontbossing) tot verergering van klimaatverandering. Zon op land scoort op dit criterium verreweg het slechtst en geothermie en nucleair het beste.

4. Circulaire samenleving door gebruik van materialen en natuurlijke hulpbronnen

Het optimaliseren van het gebruik van grondstoffen, het minimaliseren van afval, en het verminderen van de milieubelasting zijn cruciale zaken die gepaard gaat met de productie en consumptie van goederen en energie. Daarom speelt circulariteit een essentiële rol in de energietransitie: door ervoor te zorgen dat we op een efficiënte, duurzame en verantwoorde manier omgaan met grondstoffen en energie, creëren we een toekomstbestendig energiesysteem. Het vermindert de druk op natuurlijke hulpbronnen, verlaagt de CO₂-uitstoot, en minimaliseert afval, waardoor de overgang naar een duurzame energievoorziening wordt versneld en versterkt.

Grondstofgebruik (mineralen en metalen)

Dit betreft de hoeveelheden schaarse mineralen en metalen grondstoffen die nodig zijn voor de productie of activiteiten per geproduceerde hoeveelheid energie (kWh). Hierop scoren geothermie, waterkracht en nucleair het beste en zonne-energie het slechtste. Voor thorium, biomassa en waterstof zijn wederom geen data beschikbaar.

Waterverbruik

Gebaseerd op de hoeveelheid water gebruikt in processen, per geproduceerde eenheid energie, scoort nucleair het slechts gevolgd door aardgas. Waterkracht en wind op land scoren hier het beste.

Energie efficiëntie

Waterkracht en aardgas zijn verbruiken per outputeenheid (kWh) de meeste energie. De energie-efficiëntie van waterkracht is echter enigszins misleidend. Dit komt doordat de waterstroom onderdeel is van de natuurlijke waterkringloop en onafhankelijk plaatsvindt van de energieopwekking. Bij aardgas ligt dat anders: de lage energie-efficiëntie leidt tot onnodig energieverlies in de vorm van warmte die naar de omgeving ontsnapt. Zonne-energie scoort het hoogst op efficiëntie, gevolgd door kernenergie.

R-ladder (feedstock)

Het Planbureau voor de Leefomgeving geeft een rangschikking van strategieën voor grondstoffenbeheer van R0 naar R9, waarbij R0 het 'beste' en R9 het 'slechtste' is⁵. Energiebronnen die gebruik maken van hernieuwbare grondstoffen, zoals zonne-energie, windenergie en waterkracht scoren hier goed op terwijl energiebronnen gericht op lineair grondstofgebruik slechter scoren.

5. Gezonde leefomgeving: goede milieukwaliteit van de bodem

Een gezonde leefomgeving met goede milieukwaliteit van de bodem is belangrijk binnen de energietransitie. Schone en vruchtbare grond is namelijk essentieel voor duurzame landbouw, biodiversiteit en de plaatsing van schone energie-infrastructuren.

Bodemvermesting

De energiebronnen die de grootste toename van voedingsstoffen in de bodem veroorzaken zijn aardgas en zonne-energie terwijl geothermie juist relatief goed scoort. Voor biomassa-energie zijn geen vergelijkbare data gevonden; hierbij wordt echter vermoed dat door de uitstoot van ammoniak de effecten groot zijn, nog groter dan voor aardgas. Verder onderzoek en validatie zijn hier nodig.

⁵ https://www.pbl.nl/system/files/document/2024-05/PBL-2024_Monitoring_van_circulariteitsstrategie%C3%ABn_4469.pdf

6. Gezonde leefomgeving: goede milieukwaliteit van de lucht

Schone lucht draagt direct bij aan volksgezondheid en welzijn. Wanneer er schone lucht is, worden de negatieve effecten van CO₂-uitstoot en andere schadelijke stoffen op klimaatverandering en de luchtkwaliteit verminderd.

Luchtkwaliteit (ziekte)

De effecten van luchtvervuiling op de menselijke gezondheid zijn het grootst voor nucleaire energie en zonne-energie. Voor beide geldt dat deze schadelijke effecten niet optreden bij energieopwekking (in Nederland), maar juist bij het mijnen van de grondstoffen (elders).

7. Gezonde ecosystemen en biodiversiteit

Een gezond ecosysteem is belangrijk omdat het essentiële diensten levert, zoals zuivering van water en lucht, bestuiving van gewassen, vruchtbare bodems, klimaatregulatie en biodiversiteit, die allemaal cruciaal zijn voor het welzijn van mens en natuur. Het ondersteunt veerkrachtige natuurlijke systemen, die beter bestand zijn tegen klimaatverandering en andere bedreigingen.

Impact op ecosysteem

De biodiversiteit en gezondheid van ecosystemen wordt het meest geschaad door energieopwekking door aardgas en het minst door nucleair en windenergie.

8. Gezonde en veilige inrichting van de leefomgeving

Een goed ontworpen leefomgeving zorgt voor schone lucht, water en groene ruimtes en vermindert gezondheidsrisico's die kunnen voortkomen uit vervuiling door fossiele brandstoffen. Daarnaast ondersteunt het een efficiënte en veilige integratie van duurzame energieoplossingen, zoals zonnepanelen, windparken en groene mobiliteit, wat cruciaal is voor een succesvolle en rechtvaardige energietransitie.

Kankerverwekkend effect

Gezondheidseffecten die kanker kunnen veroorzaken. Aardgas heeft een lagere carcinogene impact vergeleken met kolen en olie, wat deels komt door de efficiëntere verbranding en de lagere uitstoot van schadelijke stoffen zoals zware metalen en fijnstof. Hoewel aardgas minder vervuילend is dan kolen, is er toch sprake van emissies tijdens de winning, zoals methaan en andere verbindingen die kankerverwekkende eigenschappen kunnen hebben. Daarnaast komen er ook giftige stoffen vrij in de toeleveringsketen van aardgas, bijvoorbeeld door lekkages en verontreinigingen tijdens het transport.

Hernieuwbare energiebronnen, zoals wind- en zonne-energie, hebben geen schadelijke emissies tijdens de operationele fase. Geothermie, hoewel schoner dan fossiele brandstoffen, heeft ook een klein carcinogeen risico vanwege het vrijkomen van sporen van giftige stoffen uit diepe aardlagen. Biomassa kan echter onder bepaalde omstandigheden hogere carcinogene risico's hebben, vooral als de verbranding niet efficiënt verloopt en er verontreinigende stoffen zoals fijnstof vrijkomen.

Niet-kankerverwekkende effect

Gezondheidseffecten – anders dan kanker – die ziekten veroorzaken. Hoewel aardgas schoner is in termen van directe luchtvervuilende stoffen in vergelijking met kolen en olie, vormt deze nog steeds niet-kankerverwekkende risico's, voornamelijk door methaan en vluchtige organische stoffen (VOC's) die vrijkomen tijdens de winning en verwerking. Hernieuwbare energiebronnen, zoals wind- en zonne-energie, hebben over het algemeen geringere effecten, vooral omdat ze geen verbranding vereisen en daardoor minder directe emissies produceren. Bij de productieprocessen van apparatuur (zoals zonnepanelen en windturbines) kunnen echter giftige materialen vrijkomen, wat bijdraagt aan niet-carcinogene toxiciteit. Geothermische energie heeft een relatief lage niet-kankerverwekkende toxiciteitsimpact. Toch dragen emissies uit de boor- en bedrijfsfasen, waaronder waterstofsulfide en andere sporenelementen, bij aan de totale CTUh-score. Deze zijn doorgaans veel lager dan bij fossiele brandstoffen.

Bestraling

Blootstelling aan ioniserende straling en de effecten daarvan zijn het grootst bij nucleaire energie, gevolgd door aardgas en geothermie. Voor de overige energiebronnen is dit effect verwaarloosbaar.

6. Resultaten van afweging en voorkeursalternatieven

Gebaseerd op de door NMF Limburg gekozen opgaven, lijken vanuit het perspectief van natuur en milieu, aardgas en biomassa als energiebronnen als eerste af te vallen. Op het eerste gezicht lijkt een mix van onshore wind, nucleair en waterkracht het meeste toekomstperspectief te hebben. Dat betekent niet dat de andere bronnen per definitie onwenselijk zijn. De NMF Limburg hecht veel waarde aan een toekomstig energiesysteem dat robuust is. Dat betekent een diversiteit van (lokale) bronnen en back-up mogelijkheden. Bovendien is niet elke bron op elke plek mogelijk of wenselijk.

Als NMF Limburg streven wij ernaar dat een nieuw energieproject tot een verbetering leidt voor natuur en milieu ten opzichte van de startsituatie. Het is daarom belangrijk om goed de nul-situatie in kaart te brengen. Hierover meer in stap 6b.

Afwegingen bij de energiebronnen



Zonne-energie maakt in de productiefase gebruik van een volledig hernieuwbare bron en heeft geen emissies naar lucht, water en bodem. Hier is het vooral van belang om de negatieve gevolgen van het mijnen van grondstoffen op de gezondheid van mens en milieu te

verminderen. Door bijvoorbeeld zonnepanelen modulair te ontwerpen zodat de grondstoffen achteraf lokaal weer teruggewonnen kunnen en moeten worden, zodat op termijn geen nieuwe grondstoffen gemijnd hoeven worden. Vanwege het landgebruik heeft een versnelling van zon op dak de voorkeur ten opzichte van zon op land. Hiervoor kan het nodig zijn om meer daken geschikt te maken voor zonnepanelen door bijvoorbeeld eisen te stellen aan nieuw- of verbouw. Voor zon op land geldt een voorkeursladder:

Voorkeursgebieden	Daken
	Gebouwd gebied
	Parkeerterreinen
	Bedrijventerreinen
Minder geschikte gebieden	Stortplaatsen
	Langs infrastructuur
	Braakliggende gronden of pauzelandschappen
	Agrarisch bouwblok
	Agrarisch gebied (intensieve veehouderij en glastuinbouw)
Uitsluitingsgebieden	Natuurnetwerk Limburg en Groenblauwe mantel
	Natura 2000-gebieden



Omdat de meeste emissies naar lucht, bodem en water bij **windenergie** plaatsvinden in de constructiefase, is het belangrijk om hier in het ontwerp rekening mee te houden (modulair bouwen en aandacht voor ontmanteling). Voor de locatie van windturbines geldt vooral dat een gepaste afstand tot gevoelige objecten (woningen, scholen, zorginstellingen, etc.), hoogspanningsleidingen, trilling gevoelige infrastructuur (bijv. Einstein telescope) en vliegroutes van dieren (van hoogvliegers zoals de buizerd, rosse vleermuis etc.) nodig is. Een uitdaging voor de toekomst is om geschikte locaties te vinden voor windturbines én de ruimte onder de turbines meervoudig zinvol in te zetten zodat zij bijdragen aan het landschap, de biodiversiteit en klimaatadaptatie.

Voorkeursgebieden	Clusters bij bedrijventerreinen
	Clusters op verkeersverbindingen en hoofdinfrastructuur
Minder geschikte gebieden	Agrarische gebieden
	Gebieden met hoge landschappelijke waarde (buiten uitsluitingsgebieden)
Uitsluitingsgebieden	Natuurnetwerk Limburg en Groenblauwe mantel
	Natura 2000-gebieden
	Gebieden direct nabij NNL, Groenblauwe mantel of Natura-2000 gebieden
	Minder dan 10x tiphoogte van windmolen tot woonkernen.
	Gebieden dicht bij gevoelige objecten
	Vliegroutes van dieren



Ondanks de positieve scores op **waterkracht**, is de potentie van waterkracht in de energiemix van Limburg beperkt vanwege de geringe hoogteverschillen in de lopen van rivieren. Het principe 'water en bodem sturend' is in dit document (nog) niet gekwantificeerd. Voor waterkracht speelt dit echter een grote rol; waterkrachtcentrales blokkeren de natuurlijke stroming van rivieren, veranderen de patronen van erosie en sedimentatie, beïnvloeden zo rivieroeveren en het achterland dat ze beschermen en maken vismigratieroutes bijna onmogelijk⁶.



Kernenergie is een constante energiebron, die niet afhankelijk is van het weer (zon/wind/water). Kernenergie heeft een lage broeikasgasuitstoot, beperkte emissies naar lucht en bodem, maar heeft een relatief grote watervoetafdruk. Bij kernenergie spelen andere afwegingen een grotere rol, bijvoorbeeld hoe groot het risico is dat Nederland zichzelf afhankelijk maakt van buitenlands verrijkt uranium. Dezelfde vraag kan gesteld worden met betrekking tot de grondstoffen voor (de productie van) andere energiebronnen, wat

⁶ Uit een onderzoek van de World Fish Migration Foundation uit juli 2020 bleek dat de zoetwatervispopulaties in Europa sinds 1970 met een catastrofale 93% zijn ingestort, waarbij dammen, stuwen en andere barrières tot de belangrijkste oorzaken behoren, samen met vervuiling en exploitatie van meren (WNF).

betreft schaarse metalen en mineralen, olie of gas. Een groter issue is dat uranium als grondstof niet hernieuwbaar is en tot een onoverzienbaar lange termijn opslagvraagstuk leidt (door de nucleaire straling). Daarom zou kernenergie (hooguit en) vooral een transitierol moeten spelen totdat echt hernieuwbare bronnen volledig ingepast zijn en/of als back-up om schokken in energievraag- en aanbod op te vangen.

Tegelijkertijd maakt een aantal kenmerken kernenergie ongeschikt als transitie of back-up energiebron. Kernenergie kent een lange ontwikkeltijd (welke eerder in decennia dan in jaren uitgedrukt moet worden). Het (her-)opstarten van een kerncentrale is een complex en langdurig proces waarbij veel energie verloren gaat. Nader onderzoek zou moeten uitwijzen of bijvoorbeeld SMRs (kleine reactoren) deze belemmeringen wegnemen. Voor kernenergie geldt daarnaast met name dat een zeer zorgvuldige afweging van de locatiekeuze nodig is. De inpassing in de ruimte kent veel gevoeligheden bij omwonenden. Water, in de vorm van koelwater, is onmisbaar voor een kerncentrale. Extreme droogte of te hoge watertemperaturen zijn een groot risico, maar daarnaast moet een kerncentrale ook beschermd zijn tegen een watersnood of andere rampen. Dit vraagt, ook vanwege de maatschappelijke acceptatie en NIMBY-aspecten, om een zorgvuldig participatieproces.

Tenslotte geldt voor kernenergie dat het vraagstuk van het afval dat geproduceerd wordt, dient te worden meegenomen in de afweging. Kernaafval brengt voor zeer lange tijd (honderden, of zelfs duizenden jaren) grote risico's met zich mee. De veilige verwerking is zeer kostbaar en complex. Een langjarig bestendige oplossing voor de berging van het radioactieve afval dat op dit moment in Nederland wordt geproduceerd is er vooralsnog niet. Het aspect van afwenteling op toekomstige generaties is zeer zwaar wegend.

Voorkeursgebieden	Hoge milieucategorie industrieterreinen
	Bestaande kernenergielocaties
Minder geschikte gebieden	Wateren met verdrogingsrisico (i.v.m. koelwatervoorziening)
Uitsluitingsgebieden	Bebouwd gebied of bedrijventerreinen (ruimte afstand tot gevoelige objecten)
	Natuurnetwerk Limburg en Groenblauwe mantel
	Natura 2000 gebieden



Een **biomassacentrale** leidt in vergelijking met de onderzochte energiebronnen tot één van de hoogste broeikasgasemissies en grootste luchtvervuiling. Daarnaast heeft een biomassacentrale een grote ecologische en ruimtelijke voetafdruk en staat deze vrijwel onderaan de

Ladder van Moerman als het gaat om een zo hoogwaardig mogelijke toepassing van biomassa feedstock, of het nu hout (snippers of pellets) of gewas- en voedsel(resten) betreft. Met de toekomstige uitdagingen op het gebied van voedselzekerheid, bio-based materialen, natuur- en bodembescherming is voor de toepassing van biomassa voor energiewinning geen plek.

Ladder van Moerman

Preventie

Menselijke consumptie

Diervoeding

Grondstoffen voor de industrie

Vergisting

Compostering

Verbranden



De uitstoot van broeikasgassen en andere vervuilende stoffen is bij **aardgas** hoog. Ten opzichte van biomassa is de uitstoot van stikstof en fijnstof bij aardgas minder. Aardgas levert net als kernenergie continue energie. Een ander 'voordeel' van aardgas is dat de energie infrastructuur al bestaat en de centrales al in werking zijn. Daarmee zou in de transitiefase (een beperkt aantal) aardgascentrales kunnen fungeren als back-up om schommelingen in energieopwekking van hernieuwbare bronnen (wind en zon) op te vangen en de leveringszekerheid te kunnen garanderen.



Voor wat betreft **geothermie** ontbreekt nog te veel data op meerdere indicatoren om een volwaardige afweging te kunnen maken.

Aardwarmte is niet overal mogelijk en is afhankelijk van verschillende, lokaal gebonden geologische factoren. Duidelijk is dat geothermie niet op elke locatie wenselijk is vanwege de risico's ten aanzien van de (grond)waterkwaliteit en seismische trillingen (aardbevingen). Ook staat kwalitatief vast dat bij geothermie schadelijke stoffen vrijkomen naar de lucht. Op basis van bovenstaande worden grond- en drinkwaterbeschermingsgebieden uitgesloten evenals locaties binnen de bufferzones rondom verdrogingsgevoelige natuurgebieden en gevoelige objecten (zoals woningen).

Een ander specifiek risico bij geothermie is de onzekerheid over de energieproductiecapaciteit van een specifieke locatie. Pas na het uitvoeren van boringen kan er nauwkeuriger worden vastgesteld hoeveel warmte beschikbaar is en of deze hoeveelheid voldoende is voor rendabele energieproductie. Hoewel voorafgaande studies, zoals seismische metingen en temperatuurprofielen, een indicatie kunnen geven, blijven boringen noodzakelijk om definitieve gegevens over de diepte, temperatuur en doorlaatbaarheid van de ondergrond te verkrijgen. Deze onzekerheid maakt het lastig om

vooraf de economische haalbaarheid van een geothermisch project volledig in te schatten.

Voorkeursgebieden	Industrie- en bedrijventerreinen
	Aansluitend bij infrastructuur (warmtenetten)
	Industriële clusters
Minder geschikte gebieden	Stedelijk gebied
	Landbouwgebieden
Uitsluitingsgebieden	Hoog risico seismische gebieden (SodM) en Boringsvrije zones
	Waterwingebieden en grondwaterbeschermingsgebieden,
	Natura 2000-gebieden

7. Lokale context bij uitvoering

Zonder uitzondering veroorzaakt elke technologie voor elektriciteitsopwekking gedurende zijn levenscyclus milieueffecten en deze effecten kunnen sterk variëren afhankelijk van de locatie van implementatie en andere ontwerpkeuzes. De regionale elektriciteitsmix en efficiëntie van de industriële processen (bij de toelevering van grondstoffen en de bouw van de installaties en infrastructuur) kunnen tot significante verschillen in milieueffecten leiden. De energiemix wordt in onderstaande analyse niet meegenomen, vanwege de beperkte impact van een individueel project erop.

De locatie gebonden impact van een energieproject wordt daarnaast beïnvloed door verschillende factoren, waaronder:

- **Lokale biodiversiteit:** Het behoud van flora en fauna moet worden afgewogen tegen de voordelen van het project.
- **Lokale milieumstandigheden:** De ecologische kenmerken van een gebied kunnen de haalbaarheid van een project beïnvloeden.
- **Sociale en economische contexten:** De acceptatie van een project door de lokale gemeenschap is cruciaal voor het succes ervan.
- **Bestaande infrastructuur en 'gevoelige objecten':** De aanwezigheid van bestaande infrastructuren, zoals – energienetwerken en transportverbindingen, kan de implementatie van nieuwe energieoplossingen vergemakkelijken of bemoeilijken.

1. Lokale biodiversiteit

Hier introduceren we de biodiversiteitsimpactladder als een denkkader voor het ontwikkelen en beschermen van biodiversiteit bij energieprojecten op land. Dit denkkader is grotendeels ontleend aan de publicatie van het IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources) over mitigerende maatregelen (dat zijn maatregelen die negatieve effecten beperken) voor biodiversiteit bij wind- en zonprojecten², aangevuld met andere wetenschappelijke studies en eigen inzichten.

Effecten van energieprojecten op biodiversiteit

De effecten van energieprojecten op biodiversiteit kunnen geclassificeerd worden als directe effecten, indirecte effecten en cumulatieve effecten.

Directe effecten: deze zijn direct verbonden met het project op zijn locatie en de effecten ervan op de biodiversiteit. Bijvoorbeeld verlies of toename van aanwezige beplanting, verlies of toename aan foerageer- of broedgebied van soorten binnen de projectlocatie, aanvaringen van vogels en vleermuizen bij windturbines, verminderde toetreding van licht en water door opstelling van zonnepanelen of juist bodemverbetering door minder depositie van stikstof en bestrijdingsmiddelen en een natuurlijker waterpeil.

Indirecte effecten: deze zijn gerelateerd aan een groter gebied, zoals effecten door aanleg van energie-infrastructuur en wegen en het feit dat meer mensen het gebied betreden. Ook het wegvallen van een leefgebied of migratieroute voor soorten die in gebieden grenzend aan een wind- of zonnepark leven, of langere vliegroutes om windturbines te vermijden, vallen hieronder. Er kunnen ook positieve effecten zijn, zoals het ontstaan van een verbinding tussen natuurgebieden.

Cumulatieve effecten: dit zijn effecten van meerdere menselijke activiteiten in een groter gebied die een versterkt negatief effect hebben. Dat kan gaan om meerdere windparken in de omgeving, wat een grotere kans op verstoring en een groter aantal aanvaringsslachtoffers geeft. Het betreft ook het combineren van wind- en zonneparken op dezelfde locatie, wat kan betekenen dat naast verstoring van broedgebieden, ook foerageergebieden onbereikbaar zijn omdat deze bedekt zijn met zonnepanelen.

Beschermen, compenseren en ontwikkelen van biodiversiteit

De maatregelen die bij de ontwikkeling van energieprojecten genomen kunnen worden zijn te onderscheiden in drie categorieën: beschermen, compenseren en ontwikkelen van biodiversiteit.

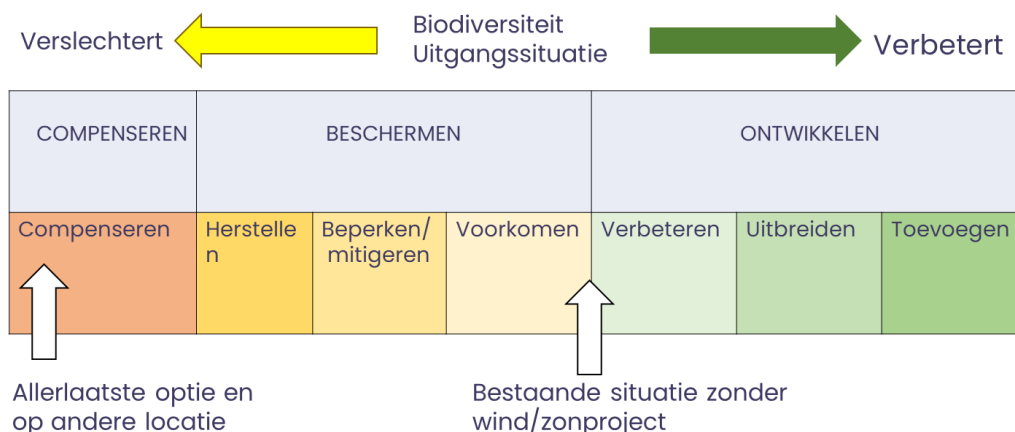
Beschermen: Bij het beschermen van biodiversiteit wordt de bestaande natuur behouden en worden negatieve effecten beperkt of hersteld. Er kan een zekere mate van schade aan de natuur ontstaan, maar deze is tijdelijk of heel beperkt. Vaak wordt de algemene term 'mitigerende maatregelen' gebruikt. Deze term verwijst naar maatregelen die negatieve effecten beperken, maar dat is slechts één van de drie mogelijke maatregelen bij beschermen, naast 'voorkomen' en 'herstellen'.

Compenseren: Bij het compenseren van biodiversiteit wordt op een andere plek nieuwe natuur ontwikkeld, omdat op de projectlocatie niet te vermijden en onherstelbare schade wordt aangericht. Bijvoorbeeld doordat een leefgebied permanent verstoord of ontoegankelijk is gemaakt. Compensatie wordt voor een deel vanuit regelgeving voorgeschreven, maar vanuit biodiversiteitbehoud is dit een allerlaatste middel: de aangerichte schade op de projectlocatie wordt dan feitelijk geaccepteerd, terwijl het veelal maar afwachten is of en hoe snel de nieuwe natuur een ecologisch gelijkwaardig alternatief kan worden.

Ontwikkelen: Bij het ontwikkelen van biodiversiteit wordt bestaande biodiversiteit verbeterd, uitgebreid of toegevoegd. Dit zijn positieve effecten die leiden tot meer of betere biodiversiteit. De investeringen en inzet voor het ontwikkelen van biodiversiteit kunnen plaatsvinden op de projectlocatie, maar ook in de directe omgeving of nog elders. Welbeschouwd is een deel hiervan ook compensatie, zij het voor soorten die wettelijk niet zijn beschermd, of voor de cumulatieve effecten op populaties van de energietransitie.

De Biodiversiteitsimpactladder

De maatregelen en de drie categorieën vormen samen de Biodiversiteitsimpactladder.



STAPPENPLAN VOOR EEN GEBIEDSGERICHTE ANALYSE BIJ ENERGIEPROJECTEN

Dit stappenplan gaat over de gebiedsanalyse van energieprojecten, en dan vooral de ecologische gebiedsanalyse. Het is bedoeld:

- als aanvulling op de 'Biodiversiteitsimpactladder';
- om handvatten te geven voor gesprekken over biodiversiteit bij energieprojecten;
- om te helpen om de juiste vragen te stellen.

Het doel is om de belangrijke gebiedskenmerken in kaart te brengen; Inzichtelijk te maken hoe biologische soorten in een gebied afhankelijk zijn van de omgeving en van elkaar en om aan te geven wat belangrijke soorten zouden kunnen zijn in dit gebied.



2. Milieuomstandigheden

Elke energiebron heeft een eigen milieuvoetafdruk. De één leidt tot de uitstoot van broeikasgassen of andere vormen van luchtvervuiling, de ander is een grote watervrager of heeft een groot oppervlakte nodig. Mede daardoor is het zinvol om de locatiekeuze af te stemmen op de energiebehoefte. Daarnaast is het belangrijk dat Nederland de energievoorziening klimaatadaptief organiseert. Dat betekent dat bij de locatiekeuze rekening gehouden moet worden met de toenemende kans op wateroverlast, periodes van droogte en hogere (water en lucht) temperaturen.

In het bollenschema Energie hieronder staat een overzicht van de effecten van de verschillende klimaattrends op de sector energie. Dit bollenschema is opgesteld op basis van de Nationale Adaptatiestrategie (NAS).



Waar mogelijk is het belangrijk om bij de aanleg van een energieproject ruimtelijke adaptatiemaatregelen mee te nemen.

- Combineer locaties voor energie met locaties voor klimaatbuffers. Klimaatbuffers zijn gebieden waar natuurlijke processen de ruimte krijgen, en die meegroeien met klimaatverandering. Denk aan een rivier die weer ruimte krijgt om zoals vroeger te overstromen. Zo'n klimaatbuffer gaat overstroming tegen, en vergroot tegelijk de biodiversiteit. Ook kun je als je bijvoorbeeld een warmtenet aanlegt, direct de straat vergroenen of wadi's aanleggen.
- Zorg ervoor dat de locatie van het project ook naar de toekomst toe klimaatrobust is. De energievoorziening is een van de 13 nationale vitale en kwetsbare functies. Dus is er op de gekozen locatie nog voldoende koel- en proceswater beschikbaar in tijden van droogte? Kan koelwater bij extreme hitte geloosd worden zonder negatieve effecten op de waterkwaliteit en daarmee biodiversiteit? Op termijn zou het koel- en proceswater van de energieproductie circulair (blijvend) ingezet moeten kunnen worden zonder lozing op de omgeving.
- Zorg ervoor dat de nieuwe energie-infrastructuur meteen klimaatadaptief wordt aangelegd (water en bodem sturend), om zo positief bij te dragen aan het water- en bodemsysteem.
- Combineer zonnepanelen met een groen dak of waterberging. Een [handreiking](#) van de provincie Zuid-Holland combineert zon, water en groen op daken en biedt dakeigenaren een overzicht van manieren waarop je de aanleg van zonnepanelen op je dak kunt combineren met groen en wateropslag.

3. Sociale en economische contexten

De komst van een energieproject geeft hoe dan ook veranderingen in de directe leefomgeving van omwonenden. Het kan gaan om verandering in het landschap, geluid of de uitstoot van vervuilende stoffen. In het Klimaatakkoord is hierover een afspraak gemaakt: bij grootschalig opwekken van duurzame energie streven we naar 50% lokaal eigendom. Dit betekent dat omwonenden, ondernemers en organisaties uit de omgeving mede-eigenaar zijn van het project.

- Zo'n doelstelling vergroot de maatschappelijke acceptatie van een project en biedt door de inrichting van een omgevingsfonds omwonenden mogelijkheden om het gebied duurzaam in te richten. Deze doelstelling zou niet beperkt moeten blijven tot zon- en windprojecten, maar zou voor alle soorten nieuwe energieopwekking moeten gelden. Immers, omwonenden van een biomassa centrale, kerncentrale of aardgascentrale ondervinden óók of juist overlast.
- Zorg daarnaast dat het doel van de participatie met de omgeving duidelijk is en transparant gecommuniceerd wordt, conform de participatieladder (informereren, inspraak, consulteren, coproduceren).

4. Bestaande infrastructuur en 'gevoelige objecten'

Bestaande infrastructuur kan een belemmering of kans vormen voor de aanleg van energieprojecten. Zo geldt dat:

- windturbines, door elektromagnetische interferentie of trillingen de werking van nabijgelegen hoogspanningslijnen, masten of andere infrastructuur die gebruik maakt van zwaartekrachtgolven (Einstein telescoop) kunnen beïnvloeden. Daarnaast geldt dat windturbines een veiligheids- en gezondheidsrisico kunnen vormen (o.a. stormschade, trillingen of slagschaduw), waardoor gepaste afstanden tot infrastructuur en gevoelige objecten zoals woningen, scholen of zorginstellingen nodig zijn. Ook kunnen zij vliegroutes van vogels en vleermuizen belemmeren. Nader onderzoek moet uitwijzen hoe groot deze afstanden moeten zijn.
- In het belang van de bescherming van de gezondheid van burgers is (meer) aandacht nodig voor de gevolgen voor de leefomgeving bij de nieuwvestiging van energieprojecten. Onder de Omgevingswet is het verplicht om te toetsen op cumulatieve effecten van verschillende bronnen zoals geluidshinder, geuroverlast en luchtvervuiling. Een vervolgstap zou moeten zijn om te toetsen aan de aangescherpte WHO-normen in plaats van de minder strenge huidige wettelijke kaders.
- Om wateroverlast en droogtebestrijding aan te pakken is het nodig om water en bodem meer sturend te maken in ruimtelijke keuzes. Dit kan bijvoorbeeld door in de bufferzones rondom verdrogingsgevoelige natuurgebieden het waterpeil op te zetten. Dit kan kansen bieden voor (verhoogde) zonneparken. Aan de andere kant kan dit betekenen dat vitale infrastructuur juist niet geplaatst wordt in overstromingsgevoelige gebieden.

8. Discussie

In het streven naar een duurzame en toekomstbestendige energiemix is het gebruik van een gedegen afwegingskader essentieel. Dit helpt beleidsmakers bij het navigeren door de vele afwegingen die komen kijken bij het samenstellen van een energievisie. Hoewel zo'n afwegingskader richtinggevend is en duidelijke doelen stelt, blijft subjectiviteit een onvermijdelijk aspect van de besluitvorming. Deze subjectiviteit is niet hetzelfde als willekeur. Door te werken met een transparant afwegingsproces, waarin de criteria zoveel mogelijk objectief en toetsbaar zijn, wordt geprobeerd de besluitvorming helder en navolgbaar te maken.

Een belangrijke uitdaging bij het ontwikkelen van dit kader is de beperkte beschikbaarheid van data voor bepaalde energiebronnen. Energiebronnen zoals aquathermie en warmte-koudeopslag (WKO) hebben mogelijk veel potentie, maar er ontbreken nog cruciale data om ze volledig mee te nemen in het afwegingskader. Dit benadrukt hoe afhankelijk de methode is van kwantitatieve gegevens. Toch vormt dit geen volledige blokkade. Het is mogelijk om kwalitatieve gegevens te kwantificeren door te werken met simpele schalen, zoals bijvoorbeeld een schaal voor hernieuwbaarheid waarbij "1" staat voor volledig hernieuwbaar en "0" voor niet hernieuwbaar. Op die manier kunnen zelfs bronnen waarvoor weinig data beschikbaar is toch een plek krijgen in de afwegingen.

Beleidsmakers zouden kunnen discussiëren over hoe om te gaan met onzekerheden in data en de balans tussen het gebruik van goed onderzochte, bewezen technologieën versus innovatieve, maar minder bewezen technologieën. Moet er meer nadruk liggen op risicobeheersing door alleen bewezen technologieën in te zetten, of is het noodzakelijk om te experimenteren met nieuwe technologieën om de energiemix divers en toekomstbestendig te maken?

Een ander aspect dat in acht genomen moet worden, is het zorgvuldig in kaart brengen van de huidige en toekomstige energiebehoefte, bijvoorbeeld wanneer we streven naar energiebesparing. Als we uitgaan van een energiebesparing van 20%, moet er gekeken worden naar hoeveel energie er nog nodig is om aan die ambitie te voldoen. Op basis van deze inzichten kunnen we de ideale energiemix samenstellen.

Het exacte aandeel van energiebesparing in de toekomstige energiemix kan discussie opleveren. Wat mag er van ondernemers en burgers worden verwacht en welke beleidsmaatregelen zijn noodzakelijk om deze besparingen te realiseren? Moet er striktere regulering komen om energiebesparing te bevorderen, of kunnen er genoeg prikkels worden ingebouwd via subsidies en marktmechanismen?

Een ander belangrijk punt is de rol van de lokale context bij de besluitvorming over energieprojecten. Hoewel het rapport duidelijke richtlijnen biedt om te kunnen beoordelen of een energieproject geschikt is voor een specifieke locatie, blijft de uiteindelijke toepassing van deze richtlijnen maatwerk voor beleidsmakers. De omgeving waarin een project wordt geïmplementeerd, heeft namelijk een grote invloed op de milieueffecten, sociale acceptatie en economische haalbaarheid ervan.

Dit maakt de rol van de lokale context in de energietransitie een stuk ingewikkelder. Wat in het ene gebied een haalbaar project is, kan in een ander gebied tot onoverkomelijke problemen leiden. Beleidsmedewerkers moeten daarom niet alleen de technische en economische factoren meewegen, maar ook oog hebben voor de sociale en ecologische dynamiek die verschilt per regio.

Naast deze inhoudelijke overwegingen zijn er ook externe factoren waarmee rekening gehouden moet worden. Netcongestie of transportschaarste, de overbelasting van het elektriciteitsnet, vormt een groeiend probleem. De belasting van het elektriciteitsnet stijgt door de steeds toenemende energiebehoefte en de transitie naar duurzame energie (elektrificering). Dit zet het Noord-Europese elektriciteitsnet onder druk en vormt een risico voor de betrouwbaarheid van de stroomvoorziening. Deze ontwikkeling brengt een belangrijke uitdaging met zich mee. Transportschaarste mag geen reden zijn om de omschakeling naar duurzame energie uit te stellen. Integendeel, het benadrukt het belang van innovatieve oplossingen en het versterken van onze infrastructuur om de overgang naar een duurzame energievoorziening te ondersteunen. Mogelijke oplossingen⁷ voor het aanpakken van dit probleem zijn netuitbreiding, slimme technologieën, energieopslag etc.

Tenslotte is de weging van de scenario's voor de NMF Limburg een significante factor gebleken. Afhankelijk van welk scenario gekozen wordt – bijvoorbeeld met een focus op natuur, gezondheid of circulariteit – varieert de uitkomst aanzienlijk. Elk scenario kent verschillende wegingen van factoren, zoals CO₂-uitstoot, landgebruik, gezondheid en grondstoffenverbruik, wat verschillende routes naar een duurzame toekomst impliceert.

Moet CO₂-uitstoot altijd het zwaarst wegen in de afweging, of verdienen andere factoren zoals biodiversiteit, gezondheidseffecten of grondstoffenverbruik in bepaalde contexten meer prioriteit? Beleidsmedewerkers moeten beslissen hoe ze de verschillende factoren rangschikken/wegen en of er ruimte is voor aanpassingen afhankelijk van de lokale context.

⁷ Kennisdossier oplossingen netcongestie: https://groendus.nl/kennisdossiers/oplossingen-voor-netcongestie-zo-kun-jij-w%C3%A9l-vooruut#jouw_oplossingen_voor_netcongestie

9. Conclusie

In lijn met de doelstelling van NMF Limburg om een volledig duurzame energievoorziening in 2050 te realiseren zonder daarbij de natuur en leefomgeving te schaden, biedt onze methodologie een solide afwegingskader. Dit kader helpt beleidsmakers en betrokkenen om keuzes te maken die zorgvuldig zijn afgewogen op basis van de leidende, essentiële principes: meervoudig ruimtegebruik, het niet afwentelen van problemen, gezonde natuur en leefomgeving centraal stellen, en water- en bodemsturing als leidraad.

Bij het kiezen van een energiemix is het van groot belang dat er rekening wordt gehouden met deze principes, maar ook met de specifieke opgaven en doelen die per project of regio kunnen variëren. Voor NMF Limburg liggen de prioriteiten op het beschermen van natuur en landschap, het waarborgen van een gezonde leefomgeving, en het realiseren van een circulaire economie.

Met deze methodologische benadering presenteren we een richtinggevend kader dat flexibel genoeg is om aangepast te worden aan verschillende opgaven, doelen en prioriteiten. Het biedt beleidsmakers de mogelijkheid om transparante en onderbouwde keuzes te maken in de zoektocht naar een duurzame energiemix. Het kader helpt inzicht te geven in hoe energiebronnen gewogen kunnen worden op basis van criteria als milieu-impact, sociale acceptatie, gezondheid en duurzaamheid. Zo kunnen beleidsmakers niet alleen een passende energiemix samenstellen voor hun eigen regio of organisatie, maar ook breder bijdragen aan de energietransitie op een manier die recht doet aan zowel lokale als mondiale uitdagingen. Het is daarbij cruciaal om als beleidsmakers een ruimtelijke vertaling van de energiemix te maken naar kaartmateriaal. Dus wat kan waar wél en wat expliciet niet. Dit stappenplan kan als leidraad dienen in het opstellen van dit kaartmateriaal.

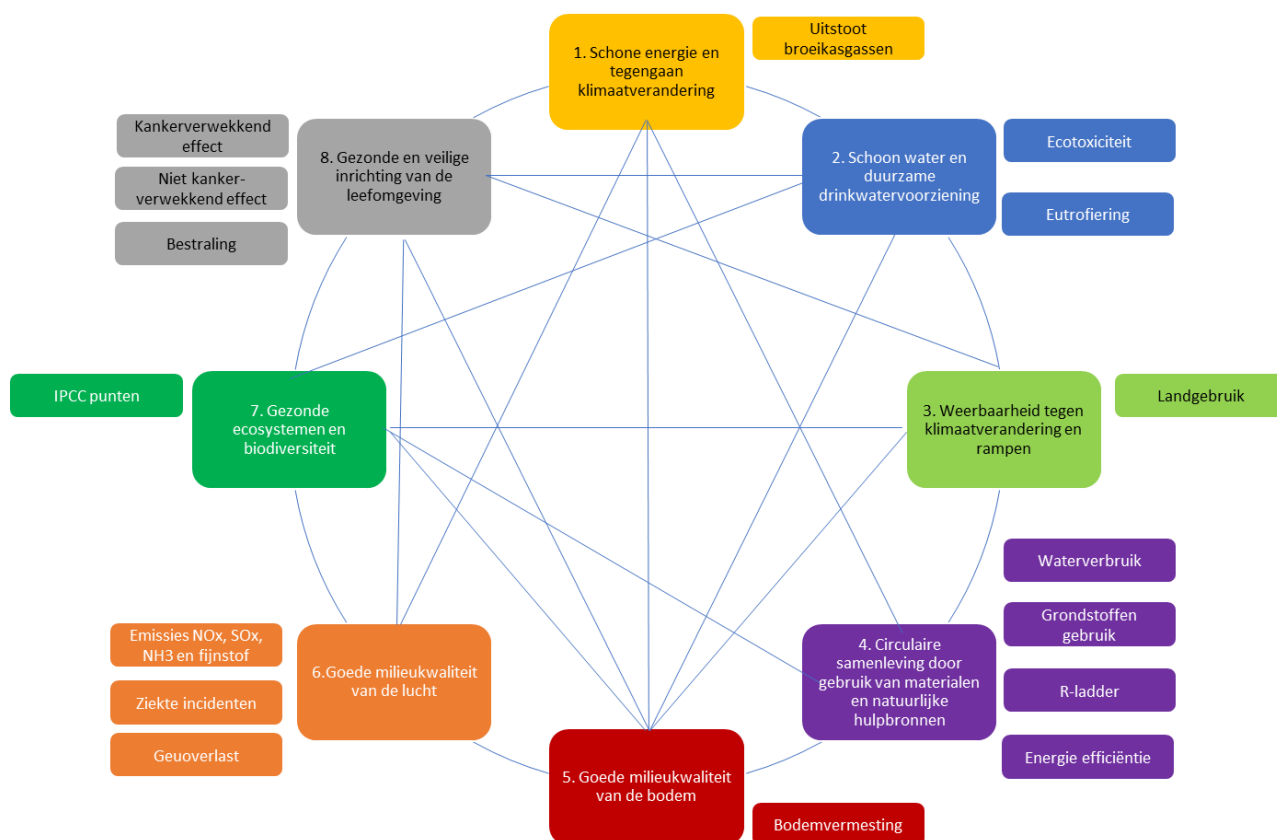
Bijlage 1: Toepassing methodiek NMF Limburg

In dit hoofdstuk presenteren we de resultaten van onze methode om tot een effectieve energiemix te komen. We tonen aan hoe we systematisch de benodigde stappen hebben doorlopen, beginnend met het vaststellen van de opgaven en criteria die richting geven aan onze keuzes. Door de energiebronnen systematisch te beoordelen, de criteria zorgvuldig af te wegen en de effecten van verschillende energiebronnen te evalueren, bieden we een transparante en onderbouwde basis voor een energiemix van de toekomst.

Stap 1: De opgaven

Voor de NMF Limburg richten we ons op de volgende hoofdthema's die verband houden met de leefomgeving, zoals beschreven in onze besluitWIJZER:

1. Schone energie voor iedereen en het tegengaan van klimaatverandering.
2. Weerbaarheid tegen klimaatverandering en rampen.
3. Schoon water en duurzame drinkwatervoorziening.
4. Circulaire samenleving door efficiënt gebruik van materialen en natuurlijke hulpbronnen.
5. Gezonde leefomgeving: waarborgen van een goede milieukwaliteit van de bodem.
6. Gezonde leefomgeving: waarborgen van een goede milieukwaliteit van de lucht.
7. Gezonde ecosystemen en biodiversiteit.
8. Gezonde en veilige inrichting van de leefomgeving.



Het is hierbij belangrijk om te beseffen dat deze opgaven op zichzelf (geïsoleerd tot maatschappelijke problemen kunnen leiden, maar ook met elkaar in verband staan en elkaar beïnvloeden en versterken. Zo kan biodiversiteitsverlies leiden tot minder weerbaarheid tegen klimaatverandering waardoor de kwaliteit van ons water- en bodemsysteem achteruitgaat, wat weer hand in hand gaat met verdergaand biodiversiteitsverlies. Luchtverontreiniging kan via bodemverzuring leiden tot achteruitgang van de natuur en biodiversiteit maar ook door luchtwegproblemen tot ziekte-incidenten. Bovenstaande figuur geeft een overzicht van de complexiteit van directe en indirecte effecten.

Stap 1A: Scope energiebronnen/dragers in het verdere onderzoek

Als NMF Limburg komen we tot onderstaande lijst met energiebronnen/-dragere om te onderzoeken:

Energiebron en/of -drager	Omschrijving	Gebruik
Aardgas	Fossiele brandstof, voornamelijk methaan (CH_4), gevormd door afbraak van organisch materiaal onder druk en hitte.	Verwarming, elektriciteitsopwekking, koken
Kernenergie	Energie uit kernsplijting (bv. uranium-235) en kernfusie. Gebruikt om stoom op te wekken voor het aandrijven van turbines.	Elektriciteitsopwekking
Biomassa	Hernieuwbare energie uit organisch materiaal, omgezet via verbranding, vergassing, vergisting of pyrolyse.	Warmte, elektriciteitsopwekking, brandstof
Geothermie	Warmte uit de aarde, gewonnen door boringen naar hete waterlagen of stoom.	Verwarming, elektriciteitsopwekking
Waterstof	Kleurloos, reukloos gas (H_2), geproduceerd via methoden zoals elektrolyse, stoommethaanhervorming of biomassa-vergassing.	Brandstof, industriële processen
Waterkracht	Energie uit stromend water, opgewekt via dammen of waterkeringen.	Elektriciteitsopwekking
Zonne-energie	Hernieuwbare energie uit zonlicht, opgewekt via zonnepanelen op daken of op land.	Elektriciteitsopwekking
Windenergie	Elektriciteit opgewekt door de kinetische energie van de wind, via windturbines.	Elektriciteitsopwekking
Thorium	Kernenergie via thorium, waarbij uranium-233 wordt gespleten dat uit thorium wordt geproduceerd.	Elektriciteitsopwekking

Een aantal energiebronnen is afgefallen vanwege:

- De geografische ligging van Limburg (wind op zee en getijdenenergie);
- De inschatting dat te jonge technologieën nu nog onvoldoende opgeschaald kunnen worden (kitepower of zoet-zout conversie);
- Het feit dat steenkool en olie in Nederland al zodanig zijn afgeschaald dat deze naar de toekomst toe niet meer meegenomen worden;

- Het probleem dat op voorhand al duidelijk lijkt dat voor aquathermie en warmte-koude opslag, onvoldoende data voorradig is om deze bronnen te betrekken.

Restwarmte en daaraan gerelateerde infrastructuur van warmtenetten zijn in deze analyse buiten beschouwing gelaten; De kenmerken hiervan variëren van locatie tot locatie zodanig (afhankelijk van de kernactiviteiten van de bedrijven) dat geen zinnig algemeen beeld geschetst kan worden. Een belangrijk aandachtspunt bij warmtenetten is evenwel dat het gebruik van restwarmte niet mag leiden tot 'lock-ins': het op de langere termijn in stand moeten houden van niet duurzame industrieën.

Stap 2: Vertaling van de opgaven naar bruikbare criteria en indicatoren

Vanwege de complexe interactie tussen de opgaven is het belangrijk om zowel directe als indirecte effecten over de gehele levenscyclus mee te nemen, daarom is het slim om zoveel mogelijk gebruik te maken van zogenaamde levenscyclusanalyse (LCA) data.

Hieronder worden de themagroepen, bijbehorende criteria, meeteenheden en toelichtingen weergegeven in verschillende tabellen:

Opgave	Criterium	Meeteenheid	Uitleg
1.Schone energie voor iedereen en tegengaan klimaatverandering	CO2-eq uitstoot	LCA (Life Cycle Analyses) CO2 equivalenten per energie-eenheid, MWh of KWh	Emissies van kooldioxide-equivalenten die bijdragen aan klimaatverandering gedurende de hele levensduur.

2.Schoon water en duurzame drinkwatervoorziening	Zoetwater eutrofiering	Milligram p. equivalenten per KWh	Verontreiniging van zoetwater door overmatige voedingsstoffen, leidend tot algenbloei.
	Zoetwater ecotoxiciteit	CTU per KWh	Schadelijke effecten van chemische stoffen op zoetwater ecosystemen.
	Watertemperatuurophoging (gebruiksfase)	Graden Celsius	Stijging van watertemperatuur door gebruik, beïnvloedt waterkwaliteit.

3.Weerbaarheid tegen klimaatverandering en rampen	Landgebruik	IPCC-punten	Hoeveelheid land nodig voor productie of activiteiten.
--	-------------	-------------	--

4.Circulaire samenleving door gebruik van materialen en natuurlijke hulpbronnen	Grondstofgebruik (mineralen en metalen)	Microgram SB-equivalenten per kWh	Hoeveelheid mineralen en metalen die gebruikt worden.
	Waterverbruik	Liters per kWh	Hoeveelheid water gebruikt in processen.
	Minst energie efficiënt	Conversie percentage	Activiteiten die de meeste energie verbruiken per outputeenheid.
	R-ladder (feedstock)	Score 1 – 9	Rangschikking van strategieën voor grondstoffenbeheer, met nadruk op hergebruik en recycling.

5.Gezonde leefomgeving: goede milieukwaliteit van de bodem	Bodemvermesting	Mol N-equivalenten per kWh	Toename van voedingsstoffen in de bodem, vaak door meststoffen.
---	-----------------	----------------------------	---

6.Gezonde leefomgeving: goede milieukwaliteit van de lucht	Luchtkwaliteit	Ziekte incidenten	Effecten van luchtvervuiling op de menselijke gezondheid.
	Luchtkwaliteit Nox	Mol of gram per kWh	Emissies van stikstofoxiden, die luchtverontreiniging veroorzaken.
	Luchtkwaliteit Sox	Mol of gram per kWh	Emissies van zwaveloxiden, die bijdragen aan luchtvervuiling.
	Luchtkwaliteit NH3	Mol of gram per kWh	Emissies van ammoniak, invloed op lucht- en waterkwaliteit.
	Luchtkwaliteit fijnstof	Mol of gram per kWh	Hoeveelheid fijne deeltjes in de lucht, schadelijk voor gezondheid.
	Geuroverlast	OU	Overlast veroorzaakt door onaangename geuren.
	Impact per op zichzelf staande ongevallen	Aantal doden	Effecten van individuele ongelukken met als gevolg overlijden.

7.Gezonde ecosystemen en biodiversiteit	Impact op ecosysteem	IPCC-punten	Effecten op de biodiversiteit en gezondheid van ecosystemen.
--	----------------------	-------------	--

8. Gezonde en veilige inrichting van de leefomgeving	Kankerverwekkend effect	CTUh	Gezondheidseffecten die kanker kunnen veroorzaken.
	Niet-kankerverwekkende effecten	CTU	Gezondheidseffecten die geen kanker veroorzaken.
	Bestraling	Gram U-equivalenten	Blootstelling aan ioniserende straling en de effecten daarvan.
	Geluidsoverlast	Db	Overlast en gezondheidseffecten door lawaai.

Voorbeeld van aanvullende criteria (niet gebruikt door NMF Limburg)	LCOE	Levelized Cost of Energy: de kosten van energieproductie per eenheid.
	Maatschappelijke acceptatie	Mate waarin de samenleving een technologie of beleid accepteert.
	Ontwikkeltijd	De tijd die nodig is om energieprojecten, zoals duurzame installaties, van planvorming tot realisatie te brengen.

Stap 3: Effecten op de (leef)omgeving

Op basis van de acht opgaven uit stap 1 worden de geselecteerde energiebronnen en -dragers (stap 1a) gescoord op de criteria en indicatoren uit stap 2. Dat geeft het volgende beeld (tabel X o.b.v. meeteenheden en tabel Y op schaal 1 – 100):

Criteria	Meeteenheid / kWh	Aardgas	Nucleair	Thorium	Biomassa	Geothermie* *****	Waterkracht (360 Mw)	Zon op land (Poly-Si)	Zon op dak (Poly-Si)	Wind op land
Broeikasgas uitstoot	g CO ₂ eq.	430	5,1	9,9	165	25	11	37	37	12
Zoetwater eutrofiering	mg p. eq.	20	5,8		122		1,3	28	39	6,7
Zoetwater ecotoxiciteit	CTU	2,34E-01	2,70E-02				2,73E-02	7,92E-02	6,99E-02	7,48E-02
Landgebruik	Punten	0,2	0,058			4,21E-09	0,21	1,9	0,86	0,11
Grondstofgebruik (mineralen en metalen)	Microgram SB eq.	240	330			0,007135	61	4500	7200	680
Waterverbruik	Liters	1,2	2,4			0,198707	0,039	0,58	0,63	0,18
Grondstofbeschikbaarheid (R-ladder)	1-9 score	9	10	9	9	8	2	2	2	2
Energie efficiëntie	Percentage	0,50	0,36		0,85	0,40	0,90	0,22	0,22	0,45
Bodem vermessing	Mol N-eq.	7,49E-04	9,70E-05			8,10E-09	1,43E-04	4,48E-04	5,10E-04	1,26E-04
Nox	g	0,2	0,01		0,4		0,005	0,06	0,06	0,03
NH ₃	g	0,1	0,005				0,005	0,005	0,005	0,005
SO _x	g	0,1	0,02		0,1		0,005	0,05	0,05	0,025
Luchtvervuiling ademhalings ziekte-	i	1,33E-09	2,21E-09				8,07E-10	2,21E-09	2,31E-09	7,06E-10
Impact op ecosysteem	Punten per MWh	2,3	0,1				0,9	1,2	0,9	0,2
Niet-kankerverwekkende effecten	CTUh	7,49E-09	5,50E-09				1,39E-09	7,83E-09	1,38E-08	2,98E-09
Kankerverwekkend effect	CTUh	1,33E-09	5,51E-10				3,54E-10	4,12E-09	1,63E-09	6,56E-09
Bestraling	Gram U eq.	9,2	14				0,84	1,75	1,79	1,03

Bronnen: op aanvraag⁸

⁸ O.a. https://unece.org/sites/default/files/2022-04/LCA_3_FINAL%20March%202022.pdf en <https://group.vattenfall.com/nl/siteassets/vattenfall-nl-site-assets/wie-we-zijn/duurzaamheid/voor-het-klimaat/duurzaam-gebruik-grondstoffen/lca-brochure-2019.pdf>

Criteria	Aardgas	Nucleair	Thorium	Biomassa	Geothermie** ****	Waterkracht (360 Mw)	Zon op land (Poly-Si)	Zon op dak (Poly-Si)	Wind op land
Broeikasgas uitstoot	100	0	1	38	5	1	8	8	2
Zoetwater eutrofiering	15	4		100		0	22	31	4
Zoetwater ecotoxiciteit	100	0				0	25	21	23
Landgebruik	11	3			0	11	100	45	6
Grondstofgebruik (mineralen en metalen)	3	5			0	1	62	100	9
Waterverbruik	49	100			7	0	23	25	6
Grondstofbeschikbaarheid (R-ladder)	88	100	88	88	75	0	0	0	0
Energie efficiëntie	59	79		7	74	0	100	100	66
Bodem vermisting	100	13			0	19	60	68	17
Nox	49	1		100		0	14	14	6
NH3	100	0				0	0	0	0
SOx	100	16		100		0	9	9	4
Luchtvervuiling ademhalings ziekte-	39	94				6	94	100	0
Impact op ecosysteem	100	0				36	50	36	5
Niet-kankerverwekkende effecten	49	33				0	52	100	13
Kankerverwekkend effect	16	3				0	61	21	100
Bestraling	64	100				0	7	7	1

De kernresultaten voor elk van de acht opgaven staan beschreven in hoofdstuk 5.

Stap 3b: Effecten met elkaar vergelijken

Die criteria hierboven kunnen gecategoriseerd worden in drie hoofdeffecten, namelijk

- 1) gezondheid voor mensen
- 2) gezondheid van ecosystemen en
- 3) grondstoffengebruik.

Het effect van grondstoffengebruik kan direct in hoeveelheden gekwantificeerd worden (bijvoorbeeld gram/kWh). Maar omdat niet elke indicator voor gezondheid van mens en ecosystemen evenveel effect heeft (bijvoorbeeld: 0,02 gram NOx/kWh is niet even slecht voor de gezondheid als 0,02 gram fijnstof) is het belangrijk om de effecten van de verschillende indicatoren gericht op gezondheid van mens en ecosystemen met elkaar te kunnen vergelijken. Hiervoor is een vertaling nodig naar een standaard eenheid.

De tabel hieronder vergelijkt verschillende energiebronnen op basis van hun impact op de gezondheid van mensen en ecosystemen, uitgedrukt in LCA-punten (Life Cycle Assessment) conform de [ReCiPe methode](#). Deze punten zijn een gestandaardiseerde maat om de negatieve effecten van elke energiebron te kwantificeren, waardoor de impact van verschillende bronnen met elkaar vergeleken kan worden, ondanks hun uiteenlopende effecten op mens en natuur. De impact op ecosystemen wordt gemeten in soortenjaren per persoon per jaar per MWh. Dit laat zien hoeveel jaren aan biodiversiteit verloren gaat door het gebruik van een bepaalde energiebron. Hoe hoger de score, hoe

groter de negatieve impact op het milieu. Voor de gezondheid van mensen wordt de impact gemeten in Disability-Adjusted Life Years (DALY's), waarbij één DALY staat voor één verloren gezond levensjaar. Ook hier geldt dat een hogere score duidt op een grotere negatieve impact op de volksgezondheid.

	Gezondheid ecosystemen	Gezondheid mens
	LCA punten/ MWh (in species-years) per persoon per jaar	LCA punten/ MWh (Disability-adjusted life years) per persoon per jaar
Aardgas	7,6	12,6
Nucleair	0,1	0,7
Thorium	Onbekend	Onbekend
Biomassa	Onbekend*	Onbekend*
Geothermie	Onbekend	Onbekend
Waterkracht	0,9	0,5
Zon op land	1,2	1,9
Zon op dak	0,9	2,2
Wind of land	0,2	0,6

Bron: https://unece.org/sites/default/files/2022-04/LCA_3_FINAL%20March%202022.pdf

* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844019357305#tbl6>

(omrekening wellicht mogelijk)

Uit de tabel blijkt dat aardgas een relatief hoge negatieve impact heeft, met een score van 12,6 DALY/MWh voor de gezondheid van mensen en 7,6 soortenjaren/MWh voor ecosystemen. Ter vergelijking, windenergie op land heeft aanzienlijk lagere scores: 0,6 DALY/MWh voor gezondheid en 0,2 soortenjaren/MWh voor ecosystemen. Nucleaire energie scoort ook laag met 0,7 DALY/MWh en 0,1 soortenjaren/MWh, wat betekent dat het minder schadelijk is voor zowel mens als natuur.

Dit puntensysteem is belangrijk omdat het helpt om de verschillende vormen van schade, zoals luchtvervuiling en verlies van biodiversiteit, met elkaar te vergelijken. Zonder zo'n systeem zou het moeilijk zijn om de totale impact van een energiebron op gezondheid en milieu in kaart te brengen.

Stap 4: Afweging en onderbouwing van voorkeursalternatieven

In deze stap is het mogelijk om extra gewicht toe te kennen aan de effecten op specifieke opgaven ten opzichte van anderen. Dit kan bijvoorbeeld door extra gewicht toe te kennen aan energiebronnen en -dragers die bijdragen aan wettelijke doelstellingen of door rekening te houden met de regionale maatschappelijke of fysieke context. Hieronder geven we drie mogelijke scenario's weer. Aan het principe 'schone energie en tegengaan klimaatverandering' (in LCA CO₂ equivalenten) wordt in alle drie de scenario's 100% gewicht toegekend omdat dit nagenoeg altijd leidend is bij een verkenning van de toekomstige energiemix.

Scenario 1 richt zich (in lijn met de visie van de NMF Limburg) op een energietransitie die natuur, water en klimaat vooropstelt. In scenario 2 wordt extra nadruk gelegd op de gezondheid van de mens en in scenario 3 op een circulair systeem.

Mogelijke scenario's	1. Natuur, water en klimaat voorop	2. Gezondheid van mens voorop	3. Circulair systeem voorop
Leidend principes	Wegingsfactoren	Wegingsfactoren	Wegingsfactoren
1. Schone energie en tegengaan klimaatverandering	100%	100%	100%
2. Schoon water en en duurzame drinkwatervoorziening	100%	70%	70%
3. Weerbaarheid tegen klimaatverandering en rampen	100%	50%	50%
4. Circulaire samenleving door gebruik van materialen en natuurlijke	50%	30%	100%
5. Gezonde leefomgeving: goede milieukwaliteit van de bodem	100%	70%	70%
6. Gezonde leefomgeving: goede milieukwaliteit van de lucht	100%	100%	70%
7. Gezonde ecosystemen en biodiversiteit	100%	50%	50%
8. Gezonde en veilige inrichting van de leefomgeving	50%	100%	30%
Overige factoren	30%	30%	30%

Stap 5: Doelbereik en keuzes maken

De resultaten van deze stap staan beschreven in hoofdstuk 6.

Stap 6b: Lokale context bij uitvoering

Zonder uitzondering veroorzaakt elke technologie voor elektriciteitsopwekking gedurende zijn levenscyclus milieueffecten en deze effecten kunnen sterk variëren afhankelijk van de locatie van implementatie en andere ontwerpkeuzes. De regionale elektriciteitsmix en efficiëntie van de industriële processen (bij de toelevering van grondstoffen en de bouw

van de installaties en infrastructuur) kunnen tot significante verschillen in milieueffecten leiden. De energiemix wordt in onderstaande analyse niet meegenomen, vanwege de beperkte impact van een individueel project erop.

De locatie gebonden impact van een energieproject wordt daarnaast beïnvloed door verschillende factoren, waaronder:

- **Lokale biodiversiteit:** Het behoud van flora en fauna moet worden afgewogen tegen de voordelen van het project.
- **Lokale milieuomstandigheden:** De ecologische kenmerken van een gebied kunnen de haalbaarheid van een project beïnvloeden.
- **Sociale en economische contexten:** De acceptatie van een project door de lokale gemeenschap is cruciaal voor het succes ervan.
- **Bestaande infrastructuur en 'gevoelige objecten':** De aanwezigheid van bestaande infrastructuren, zoals – energienetwerken en transportverbindingen, kan de implementatie van nieuwe energieoplossingen vergemakkelijken of bemoeilijken.

In hoofdstuk 7 geven we een aantal richtlijnen mee voor de locatiekeuze.

Bijlage 2: Energiebesparende maatregelen

Energiebesparing behoort tot een van de leidende principes van de NMF Limburg. Daarom wordt er waarde aan gehecht aan energiebesparende maatregelen per gebruiker en of sector. De tabel hierover geeft handvatten aan verschillende soorten stakeholders.

Sector	Maatregelen
Overheid	- Handhaaf energie-efficiëntie normen en weerhoud/rem overproductie: stel strenge regels voor energie-efficiëntie in voor gebouwen, apparaten en industriële processen. - Het verplicht stellen van energie labels op producten en gebouwen kan consumenten helpen bij het maken van weloverwogen keuzes voor energie-efficiënte opties. - Start nationale of regionale campagnes voor energiebesparing om bewustzijn te vergroten en verantwoord energiegebruik aan te moedigen. - Geef belastingvoordelen of subsidies aan bedrijven, en individuen die energiebesparende technologieën en praktijken aannemen. - Financier onderzoeks- en ontwikkelingsinitiatieven gericht op energiezuinige technologieën en duurzame energieoplossingen. - Stimuleer duurzaam vervoer door het goedkoper en toegankelijker te maken voor alle mensen in Nederland. - Geef als overheid het goede voorbeeld binnen de interne bedrijfsvoering zoals bij de inkoop, gebouwen niet te verlichten gedurende de nacht etc. - De overheid kan differentiële energietarieven invoeren, waarbij hogere tarieven worden toegepast op energieverbruik boven bepaalde drempels. Dit moedigt consumenten aan om zuiniger met energie om te gaan.
Semi-overheid	- Het verzamelen en analyseren van gegevens over energieverbruik in een bepaalde sector of regio om inzicht te krijgen in de prestaties en mogelijkheden voor verbetering. - Het adviseren van de overheid over beleidsmaatregelen en regelgeving om energiebesparing te bevorderen, zoals het ondersteunen van strengere energie-efficiëntienormen voor gebouwen en voertuigen. - Het aangaan van partnerschappen met particuliere bedrijven om gezamenlijke initiatieven voor energiebesparing te ontwikkelen en uit te voeren.

	- Het investeren in of ondersteunen van projecten voor duurzame energie, zoals zonne- en windenergieprojecten, om de overgang naar schone energie te versnellen.
Industrie	- Voer regelmatig energie-audits uit om inzicht te krijgen in het energieverbruik en identificeer inefficiënte gebieden die verbetering behoeven. - Herzie productieprocessen om verspilling te verminderen en de energie-efficiëntie te verbeteren, bijvoorbeeld door het optimaliseren van temperaturen, druk en stromen. - Hergebruik warmte die anders verloren zou gaan in het productieproces om bijvoorbeeld water te verwarmen of elektriciteit op te wekken. - Vervanging van verouderde apparatuur: Upgrade oudere, minder efficiënte machines en apparatuur naar energiezuinige modellen. - Energiebeheersystemen: Implementeer geavanceerde energiebeheersystemen om het energieverbruik te bewaken, te meten en te beheren. - Overweeg het gebruik van hernieuwbare energiebronnen, zoals zonne-energie of windenergie, om in de eigen energiebehoeften te voorzien. - Gebruik energiezuinige elektromotoren en regelsystemen om het elektriciteitsverbruik te verminderen. - Implementeer Warmte Kracht Koppeling systemen om gelijktijdig elektriciteit en warmte te genereren, wat de efficiëntie van de energieproductie verhoogt. - Kies materialen die energie-efficiëntie bevorderen bij de bouw of renovatie van faciliteiten. - Overweeg het behalen van certificeringen zoals ISO 50001 voor energiemanagementsystemen om energie-efficiëntie te formaliseren en te verbeteren.
Overige bedrijven	- Vervang traditionele verlichting door energiezuinige LED-lampen en implementeer lichtregelingssystemen om verlichting alleen te activeren wanneer dat nodig is. - Weeg de klimaatschade af tegenover financieel gewin bij elke beslissing die je als bedrijf maakt. - Kies energiezuinige computers, printers en andere kantoorapparatuur en stel ze in op de slaapstand wanneer ze niet worden gebruikt. - Installeer bewegingssensoren en timers voor verlichting en apparatuur, zodat ze automatisch uitschakelen wanneer er niemand aanwezig is. - Pas uw marketingboodschappen aan op basis van de specifieke behoeften en wensen van uw klanten. Toon hoe uw producten en diensten kunnen bijdragen aan hun energiebesparingsdoelstellingen.

	- Werk samen met leveranciers die zich richten op energie-efficiënte producten en diensten en profiteer van hun expertise.
Gezondheidszorg en welzijn	- Verbeter de energie-efficiëntie van ziekenhuizen, klinieken en andere gezondheidszorgfaciliteiten door middel van isolatie, efficiënte verwarming, ventilatie en airconditioning (HVAC), energiezuinige verlichting en ramen met hoog rendement. - Bevorder recycling en afvalvermindering binnen de gezondheidszorgfaciliteit, inclusief medisch afvalbeheer en het minimaliseren van wegwerpproducten. - Bevorder het gebruik van telegeneeskunde om onnodige reizen voor patiënten en medische professionals te verminderen, wat kan leiden tot een lager energieverbruik. Telegeneeskunde verwijst specifiek naar de klinische diensten op afstand die door beroepsbeoefenaren in de gezondheidszorg aan patiënten worden geleverd door middel van telecommunicatietechnologie. - Implementeer energiezuinige liften en roltrappen om het energieverbruik te verminderen. - Gebruik hoogwaardige luchtzuiveringssystemen om de luchtkwaliteit te handhaven zonder overmatig energieverbruik.
Infrastructuur en mobiliteit	- Ontwerp wegen en snelwegen met een focus op efficiënt verkeersmanagement, zodat voertuigen met een constante snelheid kunnen rijden en brandstof kunnen besparen. - Investeer in efficiënt en toegankelijk openbaar vervoer, zoals treinen, trams en bussen, om het gebruik van privéauto's te verminderen. - Verbeter fietspaden, voetpaden en oversteekplaatsen om duurzaam vervoer aan te moedigen en het gebruik van auto's voor korte afstanden te verminderen. - Plaats oplaadpunten voor elektrische voertuigen langs wegen om elektrische mobiliteit te bevorderen - Implementeer groene infrastructuur op luchthavens en havens, zoals groendaken en regenwateropvangsystemen. - Gebruik energie-efficiënte verlichting, verwarming en koeling in stations en terminals.
Individueel	- Kies voor energiezuinige apparaten thuis om energieverbruik te verminderen. Voor hulp kan de Participatiecoalitie ingeschakeld worden (o.a. met grootschalige inkoopacties). - Verbeter de isolatie van woningen om de behoefte aan verwarming en koeling te minimaliseren, creëer bijvoorbeeld schaduw op de voorgevel van je huis door een boom te planten. Houd bij isolatie altijd rekening met vleermuizen, en diverse vogelsoorten zoals de spreeuw, gierzwaluw en huismus. - Overweeg het plaatsen van zonnepanelen op je dak om schone energie voor eigen verbruik op te wekken. Ook kan gekeken worden naar bijvoorbeeld een warmtepomp.

**Overige
sectoren**

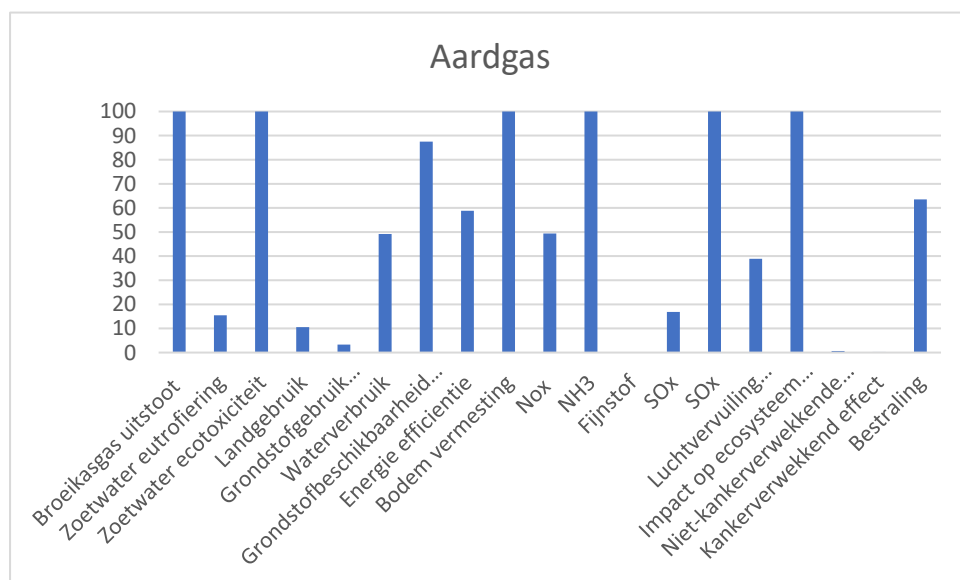
- Integreer energiebesparing in het lesmateriaal en promoot energiezuinige praktijken binnen schoolfaciliteiten.
- Optimaliseer transportroutes voor internationale sportwedstrijden om brandstofverbruik en emissies te verminderen.

Bijlage 3: Factsheets per energiebron

Factsheet Aardgas

Aardgas is een fossiele brandstof die voornamelijk bestaat uit methaan en wordt gewonnen uit ondergrondse bronnen. Het wordt vaak gebruikt voor verwarming, elektriciteitsopwekking en als brandstof voor voertuigen.

Aardgas is een fossiele brandstof die wordt gewonnen uit ondergrondse reserves. De hoeveelheid aardgas die beschikbaar is, is beperkt en niet hernieuwbaar op menselijke tijdschalen. Dit maakt het moeilijk om aardgas volledig circulair te maken, omdat het uiteindelijk zal opraken. Het verbranden van aardgas voor energieproductie en verwarming resulteert in de uitstoot van broeikasgassen, zoals kooldioxide (CO₂) en methaan (CH₄). Deze emissies dragen bij aan klimaatverandering.



Afweging

De uitstoot van broeikasgassen en andere vervuilende stoffen is bij aardgas hoog, maar ten opzichte van biomassa beperkt(er). Aardgas levert net als kernenergie continue energie. Een ander 'voordeel' van aardgas is dat de energie infrastructuur al bestaat en de centrales al in werking zijn. Daarmee zou (een zeer beperkt aantal) aardgascentrales in de nabije toekomst kunnen fungeren als back-up in een transitiefase om schommelingen in energieopwekking van hernieuwbare bronnen (wind en zon) op te vangen en de leveringszekerheid te garanderen.

criterium	Meting	Scoring	Uitleg
CO₂-eq uitstoot	430 gram CO ₂ eq.	100	Het verbranden van aardgas voor energieproductie en verwarming resulteert in de uitstoot van broeikasgassen, zoals kooldioxide (CO ₂) en methaan (CH ₄), dit zijn bestand delen die direct bijdragen aan klimaatverandering.
Zoetwater eutrofiering	20 Miligram p. eq.	15	Er kan sprake zijn van indirecte effecten welke kunnen variëren. Voorbeelden van indirecte effecten zijn de uitstoot van verontreinigende stoffen tijdens de winning, transport en verbranding ervan, of uitstoot van stikstofoxiden en zwaveloxiden tijdens de verbranding.
Zoetwater eco-toxiciteit	1,60 ^{E-02} CTU	100	De impact is afhankelijk van de manier waarop aardgas wordt gewonnen, getransporteerd en gebruikt. Zo kunnen er bij het winnen van aardgas chemicaliën, sedimenten en andere verontreinigingen in het oppervlaktewater terechtkomen als gevolg van lekkages of ongevallen.
Waterverbruik	1,2 liter	49	Aardgaswinning kan aanzienlijke hoeveelheden water verbruiken. Vooral in bepaalde methoden van aardgaswinning, zoals hydraulisch fractureren (fracking). Er wordt door sommige bedrijven gewerkt aan technologieën om waterverbruik te verminderen en hergebruik mogelijk te maken.
Watertemperatuurverhoging (gebruiksfasen)		?	Het gebruik van aardgas voor energieproductie kan leiden tot een verhoging van de watertemperatuur, vooral wanneer aardgas wordt gebruikt in thermische energiecentrales. Hierbij wordt gebruik gemaakt van koelsystemen. Voorbeeld: open koelsystemen nemen water uit nabijgelegen waterlichamen, zoals rivieren of meren, en geven dit opgewarmde water terug aan het milieu. Dit kan leiden tot een verhoging van de watertemperatuur in die waterlichamen.
Landgebruik	0,2 punten	11	Aardgaswinning vereist ruimte op het landoppervlak voor boorinstallaties, putten, infrastructuur, gasverwerking en gastransport, opslagfaciliteiten en toegangswegen. De aanleg van boorlocaties kan leiden tot vermindering van biodiversiteit en verstoring van ecologie. Ook kan aardgaswinning verontreiniging en bodemerrosie veroorzaken en hierdoor de bodemkwaliteit beïnvloeden.
Omgevingsimpact per ongeval (dichtbij)		?	Een ongeval bij een aardgasproject kan ernstige gevolgen hebben voor de veiligheid van werknemers, het milieu en de gemeenschap. Aardgas of gevaarlijke stoffen kunnen vrijkomen, schadelijk zijn voor water en bodem, en branden of explosies veroorzaken. Dit kan schade toebrengen aan faciliteiten, apparatuur, milieu, werknemers en omwonenden, die ook gezondheidsproblemen door luchtverontreiniging kunnen ondervinden.
Minst energie efficiënt	0,50 %	59	Aardgas heeft een hoge verbrandingswaarde, waardoor het efficiënt warmte en elektriciteit produceert. In WKK-centrales benutten ze restwarmte voor verwarming of koeling, wat de energie-efficiëntie verhoogt.
Grondstofgebruik (mineralen en metalen)	240 Microgram SB eq.	3	Aardgaswinning zelf vereist weinig mineralen of metalen, vooral voor infrastructuur zoals buizen en boorapparatuur, gemaakt van staal, cement, zand, chemicaliën, water, gietijzer, kunststof, hout en brandstoffen zijn mineralen en metalen nodig.
R-ladder (feedstock)	9 (R-ladder)	88	Aardgas is een fossiele brandstof, gevormd uit organische materialen over miljoenen jaren. Het is niet hernieuwbaar omdat de vorming zeer traag verloopt en de voorraden

			uitgeput raken door snel verbruik. Aardgas past daarom het beste in de lagere rangen van de R-ladder, voornamelijk "Reduce" en "Recover", met beperkte mogelijkheden voor "Reuse" en "Recycle" van infrastructuur. De hogere rangen zoals "Refuse" en "Redesign" zijn meer gericht op het vermijden van gebruik en het herontwerpen van systemen om aardgasgebruik te minimaliseren of te elimineren.
Bodem vermessing	7,49 ^E -04 Mol N-eq.	100	Aardgaswinning beïnvloedt de bodemvermessing meestal niet direct. Echter, stikstofoxiden (NOx) uit aardgasverbranding kunnen in de bodem terechtkomen en stikstofbelasting verhogen, wat bijdraagt aan bodemvermessing. Indirect kan aardgas ook bijdragen via watervervuiling, landgebruik en klimaatverandering.
Impact op ecosysteem	0,22 punten per MWh	100	De ontwikkeling van aardgasbronnen kan natuurlijke habitats verstoren, biodiversiteit verminderen en habitats van wilde dieren vernietigen. Aardgaswinning kan waterbronnen vervuilen door methaanlekken, wat aquatische ecosystemen en drinkwater schaadt. Methaan, een krachtig broeikasgas, draagt bij aan klimaatverandering. Aardgasverbranding stoot luchtverontreinigende stoffen (NOx en SOx) uit, wat schadelijk is voor de gezondheid en ecosystemen. Aardgasinfrastructuur kan bodem verstoren en CO₂-uitstoot bijdragen aan klimaatverandering. Daarnaast kunnen geologische risico's, zoals aardbevingen, toenemen.
Luchtkwaliteit (ziekte)	1,33 ^E -09 ziekte incidente n	39	De uitstoot van koolstofdioxide (CO₂) draagt bij aan de uitstoot van broeikasgassen en daarbij invloed op klimaatverandering. Aardgasverbranding genereert o.a. vluchtige organische stoffen, die bijdragen aan de vorming van bodemniveauezone en luchtverontreiniging. Gezondheidsproblemen die kunnen optreden zijn: - Ademhalingsproblemen - Hart- en vaatziekten - Allergieën In het algemeen zijn de gezondheidsrisico's van aardgas minder ernstig dan bij sommige andere fossiele brandstoffen, maar de risico's blijven bestaan, vooral bij langdurige blootstelling of bij verbranding in slecht geventileerde ruimtes.
Luchtkwaliteit Nox	0,09 g/kWh	49	Stikstofoxiden (NOx) die vrijkomen bij aardgas, kunnen zorgen voor smog en zure regen, wat erg luchtverontreinigend is.
Luchtkwaliteit Sox	0,08	100	Aardgasverbranding produceert zwaveloxiden (SOx), hoewel in lagere hoeveelheden dan kolen en olie. SOx-uitstoot kan de luchtkwaliteit aantasten door ook zure regen te veroorzaken, wat schadelijk is voor ecosystemen, infrastructuur, en de menselijke gezondheid.
Luchtkwaliteit NH3	0,1	100	Aardgasverbranding produceert zelf geen ammoniak (NH₃), maar bij sommige aardgas gerelateerde processen, zoals stikstofverwijdering in gascentrales, kan NH₃ vrijkomen.
Luchtkwaliteit fijnstof	0	?	Bij de verbranding van aardgas komt doorgaans minder fijnstof vrij dan bij de verbranding van steenkool of olie. Toch kan er nog steeds een geringe hoeveelheid fijnstof ontstaan, vooral als er sprake is van een onvolledige verbranding of als de apparatuur niet goed onderhouden wordt. De fijnstofdeeltjes (PM_{2,5} en PM₁₀) die vrijkomen bij het verbranden van aardgas kunnen de luchtkwaliteit beïnvloeden en daardoor schadelijk zijn voor de gezondheid.

Geuroverlast			
Impact per op zichzelf staande ongevallen	?		Het werken met chemicaliën en gevaarlijke stoffen in de aardgasindustrie kan leiden tot blootstelling aan schadelijke stoffen, wat op de lange termijn kan leiden tot gezondheidsproblemen voor werknemers. Veel taken in de aardgasindustrie vereisen werken op hoogte of in beperkte ruimtes, wat gevaren met zich meebrengt, zoals vallen, verstikking of ineenstorting. Het gebruik van zware machines en apparatuur in de productie van aardgas kan leiden tot ongevallen als gevolg van mechanische storingen, onjuist gebruik of onvoldoende onderhoud.
Niet-kankerverwekkende effecten	7,49 ^E -09 CTUh	1	
Kankerverwekkend effect	1,3 Micro CTUh	0	Chemicaliën zoals benzeen, tolueen en xyleen kunnen vrijkomen bij aardgaswinning, -transport en -verwerking. Deze kunnen bij langdurige blootstelling en hoge concentraties kankerverwekkend zijn. Langdurige blootstelling aan NOx kan indirect bijdragen aan bepaalde vormen van kanker, zoals longkanker.
Bestraling	9,2 Gram U eq.	64	Ondanks dat aardgas zelf geen radioactieve stof bevat, kunnen bij aardgaswinning en -verwerking radioactieve materialen aanwezig zijn in de ondergrondse formaties waaruit het aardgas wordt gewonnen. Dit kan bijvoorbeeld optreden in gebieden waar er natuurlijke voorkomens zijn van radioactieve elementen zoals uranium en thorium. Deze radioactieve materialen kunnen worden meegevoerd naar het oppervlak met het geproduceerde aardgas en kunnen zich ophopen in afvalstoffen zoals boorafval.
Geluidsoverlast	-		Het boren van aardgasputten kan gepaard gaan met het gebruik van boorinstallaties en machines die aanzienlijk geluid produceren. Het gebruik van compressoren en pompen kan zorgen voor geluidsoverlast, met name als deze in de buurt van woonwijken staan. Elektriciteitscentrales die aardgas als brandstof gebruiken, kunnen lawaai produceren vanwege de werking van turbines en generatoren. Dit geluid kan in de omgeving hoorbaar zijn.
LCOE (kosten per implementatie)	71 LCOE – USD/MwH (5%WACC)	38	Levelised cost of energie (LCOE) is een maatstaf voor de gemiddelde netto huidige kosten van elektriciteitsopwekking voor een generator gedurende zijn levensduur.
Maatschappelijke acceptatie	-		

Factsheet Biomassa

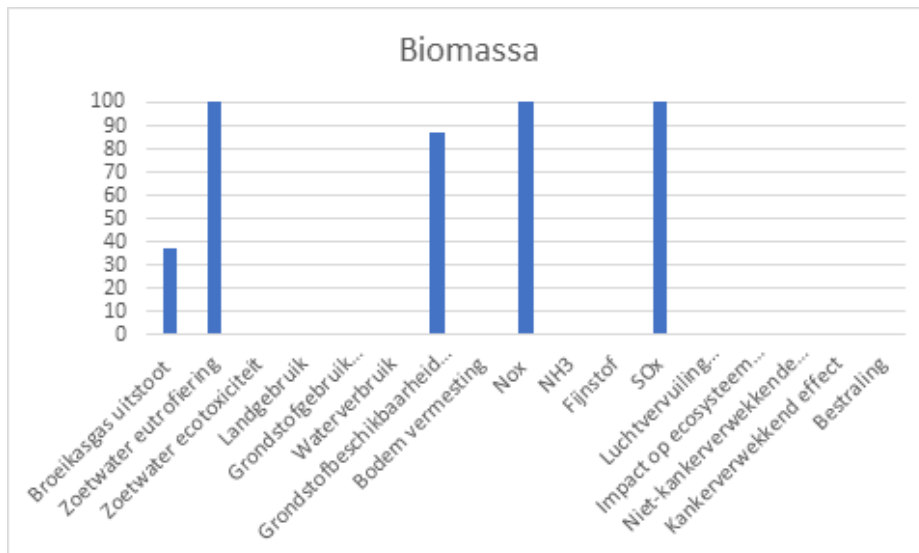
Biomassa is organisch materiaal dat afkomstig is van planten en dieren, en het kan worden gebruikt voor verschillende energietoepassingen. Het kan bijvoorbeeld bestaan uit houtsnippers, landbouwafval, mest, en zelfs bepaalde algen. Biomassa kan worden omgezet in biobrandstoffen, zoals biogas, biodiesel, of worden verbrand voor warmte- en elektriciteitsproductie.

De hernieuwbaarheid van biomassa is gebaseerd op het idee dat de materialen waaruit het bestaat, zoals bomen en gewassen, opnieuw kunnen groeien en worden aangevuld door natuurlijke processen, zoals fotosynthese. Zolang de biomassa wordt geproduceerd en geoogst op een manier die duurzame groei mogelijk maakt, kan het een hernieuwbare bron van energie blijven.

Echter, de duurzaamheid en milieu-impact van biomassa zijn onderwerp van debat. De verbranding van biomassa kan koolstofdioxide (CO₂) uitstoten, en de productie kan leiden tot ontbossing, verlies van biodiversiteit, en andere milieuproblemen als het niet op een verantwoorde manier gebeurt. Daarom is het belangrijk dat biomassa wordt beheerd volgens strikte duurzaamheidscriteria om echt als hernieuwbaar en milieuvriendelijk te worden beschouwd.

Feedstock voor biomassa kan worden geteeld op een natuurinclusieve manier, waarbij land wordt beheerd op een manier die gunstig is voor lokale biodiversiteit. Agroforestry en duurzame landbouwpraktijken kunnen worden toegepast om ecosystemen te beschermen.

Biomassa wordt vaak geproduceerd uit organische materialen, zoals landbouwafval, gewasresten, houtsnippers en groenafval. Door deze organische materialen te benutten voor energieproductie, wordt voorkomen dat ze worden gestort of verbrand als afval, wat bijdraagt aan een efficiënter afvalbeheer. Biomassa kan worden geïntegreerd in een kringlooeconomie, waarbij organisch materiaal wordt gebruikt voor energieopwekking en vervolgens de as of reststoffen kunnen worden teruggegeven aan de bodem als meststoffen of bodemverbeteraars. Dit sluit de kringloop en minimaliseert afval.



In het figuur hierboven zie je hoe biomassa scoort op verschillende criteria.

Afweging

Een biomassacentrale leidt vergeleken tot de onderzochte energiebronnen tot één van de hoogste broeikasgasemissies en grootste luchtvervuiling. Daarnaast heeft een biomassacentrale een grote ecologische en ruimtelijke voetafdruk en staat deze vrijwel onderaan de Ladder van Moerman als het gaat om een zo hoogwaardig mogelijke toepassing van biomassa feedstock, of het nu hout (snippers of pellets) of gewas- en voedsel(resten) betreft. Met de toekomstige uitdagingen op het gebied van voedselzekerheid, bio-based materialen, natuur- en bodembescherming is voor de toepassing van biomassa voor energiewinning geen plek.

Criteria	Meting	Scoring	Uitleg
CO2 uitstoot - Klimaatverandering (combinatie fossiel en landgebruik)	230 gram CO2 eq.	38	Biomassa, zoals hout, planten en gewassen, slaat koolstof op via fotosynthese. Tijdens dit proces nemen planten CO2 op uit de atmosfeer en zetten het om in organisch materiaal. Wanneer biomassa wordt geoogst en verbrand, komt de opgeslagen koolstof weer vrij als CO2. Dit leidt tot een tijdelijke, maar aanzienlijke toename van de CO2-concentratie in de atmosfeer. Biomassa scoort daarom bovengemiddeld op de uitstoot van CO2. Efficiënte technologieën kunnen helpen om de uitstoot te verminderen, maar het blijft relatief hoog.
Zoetwater eutrofiering		100	Over het algemeen wordt biomassa als relatief laag beoordeeld op het gebied van zoetwater eutrofiëring in vergelijking met sommige andere bronnen van energie, zoals fossiele brandstoffen. Dit komt doordat biomassa doorgaans minder stikstof- en fosforverbindingen bevat, die bijdragen aan eutrofiëring. Maar dit hangt ook af van specifieke factoren zoals de landbouwmethoden (bijv. bemesting) voor de biomassa.

Zoetwater ecotoxiciteit	?	De manier waarop biomassa wordt geproduceerd, met name de landbouwpraktijken die worden gebruikt (pesticiden gebruik) kan van invloed zijn op ecotoxiciteit. Ditzelfde geldt voor de manier waarop het verwerkt en verbrand wordt als ook de bron van biomassa. Houtachtige biomassa, zoals houtpellets kunnen behoorlijk verschillen van bijv. gewasresten. Toch scoort biomassa doorgaans lager omdat het minder schadelijke chemicaliën en verontreinigingen bevat.
Waternverbruik	?	Biomassa kan worden geproduceerd uit verschillende soorten gewassen, zoals maïs, suikerriet, sorghum en houtige gewassen. Het waternverbruik varieert sterk tussen deze gewassen, afhankelijk van de groeiomstandigheden en de behoefte aan irrigatie. Gewassen die intensieve irrigatie vereisen, zoals rijst of suikerriet, kunnen aanzienlijke hoeveelheden water gebruiken. Biomassa geproduceerd uit dergelijke gewassen kan een hoger waternverbruik hebben. De manier waarop biomassa wordt omgezet in energie kan ook het waternverbruik beïnvloeden. Sommige technologieën voor de productie van bio-energie vereisen water voor het proces.
Watertemperatuurverhoging (gebruiksfase)	?	Biomassa kan zowel positieve als negatieve effecten hebben op de watertemperatuurverhoging. Maar over het algemeen scoort het bovengemiddeld hoog. Biomassa kan worden gebruikt voor de productie van warmte- en energie, zoals warmwater- en stoomsystemen, zonder dat dit per se leidt tot een significante toename van de watertemperatuur. Efficiënte biomassa-installaties kunnen zo worden ontworpen dat ze de watertemperatuur niet aanzienlijk verhogen. Terwijl sommige biomassaproductieprocessen en verbrandingssystemen kunnen warmte vrijgeven in waterlopen of koelwater uit waterbronnen gebruiken om het systeem af te koelen. Dit kan leiden tot een verhoging van de watertemperatuur in die waterlichamen, wat nadelige gevolgen kan hebben. Bij het gebruik van biomassa voor warmte- en energieproductie in installaties zonder passende koelingstechnologieën, kan de warmteafvoer in waterlopen leiden tot thermische vervuiling, wat de watertemperatuur kan verhogen
Landgebruik	?	Als biomassa wordt geoogst uit bossen met duurzaam beheer, waarbij de hoeveelheid geoogst hout in evenwicht is met de groei van de bomen, kan dit een gunstig effect hebben op landgebruik. Het gebruik van gewasresiduen en landbouwafval voor biomassa kan positief zijn voor landgebruik, aangezien deze materialen anders zouden worden verbrand of gestort. Het gebruik van deze restmaterialen kan de noodzaak verminderen om extra landbouwgrond in beslag te nemen voor energiegewassen. Biomassa kan ook worden verbouwd op gedegradeerde of verlaten

landbouwgronden, wat kan bijdragen aan het herstel van deze gebieden. Aan de andere kant kan biomassa negatief scoren op landgebruik als het leidt tot ontbossing, de omzetting van waardevolle natuurlijke ecosystemen in energiegewassen of concurrentie met voedselgewassen, wat kan leiden tot de uitbreiding van landbouwgrond.

Omgevingsimpact per ongeval (dichtbij)	?		Ongevallen, zoals branden of storingen in de verbrandings- of vergassingsprocessen, kunnen leiden tot tijdelijke verhoogde luchtmissies van verontreinigende stoffen zoals fijnstof, stikstofoxiden (NOx) en vluchtige organische stoffen (VOS). Dit kan de luchtkwaliteit in de omgeving tijdelijk verslechteren en de gezondheid van mensen en het milieu beïnvloeden. Morsen of lekkages van brandstoffen, chemicaliën of as kunnen leiden tot bodemverontreiniging in de omgeving van de centrale. Dit kan de bodemvruchtbaarheid aantasten en schadelijk zijn voor planten en dieren. Ongevallen kunnen leiden tot het vrijkomen van gevaarlijke stoffen in waterlichamen, wat kan leiden tot waterverontreiniging en schadelijk kan zijn voor aquatische ecosystemen. Het kan ook de drinkwaterbronnen aantasten.
Energie efficiëntie	85 %	7	Biomassa kan een redelijk hoge energie-inhoud hebben, vooral wanneer het wordt verbrand of omgezet in biobrandstoffen. Dit betekent dat een aanzienlijke hoeveelheid energie kan worden geproduceerd uit een gegeven hoeveelheid biomassa. Biomassa-installaties kunnen warmte en elektriciteit tegelijkertijd produceren, wat de totale efficiëntie kan verhogen, omdat zowel elektrische als thermische energie worden benut.
Grondstofgebruik (mineralen en metalen)	?		Over het algemeen wordt biomassa vaak als positief beoordeeld als het gaat om grondstofgebruik, omdat biomassa een hernieuwbare bron is en geen afhankelijkheid van schaarse mineralen of metalen met zich meebrengt. Biomassa kan namelijk worden geproduceerd uit landbouwafval, gewasresten en houtsnippers, wat betekent dat het vaak materialen gebruikt die anders zouden worden weggegooid of verbrand. Biomassa kan deel uitmaken van een kringlooeconomie, waarbij organisch materiaal wordt gebruikt voor energieopwekking en vervolgens de as of reststoffen kunnen worden teruggegeven aan de bodem als meststoffen of verbeteraars.
Grondstofbeschikbaarheid (R-ladder, feedstock)	9 R-ladder	88	Biomassa is over het algemeen overvloedig beschikbaar, vooral in agrarische gebieden waar gewassen en landbouwafval in overvloed aanwezig zijn.
Bodem vermisting	?		De keuze van gewassen voor biomassa en de bijbehorende bemestingspraktijken spelen een cruciale rol. Als gewassen voor biomassa worden verbouwd met overmatig gebruik van kunstmeststoffen, kan dit leiden tot bodemvermisting. Evenzo kan het gebruik van

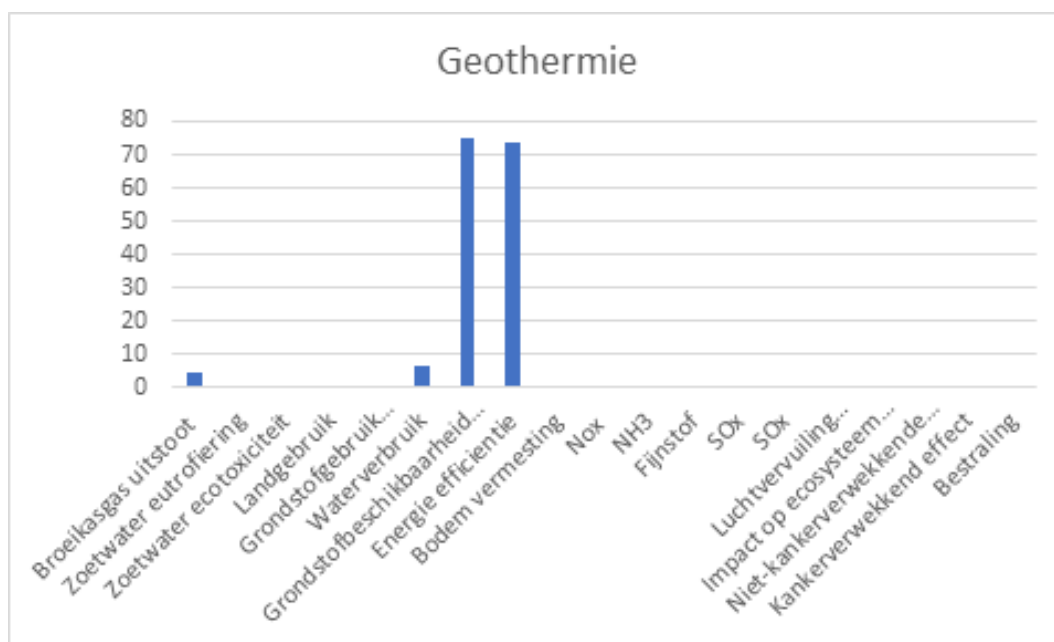
			gewasresten die rijk zijn aan voedingsstoffen (bijv. stikstof en fosfor) zonder passende beheersmaatregelen een negatieve impact hebben op de bodem. Duurzame landbouwpraktijken, zoals geïntegreerde gewasmanagementtechnieken en gewasrotatiepraktijken, kunnen helpen de impact van biomassa op bodemvermesting te verminderen.
Impact op ecosysteem (globaal)	?		De oogst van biomassa kan de bodemgezondheid beïnvloeden, vooral als de oogstpraktijken niet duurzaam zijn. Overmatig oogsten van biomassa kan leiden tot bodemvermesting, erosie en degradatie van de bodem. Sommige gewassen voor biomassa kunnen veel water nodig hebben, wat kan leiden tot concurrentie om waterbronnen en mogelijke uitputting van watervoorraden. Het type gewassen dat wordt gebruikt voor biomassa en de manier waarop ze worden geteeld, kan de biodiversiteit beïnvloeden. Monoculturen kunnen de biodiversiteit verminderen en plagen aantrekken.
Luchtkwaliteit (ziekte)	?		De verbranding van biomassa kan luchtvervuiling veroorzaken, met inbegrip van de uitstoot van fijnstof, broeikasgassen en andere verontreinigende stoffen. Als de koolstofuitstoot bij verbranding groter is dan de koolstofopname tijdens de groei van de biomassa, kan dit bijdragen aan een netto toename van CO ₂ in de atmosfeer.
Luchtkwaliteit Nox	0,4126354 g/kWh	100	
Luchtkwaliteit Sox	0,073	100	
Luchtkwaliteit NH₃	?		
Luchtkwaliteit fijnstof	?		
Geuroverlast	?		
Impact per op zichzelf staande ongevallen	?		Ongevallen in biomassacentrales of bij het oogsten en verwerken van biomassa kunnen leiden tot lichamelijk letsel voor werknemers en omstanders. Dit kan variëren van kleine verwondingen tot ernstige verwondingen of zelfs dodelijke slachtoffers. Biomassa-installaties kunnen bepaalde gevaarlijke stoffen, zoals asbest of chemicaliën die worden gebruikt bij de biomassa-conversieprocessen, bevatten. Ongevallen kunnen leiden tot blootstelling aan deze gevaarlijke stoffen, wat gezondheidsproblemen kan veroorzaken. Biomassa kan brandgevaarlijk zijn, en ongevallen zoals branden en explosies kunnen ernstige gevolgen hebben voor werknemers en de omgeving.
Niet-kankerverwekkende effecten	?		
Kankerverwekkend effect	?		Biomassa bestaat voornamelijk uit organisch materiaal, zoals gewassen, hout en landbouwafval. Deze bronnen zelf zijn doorgaans niet kankerverwekkend. Tijdens het verbrandingsproces in biomassacentrales kunnen echter verontreinigende stoffen worden geproduceerd, zoals fijnstof, polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)

			en andere stoffen, die in sommige gevallen kankerverwekkend kunnen zijn. De mate van luchtverontreiniging en de uitstoot van kankerverwekkende stoffen kunnen variëren op basis van de verbrandingstechnologie, de emissiebeheersing en de brandstofkwaliteit.
Bestraling		?	Biomassa als grondstof voor energieproductie ondergaat over het algemeen geen bestraling tijdens de productie of verwerking.
Geluidsoverlast		?	Biomassa-installaties kunnen geluidsoverlast veroorzaken, vergelijkbaar met andere industriële faciliteiten. Het geluidsniveau hangt af van verschillende factoren, waaronder de grootte en capaciteit van de installatie, de gebruikte technologieën, het type biomassa en de locatie van de installatie. Biomassa-installaties gebruiken vaak ventilatoren en pompen om lucht- en warmtestromen te reguleren. Deze mechanische apparaten kunnen geluid produceren. Biomassa-installaties gebruiken vaak ventilatoren en pompen om lucht- en warmtestromen te reguleren. Deze mechanische apparaten kunnen geluid produceren. Het verwijderen of verwerken van as en reststoffen kan ook geluidsoverlast veroorzaken.
Kosten per implementatie (LCOE)	130 LCOE – USD/MWh (5%WACC)	84	De kosten van biomassa zijn afhankelijk van het type biomassa en de beschikbaarheid ervan in de regio. Houtsnippers, landbouwafval, houtpellets en andere biomassa hebben allemaal verschillende kosten en beschikbaarheid. Sommige soorten biomassa vereisen extra verwerking voordat ze kunnen worden gebruikt als brandstof, wat extra kosten met zich meebrengt. De keuze van technologieën voor het omzetten van biomassa in energie kan variëren in kostenefficiëntie. Efficiëntere technologieën kunnen hogere initiële investeringskosten hebben, maar lagere operationele kosten en een betere energieopbrengst.
Maatschappelijke acceptatie		?	

Factsheet Geothermie

Geothermie is een vorm van hernieuwbare energie die gebruikmaakt van de warmte die wordt geproduceerd door de natuurlijke warmtebronnen onder het aardoppervlak, zoals hete bronnen, geisers en vulkanen. Deze warmte kan worden gebruikt voor verwarming, koeling en elektriciteitsopwekking.

Geothermische installaties hebben over het algemeen een beperkte impact op de natuurlijke omgeving. Ze vereisen relatief weinig ruimte en kunnen worden geïntegreerd in natuurgebieden zonder aanzienlijke verstoring. Natuurinclusieve geothermische projecten kunnen maatregelen omvatten voor het behoud van de lokale biodiversiteit en herbebossing van verstoorde gebieden.



In het figuur hierboven zie je hoe geothermie scoort op verschillende criteria.

Criterium	Meting	Scoring	Uitleg
CO2-eq uitstoot	25 gram CO2 eq.	5	Geothermische energie is in principe koolstofarm, omdat het geen verbranding van fossiele brandstoffen vereist om elektriciteit op te wekken. Bij geothermieprojecten kunnen soms kleine hoeveelheden methaan vrijkomen, aangezien dit een natuurlijk bijproduct is van geothermische processen. Methaan is een potent broeikasgas, maar de emissies zijn over het algemeen erg laag. Ook kunnen tijdens de bouw van geothermie projecten lage hoeveelheden stikstof uitgestoten worden.
Zoetwater eutrofiëring	0,000000000893? (species/yr) Miligram p. eq.		Geothermieprojecten kunnen zoetwater eutrofiëring veroorzaken als ze betrokken zijn bij het oppompen van warm water uit diepe ondergrondse reservoirs maar dit is niet heel gebruikelijk en scoort daarom laag. Het opgepompte water kan mineralen en zouten bevatten

Zoetwater ecotoxiciteit	0,000000000129 ? (species.yr) CTU		die in overmaat in zoetwaterbronnen terechtkomen. Dit kan leiden tot een verhoogde voedingsstoffenconcentratie in het water, wat de groei van algen en waterplanten kan stimuleren. Geothermieprojecten kunnen ook gevaarlijke chemicaliën bevatten, zoals zware metalen en andere verontreinigingen, in het opgepompte water. Deze chemicaliën kunnen bij lozing in zoetwaterbronnen leiden tot zoetwater ecotoxiciteit, wat schadelijk kan zijn voor aquatische ecosystemen en de biodiversiteit. Maar ook dit is niet erg gebruikelijk daarom scoort het relatief laag. Het is belangrijk op te merken dat de mate van impact afhangt van de specifieke geothermie-installatie, de gebruikte technologie en de zorgvuldigheid waarmee het proces wordt beheerd. Het is mogelijk om de impact op zoetwaterbronnen te minimaliseren door het waterbeheer en de behandeling van afvalwater zorgvuldig te plannen en uit te voeren.
Waternverbruik	0,198707 liter	7	Geothermie scoort laag op waternverbruik omdat het over het algemeen zeer efficiënt is wat betreft het gebruik van water in vergelijking met veel andere energiebronnen. Bij geothermische energiewinning wordt meestal een gesloten systeem gebruikt, waarbij water circuleert tussen de geothermische bron in de ondergrond en de warmtewisselaar op het oppervlak. Dit water wordt in het proces hergebruikt en steeds opnieuw in het reservoir gepomp. Zoals thermische elektriciteitscentrales die koelwater gebruiken en verdampen, heeft geothermie geen verdamping van water, waardoor het waternverbruik laag blijft.
Watertemperatuurverhoging (gebruiksfase)		?	Over het algemeen draagt geothermie niet heel erg bij aan een watertemperatuurverhoging en scoort daarom laag. Bij geothermische energie wordt warmte uit de ondergrond gewonnen en gebruikt om water of stoom te verwarmen. Het water dat wordt teruggewonnen en geloosd, heeft meestal een lichte temperatuurstijging, maar deze is doorgaans veel minder dan wat wordt gezien bij energiebronnen zoals thermische elektriciteitscentrales die koelwater gebruiken.
Landgebruik	421 ^E -09 punten	0	Op landgebruik scoort geothermie erg laag, daar er vrij weinig land nodig is voor de hoeveelheid energie die een geothermieproject kan opwekken.
Omgevingsimpact per ongeval (dichtbij)		?	Geothermie heeft een gemiddelde impact op het aspect omgevingsimpact per ongeval (dichtbij) vanwege het risico op aardbevingen in verband met sommige geothermische activiteiten. Bij sommige geothermische projecten wordt water in de ondergrond geïnjecteerd om de natuurlijke warmte te stimuleren. Deze injectie kan veranderingen in de ondergrondse druk veroorzaken en leiden tot aardbevingen, zij het meestal van lage intensiteit. Hoewel deze aardbevingen meestal klein zijn en zelden schade veroorzaken, kunnen ze nog steeds leiden tot zorgen over de omgevingsimpact en de veiligheid van mensen en eigendommen in de buurt. Aardbevingen veroorzaakt

			door geothermische activiteiten kunnen lokale schade veroorzaken, zoals scheuren in gebouwen, schade aan infrastructuur en ondergrondse leidingen. Bij geothermische projecten kunnen ook geothermische vloeistoffen, waaronder heet water en mineralen, naar het oppervlak worden gebracht. Het vrijkomen van deze vloeistoffen kan leiden tot milieuproblemen, zoals bodemvervuiling en veranderingen in de lokale hydrologie.
Minst energie efficiënt	40%	74	Geothermie scoort relatief laag op energie-efficiëntie vanwege enkele factoren zoals dat tijdens het transport van geothermisch warm water van de ondergrondse bron naar de oppervlakte, en vervolgens naar de energiecentrale, kunnen er enige warmteverliezen optreden. Geothermische systemen vereisen ook pompen om het warme water naar de oppervlakte te brengen en turbines om elektriciteit op te wekken. Deze mechanische apparatuur heeft eigen verliezen en efficiëntieverminderingen die de netto-opbrengst van de installatie verminderen. De efficiëntie van geothermische energie is sterk afhankelijk van de beschikbare geothermische bronnen op een specifieke locatie. Als de bronnen niet bijzonder heet of overvloedig zijn, kan de efficiëntie lager zijn.
Grondstofgebruik (mineralen en metalen)	0,007135 Microgram SB eq.	0	Geothermie scoort laag op grondstofgebruik (mineralen en metalen) omdat het doorgaans weinig tot geen direct gebruik maakt van delfstoffen en materialen voor de energiewinning. Wel zijn bij de bouw van geothermieprojecten grondstoffen nodig zoals staal voor de leidingen.
R-ladder (feedstock)	8 (R-ladder)	75	De score van geothermie op de R-ladder varieert afhankelijk van de specifieke locatie (geothermische reservoir) en de gebruikte techniek. Over het algemeen wordt geothermie als een deels hernieuwbare en duurzame energiebron beschouwd met ten opzichte van fossiele bronnen een hoge score op grondstofbeschikbaarheid, omdat de aarde voortdurend warmte genereert.
Bodem vermisting	810^{-09} Mol N-eq.	0	Geothermie gebruikt warmte uit de aarde, een natuurlijke en onuitputtelijke bron van energie, in plaats van uitputbare brandstoffen. Dit sluit goed aan bij het principe van Reduce, omdat het afhankelijkheid van fossiele brandstoffen vermindert.
Impact op ecosysteem		?	De locatie van het geothermische project is een belangrijke factor. Als het project plaatsvindt in een gevoelig ecosysteem, zoals een natuurgebied, kan de impact op het ecosysteem aanzienlijk zijn. Door bijvoorbeeld de veranderingen in hydrologische patronen. Bij het boren van geothermische putten en het aanleggen van leidingen kan er verstoring van de bodem optreden, wat effect kan hebben op geomorfologische aspecten en lokale ecosystemen. Sommige geothermische projecten, met name diepe geothermieprojecten, kunnen de kans op seismische activiteit vergroten, wat geomorfologische aspecten en landschapsvorming kan beïnvloeden.

Luchtkwaliteit (ziekte)	?		
Luchtkwaliteit Nox	?		
Luchtkwaliteit Sox	?		
Luchtkwaliteit NH3	?		
Luchtkwaliteit fijnstof	?		
Geuroverlast	?		
Impact per op zichzelf staande ongevallen	?		In sommige gevallen kunnen geothermische installaties risico's opleveren voor de veiligheid van werknemers en de lokale bevolking als gevolg van het vrijkomen van stoom, heet water of chemische stoffen. Echter komt het zelden voor.
Niet-kankerverwekkende effecten	?		
Kankerverwekkend effect	?		Bij geothermie worden er geen fossiele brandstoffen verbrand en de chemische vloeistoffen bevatten geen kankerverwekkende deeltjes waardoor het kankerverwekkend effect laag is.
Bestraling	?		Geothermie heeft doorgaans een laag bestralingsniveau omdat het geen nucleaire processen gebruikt en geen straling genereert zoals bij kernenergiecentrales. In geothermie wordt energie gewonnen uit de natuurlijke warmte van de aarde door het gebruik van geothermische bronnen, zoals hete ondergrondse reservoirs met water of stoom. Er is geen kernsplijting of kernfusie betrokken bij geothermie, en daarom is er geen afgifte van ioniserende straling, die typisch geassocieerd wordt met nucleaire processen.
Geluidsoverlast	?		Geothermische systemen maken gebruik van ondergrondse bronnen van warmte en vereisen geen luide mechanische bewegingen of processen zoals turbines of motoren die bij andere energiebronnen zoals windturbines of thermische elektriciteitscentrales te vinden zijn. Hierdoor is de geluidsproductie van geothermie minimaal. Daarbij werken geothermische installaties doorgaans 24/7 met een constante en stille werking, wat betekent dat er geen pieken of fluctuaties in geluidsniveaus zijn die geluidsoverlast kunnen veroorzaken.
LCOE (kosten per implementatie)	60 LCOE – USD/MWh (5%WACC)	30	Diepe geothermische bronnen vereisen doorgaans meer boorwerkzaamheden en kunnen daarom duurder zijn om toegang toe te krijgen. Ondiepe geothermische bronnen zijn over het algemeen kosten effectiever. Er zijn verschillende soorten geothermische systemen, zoals natuurlijke stoomvelden, droge stoomsystemen en heetwaterbronnen. De kosten variëren afhankelijk van het type systeem dat wordt ontwikkeld. De geologische kenmerken van de locatie hebben invloed op de kosten. Onstabiele grond, vulkanische activiteit en seismische risico's kunnen de kosten verhogen. Als er al bestaande infrastructuur is, zoals boorgaten of leidingen, kan dit de kosten verlagen.
Maatschappelijke acceptatie	?		

Factsheet Zon op dak

Zonne-energie wekt energie op door het omzetten van zonlicht in elektriciteit via zonnepanelen. Deze panelen bevatten PV cellen (fotovoltaïsche cellen) die zonlicht absorberen en de energie van de fotonen omzetten in elektrische stroom. Wanneer licht op deze cellen valt, raken elektronen in beweging, waardoor er een elektrische stroom ontstaat. De opgewekte stroom kan direct worden gebruikt of worden opgeslagen in batterijen. Het proces vereist geen verbranding van fossiele brandstoffen.

Zonne-energiesystemen kunnen op een natuurinclusieve manier worden geïntegreerd in verschillende omgevingen, zoals daken en braakliggende gronden, met minimale verstoring van de natuurlijke omgeving. Zo kunnen zonne-velden bijvoorbeeld ook dienen als ecologische verbindingzones, waardoor diersoorten van het ene natuurgebied naar het andere kunnen. Ook kan het insectenleven bevorderd worden door rondom de zonnevelden te werken met bloemrijke kruiden.



In het figuur hierboven zie je hoe zon op dak scoort op verschillende criteria.

Afweging

Zonne-energie maakt in de productiefase gebruik van een volledig hernieuwbare bron en heeft geen emissies naar lucht, water en bodem. Hier is het vooral van belang om de negatieve gevolgen van het mijnen van grondstoffen op de gezondheid van mens en milieu te verminderen. Door bijvoorbeeld zonnepanelen modulair te ontwerpen zodat de grondstoffen achteraf lokaal weer teruggewonnen kunnen (en verplicht moeten) worden. Zodat op termijn geen nieuwe grondstoffen gemijnd hoeven worden. Vanwege het landgebruik heeft een versnelling van zon op dak de voorkeur ten opzichte van zon op

land. Hiervoor kan het nodig zijn om meer daken geschikt te maken voor zonnepanelen door bijvoorbeeld eisen te stellen aan nieuw- of verbouw.

Impact op criteria

Criterium	Meting	Scoring	Uitleg
CO2 uitstoot - <i>Klimaatverandering</i> <i>(combinatie fossiel en</i> <i>landgebruik)</i>	<i>37 Gram</i> <i>CO2 eq.</i>	8	Wanneer zonnepanelen op dak worden gebruikt voor de opwek van energie dan zal er geen directe CO2 uitstoot plaatsvinden. De CO2 uitstoot die wel vrijkomt bij zonne-energie gebeurt met name tijdens de productie van de panelen; hiervoor worden grondstoffen en energie gebruikt. De impact hiervan hangt af van het type zonnepaneel, de fabrikant en de locatie de productiefaciliteiten. Met name bij het mijnen van silicium of lithium komt er een bepaalde hoeveelheid stikstof vrij.
<i>Zoetwater eutrofiering</i>	<i>39 Miligram</i> <i>p. eq.</i>	31	Zonne-energiecentrales produceren elektriciteit door zonlicht om te zetten in elektriciteit via fofovoltaïsche cellen of zonnearmtesystemen. Deze processen genereren geen voedingsstoffen of andere verontreinigende stoffen die in zoetwaterbronnen kunnen worden geloosd. Zonnepanelen worden meestal op de grond gemonteerd op een open terrein, waarbij er geen directe impact is op waterlichamen. Dit minimaliseert het risico op bodemerrosie en uitspoeling van voedingsstoffen in nabijgelegen waterwegen. Zonne-energie vereist geen water voor koeling of energieomzetting, wat in tegenstelling is tot sommige andere energiebronnen, zoals thermische elektriciteitscentrales, die grote hoeveelheden water nodig hebben en potentiële bronnen van eutrofiëring zijn.
<i>Zoetwater ecotoxiciteit</i>	<i>6,99^E-02</i> <i>CTU</i>	21	Zonne-energiecentrales genereren elektriciteit door zonlicht om te zetten in elektriciteit via fofovoltaïsche cellen of zonnearmtesystemen. Deze processen produceren geen giftige stoffen die in zoetwaterbronnen kunnen worden geloosd.
<i>Waterverbruik</i>	<i>0,63 liter</i>	25	In vergelijking met energieproductie met behulp van fossiele brandstoffen, waarbij grote hoeveelheden water worden gebruikt voor koeling (bijvoorbeeld in kolencentrales) en het ontginnen van brandstoffen, is het waterverbruik bij zonne-energie op daken aanzienlijk lager. Het is echter belangrijk om waterbesparende praktijken te volgen bij de installatie en het onderhoud van zonnepanelen om de impact op waterbronnen te minimaliseren. Het waterverbruik zien we vooral terugkomen bij de productie van zonnepanelen en de reiniging ervan.
<i>Watertemperatuurverhoging</i> <i>(gebruiksfase)</i>		?	De productie van zonne-energie zelf, dat wil zeggen het omzetten van zonlicht in elektriciteit met behulp van fofovoltaïsche (PV) zonnepanelen, leidt over het algemeen niet tot een significante verhoging van de watertemperatuur. PV-zonnepanelen absorberen zonlicht en zetten dat om in elektriciteit via halfgeleidermaterialen, maar ze veroorzaken geen aanzienlijke warmteproductie. Wat betreft zonne-warmwatersystemen, zoals zonneboilers of zonneverwarmingssystemen, leidt de specifieke

			toepassing van zonne-energie tot een verhoging van de watertemperatuur, maar dit gebeurt lokaal in het systeem en heeft meestal geen merkbare invloed op natuurlijke waterbronnen of het milieu als geheel. De zonnecollectoren in deze systemen vangen zonlicht op en gebruiken het om een warmtetransportvloeistof op te warmen of direct water te verwarmen voor huishoudelijk gebruik. Deze systemen zijn ontworpen om de watertemperatuur te verhogen voor specifieke toepassingen, zoals warm water voor douches of huishoudelijke taken. Hoewel dit proces tot een temperatuurstijging kan leiden, is het meestal lokaal en beperkt tot het huishoudelijke gebruik van de warmte. Het heeft geen invloed op natuurlijke waterlichamen zoals rivieren, meren of oceanen.
Landgebruik	0,86 punten	45	In principe heeft zon op dak geen directe invloed op het landgebruik. Over het algemeen kunnen zonnepanelen op daken een efficiënte en ruimtebesparende manier zijn om zonne-energie te benutten, waardoor de druk op het landgebruik wordt verminderd in vergelijking met andere vormen van zonne-energie-installaties, zoals zonneparken op de grond.
Omgevingsimpact per ongeval (dichtbij)	10	?	Een van de mogelijke gevaren van een ongeval met zonnepanelen is het risico op brand. Zonnepanelen kunnen elektriciteit genereren, en als er een elektrische storing optreedt als gevolg van een ongeval, kan er brand ontstaan. Brand kan leiden tot schade aan de gebouwde omgeving en in sommige gevallen tot luchtvervuiling door de vrijkoming van verbrandingsgassen. Zonnepanelen zelf bevatten doorgaans geen gevaarlijke materialen. Ze bestaan voornamelijk uit silicium, metalen en kunststoffen. Echter, als er tijdens een ongeval schade aan de zonnepanelen optreedt, kunnen mogelijk verontreinigde materialen in het milieu terechtkomen.
Energie efficiëntie	22 %	100	Zonnepanelen, of fotovoltaïsche (PV) panelen, zetten zonlicht om in elektriciteit met behulp van halfgeleidermaterialen. Moderne zonnepanelen hebben een efficiëntie van ongeveer 15% tot 22%, wat betekent dat ze ongeveer 15% tot 22% van het invallende zonlicht kunnen omzetten in elektrische energie. De hoeveelheid zonne-energie die een zonnestelsel op een dak kan produceren, is sterk afhankelijk van de lokale zoninstraling. Plaatsen met meer zonneschijn gedurende het jaar hebben over het algemeen een hogere energie-efficiëntie voor zonne-energie. De oriëntatie en helling van de zonnepanelen op het dak zijn van invloed op hun energie-efficiëntie. Optimaal is het om de panelen naar het zuiden te richten (op het noordelijk halfrond) en onder een hoek die overeenkomt met de breedtegraad van de locatie. Schaduw op de zonnepanelen kan de efficiëntie aanzienlijk verminderen. Zelfs een klein beetje schaduw op een paneel kan de totale energieopbrengst verminderen.
Grondstofgebruik (mineralen en metalen)	7200 Microgram SB eq.	100	Zonnepanelen op daken bevatten verschillende mineralen en metalen. De belangrijkste materialen die in zonnepanelen worden gebruikt, zijn silicium, lithium, aluminium en koper, met kleine hoeveelheden van andere materialen zoals zilver en lood.

			Over het algemeen zijn zonnepanelenontwerpen en -productieprocessen gericht op het minimaliseren van de impact op schaarse grondstoffen. Silicium is de meest gebruikte grondstof in zonnepanelen, maar het is wijdverspreid en overvloedig beschikbaar. Daarnaast is er een groeiende trend naar recyclage van zonnepanelen aan het einde van hun levensduur om materialen terug te winnen en afval te verminderen. Er worden voortdurende inspanningen geleverd om zonnepanelen duurzamer te maken en de afhankelijkheid van zeldzame grondstoffen te verminderen.
Grondstofbeschikbaarheid (R-ladder feedstock)	2 R-ladder	0	De zon, als basis grondstof, is oneindig en altijd beschikbaar. Echter zijn er voor de bouw van zonnepanelen verschillende grondstoffen nodig die wel eindig zijn. De grondstofbeschikbaarheid voor zonnepanelen op daken is in het algemeen ruim voldoende en er zijn geen directe zorgen over de beschikbaarheid van de belangrijkste grondstoffen (lithium, silicium) op korte termijn. Het is alleen natuurlijk niet te bedoeling dat deze grondstoffen volledig uitgeput worden; zo wordt er momenteel ook flink ingezet op recycling van bestaande materialen.
Bodem vermesting	$5,10^{\text{E}}-04 \text{ Mol N-eq.}$	68	Zonnepanelen op daken hebben over het algemeen weinig tot geen directe invloed op bodemvermesting daar er geen bodemverstoring optreedt: er vinden bijvoorbeeld beperkt tot geen graafwerkzaamheden plaats, en er wordt geen gebruik gemaakt van kunstmest. Ook kunnen zonnepanelen zo ontworpen worden om regenwater op te vangen en te hergebruiken, wat voorkomt dat regenwater voedingsstoffen en verontreiniging uit de omgeving naar nabijgelegen waterlichamen transporteert. De bodemvermesting effecten vinden dus primair in de productiefase plaats.
Impact op ecosysteem (globaal)	0,43 punten per MWh	36	Het installeren van zon op dak kan een positieve impact op het ecosysteem hebben. Er komt namelijk weer minder CO ₂ in de atmosfeer; zonnepanelen op daken gebruiken ongebruikte ruimte waardoor de druk op ecosystemen wordt verminderd; er vindt geen grootschalige grondverstoring plaats; de behoefte aan langeafstand transport van energie wordt verminderd omdat het lokaal wordt opgewekt.
Luchtkwaliteit (ziekte)	$2,32^{\text{E}}-09$ ziekte incidenten	100	De impact op de luchtkwaliteit van zonnepanelen die op daken worden geïnstalleerd, is over het algemeen minimaal en positief, omdat zonne-energie een schone en hernieuwbare energiebron is die geen directe uitstoot van luchtverontreinigende stoffen veroorzaakt tijdens de elektriciteitsopwekking. In ontwikkelde landen, waar zonnepanelen vaak op daken worden geïnstalleerd, draagt dit bij aan een verbetering van de luchtkwaliteit door de vermindering van de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen. Echter, de fabricage van zonnepanelen en de winning van grondstoffen die nodig zijn voor de productie ervan, kunnen in sommige landen een negatieve impact hebben op de luchtkwaliteit. De winning van mineralen zoals silicium, dat wordt gebruikt in de productie van zonnecellen, kan leiden tot bodemerosie, stofemissies en de verspreiding van fijne

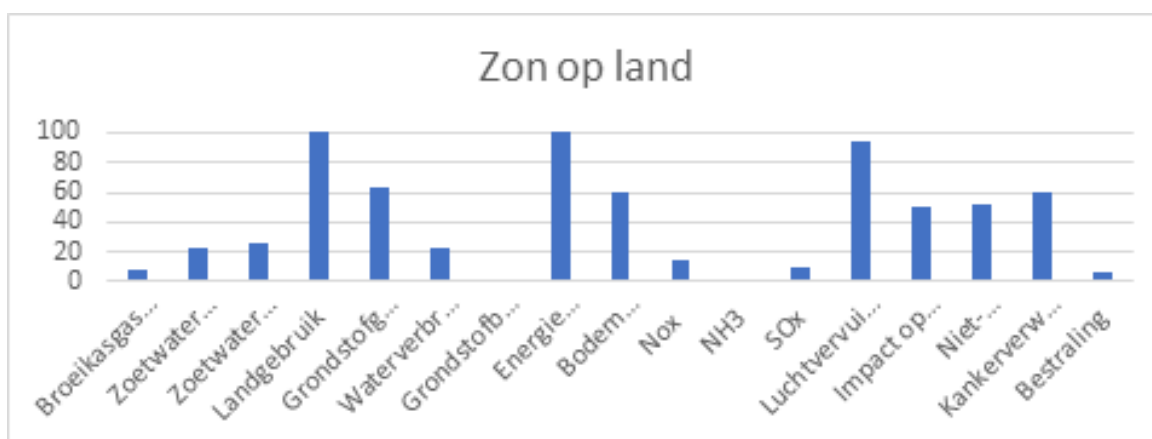
			deeltjes in de lucht. Deze deeltjes kunnen de luchtkwaliteit negatief beïnvloeden en gezondheidsrisico's met zich meebrengen voor de mijnwerkers en de omringende gemeenschappen. De productie van zonnecellen en zonnepanelen kan gepaard gaan met het gebruik van chemicaliën en energie-intensieve processen, wat kan leiden tot emissies van luchtverontreinigende stoffen. Hoewel de luchtkwaliteitseffecten in derdewereldlanden waar grondstoffen worden gewonnen voor zonnepanelen aandachtspunten kunnen zijn, is het belangrijk op te merken dat deze effecten vaak kleinschaliger en meer lokaal van aard zijn dan de grootschalige luchtvervuiling geassocieerd met fossiele brandstoffen. Bovendien zijn er inspanningen om milieuvriendelijke mijnbouw- en productiemethoden te bevorderen, evenals om de duurzaamheid van de zonne-energieketen te verbeteren. Zonne-energie verlaagt de uitstoot van luchtvervuilende stoffen, wat het risico op ziekten zoals astma en longziekten vermindert.
Luchtkwaliteit NOx	0,19 g/kWh	43	
Luchtkwaliteit SOx	0,44	9	
Luchtkwaliteit NH3	0,005	0	Zonne-energie heeft weinig directe invloed op NH3, omdat deze uitstoot voornamelijk afkomstig is van landbouw en van de bewerking (verbranding/vergisting/etc.) van biomassa.
Luchtkwaliteit fijnstof	0,03	?	
Geuroverlast			
Impact per op zichzelfstaande ongevallen	1		De installatie van zonnepanelen op daken kan de integriteit van het dak beïnvloeden, vooral als deze niet correct wordt uitgevoerd. Een slechte installatie kan leiden tot lekken en schade aan het dak. Het is essentieel dat de installatie wordt uitgevoerd volgens de geldende normen en dat de dakstructuur geschikt is om het extra gewicht van de panelen te dragen. Er bestaat altijd een kans op brand, hoewel deze over het algemeen laag is. Zonnepanelen zijn ontworpen om vlamverspreiding te voorkomen en te weerstaan. Brandveiligheidsmaatregelen, zoals het correct ontwerp en de installatie van zonnepanelen, het gebruik van kwaliteitsmaterialen en regelmatig onderhoud, kunnen het risico op brand minimaliseren. Zonnepanelen genereren elektriciteit, en het is belangrijk dat de elektrische systemen veilig worden ontworpen en geïnstalleerd. Dit omvat het gebruik van de juiste bedrading, omvormers en beveiligingsvoorzieningen om elektrische schokken te voorkomen. Tijdens installatie en onderhoud moeten installateurs en onderhoudspersoneel passende valbeveiligingsmaatregelen nemen, omdat werken op hoogte gevaarlijk kan zijn. Het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen en veiligheidstraining is essentieel om ongevallen te voorkomen.
Niet-kankerverwekkende effecten	1,38 ^E -08 CTUh	1	
Kankerverwekkend effect	1,6 Micro CTUh	21	Het installeren van zonnepanelen op daken heeft over het algemeen geen direct verband met kankerverwekkende

			effecten. Zonnepanelen zijn vervaardigd uit materialen zoals silicium, metalen en kunststoffen, die geen bekende kankerverwekkende eigenschappen hebben. Het productieproces van zonnepanelen kan chemische stoffen en afvalstoffen genereren. Sommige van deze chemicaliën kunnen potentiële gezondheidsrisico's opleveren voor werknemers in fabrieken waar zonnepanelen worden vervaardigd.
Bestraling	9,8 gram U eq.	7	Zonnestraling, ook wel bekend als zonlicht of zonneshijn, verwijst naar de elektromagnetische straling die wordt uitgezonden door de zon en de aarde bereikt. Deze straling bestaat uit verschillende componenten, waaronder zichtbaar licht, infraroodstraling en ultraviolette straling. Wanneer we praten over zonnestraling op een dak in de context van zonne-energie, verwijst dit meestal naar de energie die wordt opgevangen door zonnepanelen of zonnecollectoren op het dak om elektriciteit te genereren of water te verwarmen. Dit brengt geen gezondheid of veiligheid risico's met zich mee.
Geluidsoverlast		?	
Kosten per implementatie (LCOE)	70 LCOE - USD/MwH (5%WACC)	44	Over het algemeen worden zonnepanelen op daken beschouwd als een kosteneffectieve manier om zonne-energie op te wekken, en de kosten zijn in veel gevallen relatief laag in vergelijking met andere vormen van zonne-energieopwekking. De locatie van het dak, de hellingshoek en de oriëntatie ten opzichte van de zon zijn belangrijke factoren die de efficiëntie en kosten van het systeem kunnen beïnvloeden. In sommige regio's zijn er financiële prikkels, belastingvoordelen en subsidies beschikbaar voor bedrijven en individuen om de kosten van zonne-energiesystemen te verlagen.
Maatschappelijke acceptatie			

Factsheet Zon op land

Zonne-energie wekt energie op door het omzetten van zonlicht in elektriciteit via zonnepanelen. Deze panelen bevatten PV cellen (fotovoltaïsche cellen) die zonlicht absorberen en de energie van de fotonen omzetten in elektrische stroom. Wanneer licht op deze cellen valt, raken elektronen in beweging, waardoor er een elektrische stroom ontstaat. De opgewekte stroom kan direct worden gebruikt of worden opgeslagen in batterijen. Het proces vereist geen verbranding van fossiele brandstoffen.

Zonne-energiesystemen kunnen op een natuurinclusieve manier worden geïntegreerd in verschillende omgevingen, zoals daken en braakliggende gronden, met minimale verstoring van de natuurlijke omgeving. Zo kunnen zonne-velden bijvoorbeeld ook dienen als ecologische verbindingzones, waardoor diersoorten van het ene natuurgebied naar het andere kunnen. Ook kan het insectenleven bevorderd worden door rondom de zonnevelden te werken met bloemrijke kruiden.



In het figuur hierboven zie je hoe zon op land scoort op verschillende criteria.

Afweging

Zonne-energie maakt in de productiefase gebruik van een volledig hernieuwbare bron en heeft geen emissies naar lucht, water en bodem. Hier is het vooral van belang om de negatieve gevolgen van het mijnen van grondstoffen op de gezondheid van mens en milieu te verminderen. Door bijvoorbeeld zonnepanelen modulair te ontwerpen zodat de grondstoffen achteraf lokaal weer teruggewonnen kunnen (en verplicht moeten) worden. Zodat op termijn geen nieuwe grondstoffen gemijnd hoeven worden. Vanwege het landgebruik heeft een versnelling van zon op dak de voorkeur ten opzichte van zon op land. Hiervoor kan het nodig zijn om meer daken geschikt te maken voor zonnepanelen door bijvoorbeeld eisen te stellen aan nieuw- of verbouw. Voor zon op land zou een voorkeursladder moeten gelden afhankelijk van het huidige landgebruik.

Impact op criteria

Criterium	Meting	Scoring	Uitleg
CO2 uitstoot – Klimaatverandering (combinatie fossiel en landgebruik)	37 Gram CO2 eq.	8	Wanneer zonnepanelen op land worden gebruikt voor de opwek van energie dan zal er geen directe CO2 uitstoot plaatsvinden. De CO2 uitstoot die wel vrijkomt bij zonne-energie gebeurt met name tijdens de productie van de panelen; hiervoor worden grondstoffen en energie gebruikt. De impact hiervan hangt af van het type zonnepaneel, de fabrikant en de locatie de productiefaciliteiten. Met name bij het mijnen van silicium of lithium komt er een bepaalde hoeveelheid stikstof vrij.
Zoetwater eutrofiering	28 Miligram p. eq.	22	Zonnevelden zelf dragen over het algemeen niet significant bij aan de toevoer van voedingsstoffen naar zoetwaterlichamen. De potentiële invloed van zonnevelden op zoetwatereutrofiëring kan indirect zijn en afhangen van factoren zoals de locatie, het ontwerp en de milieubeheersmaatregelen die worden toegepast. Bijvoorbeeld, als zonnevelden worden aangelegd in de buurt van waterlichamen en onvoldoende maatregelen worden genomen om erosie en afspoeling van regenwater te voorkomen, kunnen ze indirect bijdragen aan eutrofiëring door bodemerosie en afvoer van sediment en voedingsstoffen naar het water.
Zoetwater ecotoxiciteit	7,92 ^E -02 CTU	25	Zonnevelden vereisen over het algemeen minder water voor hun werking in vergelijking met thermische energiecentrales, zoals kolengestookte of kerncentrales. Minder wateronttrekking vermindert het risico van het wegnemen van belangrijke zoetwaterbronnen voor ecologische systemen. Hoewel de directe ecotoxiciteit van zonnevelden over het algemeen laag is, is het belangrijk op te merken dat er aspecten van de bouw en exploitatie zijn die enige milieubelasting met zich mee kunnen brengen, zoals de productie van zonnepanelen, grondgebruik, afvoer van regenwater, en mogelijkheid van chemische lekkages uit zonnepanelen of omvormers.
WATERVERBRUIK	0,58 liter	23	Het waterverbruik van zonnevelden (zon-op-landprojecten) is over het algemeen laag in vergelijking met sommige andere vormen van energieopwekking. Om de efficiëntie van zonnepanelen te behouden, is periodieke reiniging vereist om stof, vuil en aanslag te verwijderen. Hoewel dit waterverbruik over het algemeen relatief laag is, kan het bij grote zonnevelden en in droge gebieden een impact hebben. Sommige exploitanten gebruiken echter milieuvriendelijke reinigingsmethoden en hergebruiken water om verspilling te minimaliseren. Sommige zonnevelden gebruiken grondwater voor de koeling van omvormers, die de opgewekte gelijkstroom omzetten in wisselstroom. Dit kan leiden tot een beperkt waterverbruik. De afvoer van regenwater en afvoer van het zonneveld moeten worden beheerd om erosie en afvoer van sediment en voedingsstoffen naar nabijgelegen waterlichamen te voorkomen. Dit kan onder andere het gebruik van regenwateropvangsystemen omvatten. In sommige gevallen kunnen zonnevelden de beschikbaarheid van

			water in de bodem beïnvloeden. Als zonnepanelen de bodem volledig bedekken, kan dit leiden tot een verminderde verdamping en vochtretentie in de bodem, wat gevolgen kan hebben voor de lokale vegetatie.
Watertemperatuurverhoging (gebruiksfase)	?		De productie van zonne-energie zelf, dat wil zeggen het omzetten van zonlicht in elektriciteit met behulp van fotovoltaïsche (PV) zonnepanelen, leidt over het algemeen niet tot een significante verhoging van de watertemperatuur. PV-zonnepanelen absorberen zonlicht en zetten dat om in elektriciteit via halfgeleidermaterialen, maar ze veroorzaken geen aanzienlijke warmteproductie. Wat betreft zonne-warmwatersystemen, zoals zonneboilers of zonneverwarmingssystemen, leidt de specifieke toepassing van zonne-energie tot een verhoging van de watertemperatuur, maar dit gebeurt lokaal in het systeem en heeft meestal geen merkbare invloed op natuurlijke waterbronnen of het milieu als geheel. De zonnecollectoren in deze systemen vangen zonlicht op en gebruiken het om een warmtetransportvloeistof op te warmen of direct water te verwarmen voor huishoudelijk gebruik. Deze systemen zijn ontworpen om de watertemperatuur te verhogen voor specifieke toepassingen, zoals warm water voor douches of huishoudelijke taken. Hoewel dit proces tot een temperatuurstijging kan leiden, is het meestal lokaal en beperkt tot het huishoudelijke gebruik van de warmte. Het heeft geen invloed op natuurlijke waterlichamen zoals rivieren, meren of oceanen.
Landgebruik	1,9 punten	100	Zonnepanelen hebben een hoge energiedichtheid, wat betekent dat ze veel elektriciteit kunnen genereren per vierkante meter zonnepaneeloppervlak. Moderne zonnepanelen hebben een efficiëntie die zich in de range van 15% tot 20% of meer bevindt, wat betekent dat ze een aanzienlijke hoeveelheid elektriciteit kunnen produceren op een relatief klein oppervlak. Zonnenvelden kunnen vaak worden geïntegreerd in bestaand landgebruik, zoals braakliggende terreinen of industrieterreinen. Hierdoor kunnen ze landbouwgrond of natuurlijke habitats sparen, wat bijdraagt aan de beperking van de aantasting van de natuur. Zonnenvelden kunnen op locaties worden geïnstalleerd die eerder vervuild waren of een industrieel verleden hebben, waardoor de herontwikkeling van dergelijke gebieden mogelijk wordt. In vergelijking met veel andere vormen van energieopwekking, zoals kolencentrales of grootschalige windturbineparken, vereisen zonnenvelden doorgaans minder ruimte per eenheid opgewekte energie.
Omgevingsimpact per ongeval (dichtbij)	?		De impact ongevallen bij zonnenvelden (zon-op-landprojecten) kan variëren afhankelijk van de aard en de omvang van het ongeval, de locatie van het zonnenveld, de aanwezige veiligheidsmaatregelen en de reactietijd van de betrokken partijen. Hier zijn enkele mogelijke scenario's en de impact van dergelijke ongevallen: Een van de meest voorkomende ongevallen bij zonnenvelden is brand, vaak als gevolg van technische storingen of kortsluiting in de elektrische installatie. De impact van een brand kan variëren van lokale schade aan een klein deel van het

			zonneveld tot grootschalige branden die grote delen van het zonneveld kunnen vernietigen. Branden kunnen leiden tot verlies van eigendom, economische kosten, en mogelijke milieuschade, afhankelijk van de aanwezigheid van brandbare materialen in de directe omgeving. Bij onvoldoende beveiligingsmaatregelen kunnen medewerkers of onderhoudspersoneel in aanraking komen met elektrische installaties, wat kan resulteren in elektrische schokken. Afhankelijk van de ernst van de schok en de snelheid van medische hulp, kan de impact variëren van tijdelijke verwondingen tot ernstige en permanente gezondheidsschade. Zonnenvelden kunnen bepaalde chemische stoffen bevatten, zoals koelmiddelen in omvormers. Een lekkage van deze stoffen kan leiden tot milieurisico's, met name als ze in de bodem of nabijgelegen waterlichamen terechtkomen. Ongevallen kunnen ook een ecologische impact hebben, zoals het verstoren van lokale flora en fauna. Bijvoorbeeld, het overmatige gebruik van pesticiden om vegetatie te beheersen kan nadelige effecten hebben op inheemse biodiversiteit. Onjuiste bodembeheersing tijdens de bouw of het onderhoud van een zonneveld kan leiden tot bodemerosie en afvoer van sediment in nabijgelegen waterwegen, wat de waterkwaliteit kan aantasten.
Energie efficiëntie	22 %	100	Zonnepanelen op het land zetten zonlicht om in elektriciteit met behulp van fotovoltaïsche (PV) cellen. De efficiëntie van moderne zonnepanelen op het land varieert meestal tussen 15% en 22%. Dit betekent dat ze ongeveer 15% tot 22% van het invallende zonlicht kunnen omzetten in elektrische energie. Net als bij zonnepanelen op daken is de hoeveelheid zonne-energie die een zonne-energiesysteem op het land kan genereren sterk afhankelijk van de lokale zoninstraling. Plaatsen met meer zonneschijn gedurende het jaar hebben over het algemeen een hogere energie-efficiëntie voor zonne-energie. De oriëntatie en helling van de zonnepanelen in zonneparken zijn van invloed op hun energie-efficiëntie. De optimale opstelling is meestal gericht op het zuiden en onder een hoek die overeenkomt met de breedtegraad van de locatie. Schaduw op de zonnepanelen kan de efficiëntie aanzienlijk verminderen. Het is belangrijk om eventuele schaduwbronnen te minimaliseren om de prestaties van het zonne-energiesysteem te optimaliseren.
Grondstofgebruik (mineralen en metalen)	4500 Microgram SB eq.	62	Zonnepanelen bevatten verschillende mineralen en metalen. De belangrijkste materialen die in zonnepanelen worden gebruikt, zijn silicium, lithium, aluminium en koper, met kleine hoeveelheden van andere materialen zoals zilver en lood. Over het algemeen zijn zonnepanelenontwerpen en -productieprocessen gericht op het minimaliseren van de impact op schaarse grondstoffen. Silicium is de meest gebruikte grondstof in zonnepanelen, maar het is wijdverspreid en overvloedig beschikbaar. Daarnaast is er een groeiende trend naar recyclage van zonnepanelen aan het einde van hun levensduur om materialen terug te winnen en afval te verminderen. Er worden voortdurende inspanningen geleverd om zonnepanelen duurzamer te

			maken en de afhankelijkheid van zeldzame grondstoffen te verminderen.
Grondstofbeschikbaarheid (R-ladder feedstock)	2 R-ladder	0	De zon, als basis grondstof, is oneindig en altijd beschikbaar. Echter zijn er voor de bouw van zonnepanelen verschillende grondstoffen nodig die wel eindig zijn. De grondstofbeschikbaarheid voor zonnepanelen op land is in het algemeen voldoende en er zijn geen directe zorgen over de beschikbaarheid van de belangrijkste grondstoffen (lithium, silicium) op korte termijn. Het is alleen natuurlijk niet te bedoeling dat deze grondstoffen volledig uitgeput worden; zo wordt er momenteel ook flink ingezet op recycling van bestaande materialen.
Bodem vermesting	4,48 ^E -04 Mol N-eq.	60	Zonnepanelen worden meestal op de grond gemonteerd op open terreinen. Omdat zonne-energieprojecten meestal een relatief kleine oppervlakte in beslag nemen, is er weinig directe impact op de bodem en vegetatie. De installatie van zonnepanelen impliceert meestal het plaatsen van palen of steunstructuren in de grond. Deze structuren hebben over het algemeen een beperkte invloed op de bodem, en er wordt doorgaans rekening gehouden met de ecologische en bodemomstandigheden tijdens het installatieproces. In sommige gevallen wordt het gebied onder en rond zonnepanelen gebruikt voor grasbegroeiing of bodembedekking om erosie te voorkomen en de bodem te beschermen. Dit kan juist bijdragen aan bodembescherming. Zonne-energiegeneratie produceert geen verontreinigende stoffen die in de bodem kunnen lekken of de bodemkwaliteit kunnen aantasten.
Impact op ecosysteem (globaal)	0,76 punten per MWh	50	In vergelijking met mijnbouw of de bouw van grote energiecentrales vereist de ontwikkeling van zonnevelden doorgaans minder fysieke verstoring van het land. Zonnepanelen worden meestal op de grond geplaatst en laten de bestaande vegetatie en flora in de omgeving grotendeels onaangetast. Zonnevelden kunnen vaak worden geïntegreerd in bestaand landgebruik, zoals industrieterreinen of braakliggende terreinen. Hierdoor wordt de aantasting van natuurlijke habitats en biodiversiteit geminimaliseerd. Sommige zonneveldprojecten omvatten maatregelen om de biodiversiteit te beschermen en te bevorderen, zoals het planten van inheemse vegetatie en de aanleg van bloemrijke zones om insecten en bestuivers aan te trekken. Zonnevelden kunnen flexibel worden geplaatst en kunnen in sommige gevallen co-bestaan met andere landgebruiksfuncties, zoals landbouw, grazend vee of natuurbehoudsgebieden. Ondanks deze voordelen is het belangrijk op te merken dat de impact van zonne-energie op landgebruik en ecosystemen niet volledig afwezig is. Sommige grote zonnevelden kunnen aantrekkelijk zijn voor vogels, vooral als de installaties lijken op wateroppervlakken. Dit kan leiden tot mogelijke botsingen en overlast voor vogels. Aan de andere kant kunnen sommige insecten profiteren van de beschutting en microklimaten die door zonnepanelen worden geboden.

Luchtkwaliteit (ziekte)	2,21 ^E -09 ziekte incidenten	94	De impact op de luchtkwaliteit van zonnepanelen die op land worden geïnstalleerd, is over het algemeen minimaal en positief, omdat zonne-energie een schone en hernieuwbare energiebron is die geen directe uitstoot van luchtverontreinigende stoffen veroorzaakt tijdens de elektriciteitsopwekking. In ontwikkelde landen, waar zonnepanelen vaak op daken worden geïnstalleerd, draagt dit bij aan een verbetering van de luchtkwaliteit door de vermindering van de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen. Echter, de fabricage van zonnepanelen en de winning van grondstoffen die nodig zijn voor de productie ervan, kunnen in sommige landen een negatieve impact hebben op de luchtkwaliteit. De winning van mineralen zoals silicium, dat wordt gebruikt in de productie van zonnecellen, kan leiden tot bodemerosie, stofemissies en de verspreiding van fijne deeltjes in de lucht. Deze deeltjes kunnen de luchtkwaliteit negatief beïnvloeden en gezondheidsrisico's met zich meebrengen voor de mijnwerkers en de omringende gemeenschappen. De productie van zonnecellen en zonnepanelen kan gepaard gaan met het gebruik van chemicaliën en energie-intensieve processen, wat kan leiden tot emissies van luchtverontreinigende stoffen. Hoewel de luchtkwaliteitseffecten in derdewereldlanden waar grondstoffen worden gewonnen voor zonnepanelen aandachtspunten kunnen zijn, is het belangrijk op te merken dat deze effecten vaak kleinschaliger en meer lokaal van aard zijn dan de grootschalige luchtvervuiling geassocieerd met fossiele brandstoffen. Bovendien zijn er inspanningen om milieuvriendelijke mijnbouw- en productiemethoden te bevorderen, evenals om de duurzaamheid van de zonne-energieketen te verbeteren.
Luchtkwaliteit NOx	0,19 g/kWh	14	Zonnepanelen verminderen de behoefte aan elektriciteit uit fossiele bronnen, wat leidt tot minder NOx-uitstoot. NOx draagt bij aan smog en luchtwegaandoeningen.
Luchtkwaliteit SOx	0,44	9	SOx-uitstoot, die afkomstig is van steenkool en oliecentrales, wordt eveneens verminderd, wat verzuring van de lucht en schade aan longen vermindert.
Luchtkwaliteit NH3	0,005	0	Zonne-energie heeft weinig directe invloed op NH3, omdat deze uitstoot voornamelijk afkomstig is van landbouw, maar het draagt indirect bij aan de verbetering van de algehele luchtkwaliteit.
Luchtkwaliteit fijnstof	0,03	?	Door de lagere emissies van fossiele brandstoffen wordt ook de hoeveelheid fijnstof (PM2.5 en PM10) verminderd, wat belangrijk is voor de volksgezondheid, aangezien fijnstof diep in de longen kan doordringen en schadelijk kan zijn.
Geuroverlast		?	
Impact per op zichzelf staande ongevallen		?	Zonnepanelen genereren elektriciteit, wat betekent dat werknemers het risico lopen op elektrische schokken als ze niet de juiste veiligheidsprocedures volgen. Het correct installeren van de elektrische bekabeling en het voldoen aan de veiligheidsnormen is essentieel om elektrische risico's te minimaliseren. In sommige gevallen kunnen chemische stoffen worden gebruikt bij de installatie, zoals afdichtmiddelen of lijmen. Werknemers moeten op de

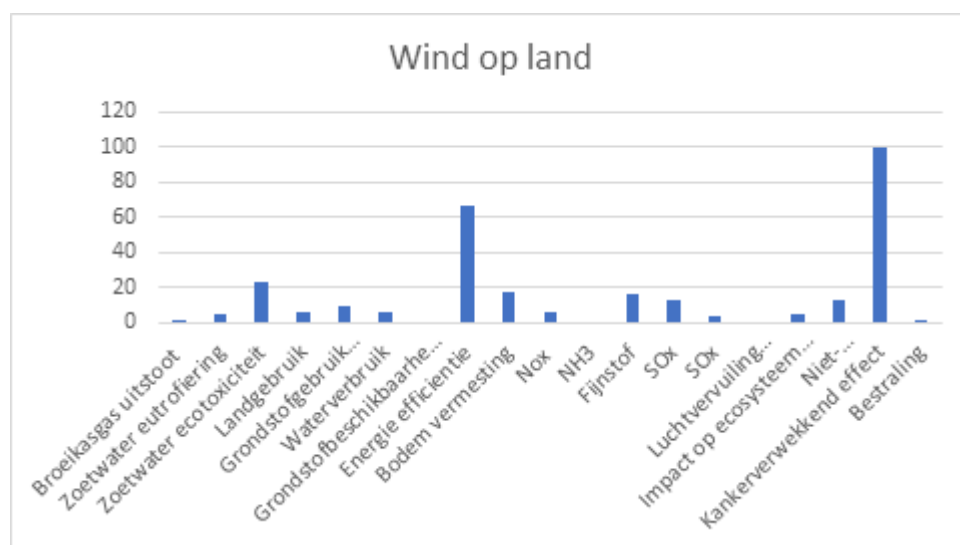
			hoogte zijn van de risico's en de juiste beschermingsmiddelen gebruiken.
Niet-kankerverwekkende effecten	7,83 ^E -09 CTUh	50	
Kankerverwekkend effect	4,1 Micro CTUh	52	Het installeren van zonnepanelen op daken heeft over het algemeen geen direct verband met kankerverwekkende effecten. Zonnepanelen zijn vervaardigd uit materialen zoals silicium, metalen en kunststoffen, die geen bekende kankerverwekkende eigenschappen hebben. Het productieproces van zonnepanelen kan chemische stoffen en afvalstoffen genereren. Sommige van deze chemicaliën kunnen potentiële gezondheidsrisico's opleveren voor werknemers in fabrieken waar zonnepanelen worden vervaardigd.
Bestraling	9,1 gram U eq.	7	Zonnestraling, ook wel bekend als zonlicht of zonneschijn, verwijst naar de elektromagnetische straling die wordt uitgezonden door de zon en de aarde bereikt. Deze straling bestaat uit verschillende componenten, waaronder zichtbaar licht, infraroodstraling en ultraviolette straling. Wanneer we praten over zonnestraling op een dak in de context van zonne-energie, verwijst dit meestal naar de energie die wordt opgevangen door zonnepanelen of zonnecollectoren op het dak om elektriciteit te genereren of water te verwarmen. Dit brengt geen gezondheid of veiligheid risico's met zich mee.
Geluidsoverlast			?
Kosten per implementatie (LCOE)	70 LCOE - EUR/MWh (5%WACC)	44	Over het algemeen kunnen de kosten van zonnepanelen op land lager zijn dan bij sommige andere vormen van grootschalige energieproductie, zoals kernenergie of sommige vormen van hernieuwbare energie. De locatie van het project heeft invloed op de kosten. Factoren zoals de zoninstraling, de beschikbaarheid van land, de afstand tot het elektriciteitsnet en de toegang tot infrastructuur kunnen van invloed zijn op de totale kosten. De kosten kunnen variëren afhankelijk van de staat van de grond en de voorbereiding die nodig is voor de installatie van de zonnepanelen. De kosten van de aansluiting op het elektriciteitsnet en de bouw van transmissielijnen kunnen variëren.
Maatschappelijke acceptatie			

Factsheet Wind op land

Windenergie is een vorm van hernieuwbare energie die wordt opgewekt door de kinetische energie van de wind om te zetten in elektriciteit. Dit wordt meestal gedaan met behulp van windturbines die zich op het land of in zee bevinden.

Windenergie maakt gebruik van de beweging van de lucht, die hernieuwbaar is. Het vereist geen verbranding van fossiele brandstoffen. De grondstoffen die gebruikt worden voor de bouw van windmolens zijn met name ijzererts, bauxiet, neodymium en koper. Dit zijn geen hernieuwbare bronnen.

Windturbines kunnen op een natuurinclusieve manier worden geplaatst, met minimale verstoring van het omliggende landschap. Dit kan worden bereikt door geschikte locaties te kiezen en rekening te houden met de biodiversiteit.



In het figuur hierboven zie je hoe wind op land scoort op verschillende criteria.

Afweging

Omdat de meeste emissies naar lucht, bodem en water bij windenergie plaatsvinden in de constructiefase, is het belangrijk om in het ontwerp hiermee rekening te houden (modulair bouwen en aandacht voor ontmanteling). Voor de locatie van windturbines geldt vooral dat een gepaste afstand tot gevoelige objecten (woningen, scholen, zorginstellingen, etc.), hoogspanningsleidingen, trilling gevoelige infrastructuur (bijv. Einstein telescope) en vliegroutes (van hoogvliegers zoals de buizerd, rosse vleermuis, etc) nodig is.

Een uitdaging voor de toekomst is om geschikte locaties te vinden voor windturbines én de ruimte onder de turbines meervoudig zinvol in te zetten zodat zij bijdragen aan het landschap, de biodiversiteit en klimaatadaptatie.

Impact op criteria

Criterium	Meting	Scoring	Uitleg
CO2 uitstoot - <i>Klimaatverandering</i> (combinatie fossiel en landgebruik)	12 Gram CO2 eq.	2	Over het algemeen heeft windenergie geen hoge CO2 uitstoot, de CO2-uitstoot die verband houdt met windenergie is voornamelijk gerelateerd aan de productie, installatie en het onderhoud van de turbines. Deze uitstoot is echter aanzienlijk lager dan de uitstoot die wordt gegenereerd door fossiele brandstoffen zoals kolen, olie en aardgas. Eenmaal operationeel veroorzaken windturbines geen directe CO2-uitstoot, omdat ze elektriciteit opwekken door gebruik te maken van de beweging van de wind om een generator aan te drijven. Hierdoor verminderen ze de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen voor elektriciteitsopwekking, wat leidt tot een vermindering van de broeikasgasemissies en klimaatverandering.
<i>Zoetwater eutrofiering</i>	6,7 Miligram p. eq.	4	Windenergie heeft over het algemeen geen directe impact op zoetwater eutrofiëring. Wel kunnen windmolens indirect effecten hebben op het milieu. Zo kunnen er tijdens de bouw en exploitatie van een windturbine activiteiten plaatsvinden zoals het aanleggen van toegangswegen, het storten van de fundering en onderhoud van de turbines welke de bodem en daarmee ook het water zouden kunnen beïnvloeden. Deze effecten kunnen tegengegaan worden door middel van het implementeren van bijvoorbeeld erosiebeheersing, waterbehandeling en het inzetten van monitoringsprogramma's rondom waterkwaliteit.
<i>Zoetwater ecotoxiciteit</i>	7,48 ^E -02 CTU	23	Windenergie heeft op het gebied van zoetwater ecotoxiciteit zoals ook bij zoetwater eutrofiering geen directe impact. Windturbines zelf stoten geen verontreinigende stoffen uit in zoetwaterlichamen. Windenergie genereert geen giftig afval of bijproducten die in zoetwater terechtkomen. Er zijn geen asresten, verontreinigd water of chemische stoffen die worden geproduceerd door windturbines die het zoetwater kunnen vervuilen.
<i>Waterverbruik</i>	0,18 liter	6	Windenergie verbruikt op zichzelf relatief weinig water, in vergelijking met fossiele brandstoffen. Het water wat gebruikt wordt zal met name nodig zijn tijdens de fabricage, onderhoud, reiniging en infrastructuurontwikkeling. De relatief lage waterbehoefte van windenergie is een van de voordelen van deze hernieuwbare energiebron als het gaat om waterbehoud en vermindering van de impact op zoetwaterbronnen.
<i>Watertemperatuurverhoging</i> (gebruiksfase)		?	
<i>Landgebruik</i>	1,11 punten	6	Hoewel windmolens op het gebied van landgebruik niet veel ruimte innemen, is het toch niet vanzelfsprekend dat windmolens overal geplaatst kunnen worden. Dit heeft namelijk te maken met windrichtingen, impact op landschap, vogeltrekroutes, geluidsoverlast, last van de slagschaduw van een wiek etc. Ook moeten windmolens

			ver genoeg uit elkaar staan (rond de 500 meter) om zo de efficiëntie te verhogen.
Omgevingsimpact per ongeval (dichtbij)		?	Branden en explosies in de nacelle (het bovenste deel van de windturbine) of in de transformatorruimte kunnen zich voordoen als gevolg van technische storingen, kortsluiting of elektrische problemen. Deze incidenten kunnen gevaar opleveren voor de omgeving. Windturbines kunnen vogels en vleermuizen aantrekken, en soms kunnen deze dieren tegen de draaiende rotorbladen botsen, wat schadelijk is voor zowel de dieren als de turbines zelf.
Energie efficiëntie	45 %	66	Windenergie is een redelijk efficiënte duurzame energiebron, hoewel we zien dat de efficiëntie natuurlijk wel afhankelijk is van verschillende factoren. Zo speelt o.a. windsnelheid een grote rol, als het niet waait wordt er namelijk ook weinig tot geen energie opgewekt. De capaciteitsfactor van een windturbine komt gemiddeld neer op zo'n 45%.
Grondstofgebruik (mineralen en metalen)	680 Microgram SB eq.	9	Tijdens de ontwikkeling van windturbines wordt er gebruik gemaakt van verschillende grondstoffen. De belangrijkste mineralen en metalen die hiervoor gebruikt worden zijn bijvoorbeeld staal, aluminium, koper, zeldzame aardmetalen zoals neodmium en dysprosium (voor magnetische werking om windenergie om te zetten in elektriciteit), glasvezel en composietmaterialen. Terwijl de ontwikkeling van hernieuwbare energiebronnen zoals windenergie een initiële investering in grondstoffen vereist, is het belangrijk op te merken dat deze impact veel kleiner is dan die van fossiele brandstoffen gedurende de gehele levenscyclus. Ook zien we steeds meer recycling en hergebruik processen ingezet worden bij de materialen die nodig zijn voor windturbines.
Grondstofbeschikbaarheid (R-ladder feedstock)	2 R-ladder	0	De grondstofbeschikbaarheid bij windenergie is verdeeld. Als we kijken naar wind als pure grondstof zien we dat dit een oneindige, onuitputtelijke bron is. Dit is een positieve impact daar we de aarde niet uit hoeven te putten op het gebied van deze opwekmethode. Wat wel een belangrijk onderdeel is de beschikbaarheid van de grondstoffen voor de ontwikkeling van de windmolens. Hiervoor zijn namelijk daadwerkelijk wél eindige grondstoffen nodig zoals ijzererts, bauxiet en neodmium. Er wordt hard gezocht naar duurzamere materialen voor de bouw van windmolens.
Bodem vermesting	$1,26 \times 10^{-4}$ Mol N-eq.	17	Windenergie heeft relatief weinig (directe) impact op bodemvermesting. De indirecte impact van windenergie op bodemvermesting kan afkomstig zijn van activiteiten die plaatsvinden tijdens de ontwikkeling, bouw en onderhoud van windturbineprojecten. Bij dergelijke activiteiten kan er potentieel bodemerrosie optreden, vooral als de bouwplaats niet goed wordt beheerd.
Impact op ecosysteem (globaal)	0,045 punten per MWh	5	Windenergie heeft zowel een positieve als negatieve impact op het ecosysteem. Hoewel de manier van opwek gezien wordt als duurzaam, en voor een lange tijd toepasbaar kan zijn, zijn er wel verschillende factoren waar rekening mee gehouden zou moeten worden.

			Factoren zoals habitatbehoud, natuurinclusieve inpassing, vogeltrek, beschermde soorten in de omgeving en geluids- en lichtvervuiling. Er ontstaan steeds meer windprojecten waarbij de natuur en het landschap een grote rol spelen en ook worden meegenomen bij de ontwikkeling van nieuwe projectplannen.
Luchtkwaliteit (ziekte)	7,06 ^E -10 ziekte incidenten	0	Windenergie zorgt voor geen directe uitstoot van CO2 wat een positieve impact heeft op de luchtkwaliteit. Hoewel windenergie geen directe impact veroorzaakt komt er natuurlijk wel CO2 vrij bij de ontwikkeling en implementatie van de turbine. Met name bij het winnen van neodymium dat gebruikt wordt voor de permanente magneten.
Luchtkwaliteit Nox	0,025 g/kWh	6	
Luchtkwaliteit Sox	0,06	12	
Luchtkwaliteit NH3	0,005	0	
Luchtkwaliteit fijnstof	0,005	17	
Geuroverlast		?	
Impact per op zichzelfstaande ongevallen	1	?	Het risico van een ongeval bij windenergie is laag. Tijdens de bouw en het onderhoud van windturbines kunnen arbeiders het risico lopen om van grote hoogten te vallen, wat ernstige verwondingen of overlijden kan veroorzaken. Het gebruik van valbeveiligingssystemen en strikte veiligheidsprotocollen is cruciaal om deze risico's te beperken. .
Niet-kankerverwekkende effecten		13	
Kankerverwekkend effect	6,6 Micro CTUh	100	Sommige materialen die in de productie van windturbineonderdelen, zoals bladen, worden gebruikt, kunnen tijdens de fabricage schadelijke chemische stoffen bevatten, zoals epoxyharsen of glasvezelversterkingen. Deze materialen kunnen bepaalde risico's opleveren voor degenen die bij de productie betrokken zijn, vooral als ze onveilig worden behandeld of als er onvoldoende beschermingsmaatregelen worden genomen. Windenergie veroorzaakt zover bekend een beperkte directe blootstelling aan kankerverwekkende stoffen. Al is er waarschijnlijk meer onderzoek nodig.
Bestraling	1 gram U eq.	1	Er is sprake van elektromagnetische straling bij de opwek van windenergie, dit omdat er gebruik wordt gemaakt van elektromagnetische componenten. Over het algemeen worden de EMF-niveaus bij windturbines als laag beschouwd en voldoen ze aan de normen en richtlijnen voor elektromagnetische blootstelling die zijn vastgesteld door gezondheids- en veiligheidsinstanties. Veel dagelijkse apparaten, zoals mobiele telefoons en huishoudelijke apparaten, genereren ook elektromagnetische straling, en deze worden als veilig beschouwd binnen vastgestelde limieten.
Geluidsoverlast	< 45 dB Lden (WHO) < 47 dB (Rijksoverheid)	?	Er zijn verschillende regels waar windturbines aan moeten voldoen op het gebied van geluidsoverlast. Over het algemeen zijn de geluidsniveaus bij moderne windturbines niet significant en vallen deze binnen de

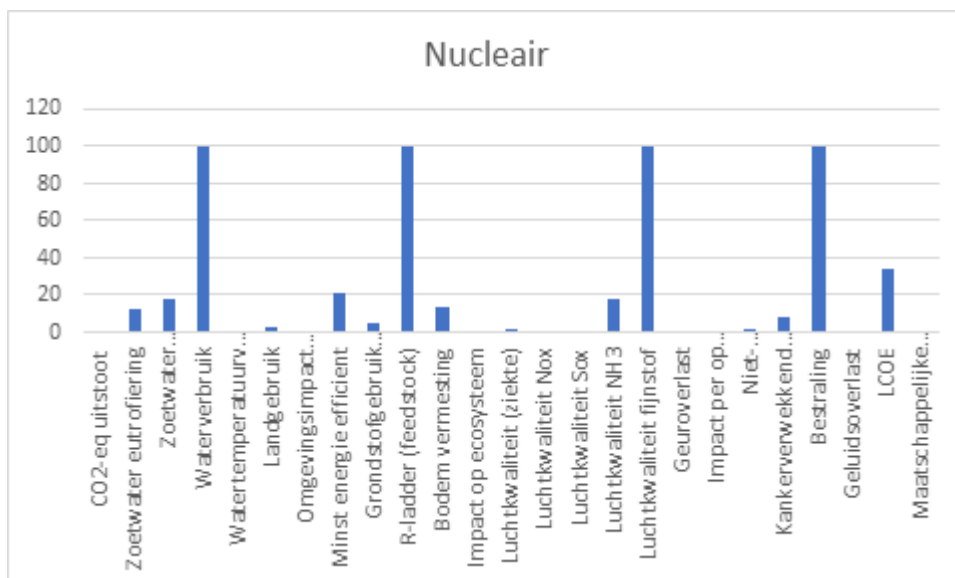
			wettelijke normen. Toch zou volgens de World Health Organisation de norm 's nachts te hoog zijn en slaapproblemen kunnen veroorzaken.
Kosten per implementatie (LCOE)	59 LCOE - USD/MwH (5%WACC)	29	De windomstandigheden op de locatie hebben een grote invloed op de efficiëntie van de windturbines en dus op de kosten. Windrijke gebieden zijn vaak gunstiger voor windenergieprojecten. Het type windturbines dat wordt gebruikt, evenals andere componenten zoals omvormers en funderingen, kan van invloed zijn op de kosten. De kosten van de aansluiting op het elektriciteitsnet en de bouw van transmissielijnen kunnen variëren. De kosten voor het onderhoud van de windturbines moeten ook worden overwogen.
Maatschappelijke acceptatie		?	

Factsheet Kernenergie

Kernenergie is een vorm van energieopwekking waarbij de kern van atomen wordt gesplitst (splijting) of samengevoegd (fusie) om grote hoeveelheden warmte vrij te maken. Deze warmte wordt vervolgens gebruikt om elektriciteit op te wekken. Hoewel kernenergie aanzienlijke hoeveelheden energie kan produceren met een minimale uitstoot van broeikasgassen, zijn er aanzienlijke risico's en milieukwesties verbonden aan deze technologie.

Kernenergiecentrales zijn vanuit het oogpunt van de directe omgeving niet milieuvriendelijk omdat ze inherente risico's met zich meebrengen, zoals de mogelijkheid van nucleaire ongevallen. De installaties produceren radioactief afval dat duizenden jaren radioactief en zeer gevaarlijk blijft. Dit afval moet veilig worden opgeslagen en beheerd. Het opslaan van radioactief afval zal zeker op langere termijn milieuproblemen veroorzaken en heeft grote gevolgen voor de ecosystemen rondom de opslagsystemen. Daarnaast kan het lozen van verwarmd koelwater in rivieren of meren de lokale ecosystemen negatief beïnvloeden.

Er zijn maatregelen die genomen kunnen worden om de impact op de omgeving te verminderen, wanneer er uitgegaan wordt van een omgeving zonder ongevallen. Maatregelen zoals het toepassen van natuurlijke vegetatie en het aanleggen van bufferzones rondom de centrale. Hoewel deze maatregelen enige verlichting bieden, blijft de milieubelasting van een kernenergiecentrale relatief groot.



In het figuur hierboven zie je hoe kernenergie scoort op verschillende criteria.

Impact op criteria

Criterium	Scoring	Uitleg
CO2 uitstoot – <i>Klimaatverandering (combinatie fossiel en landgebruik)</i>	0	Nucleaire energie scoort het laagst op CO2 uitstoot. De uitstoot vindt voornamelijk plaats tijdens de bouw en voorbereiding voor de implementatie van de kerncentrale. Er zijn namelijk wel broeikasgassen geassocieerd met de mijnbouw van uranium en de productie van kernbrandstof. Tijdens de elektriciteitsopwekking is de CO2 uitstoot heel laag, omdat bij atoomkernen samensmelten of splijten geen fossiele brandstof wordt verbrand.
<i>Zoetwater eutrofiering</i>	12	Zoetwater eutrofiering is een milieuprobleem dat optreedt wanneer waterlichamen zoals meren en rivieren overmatige hoeveelheden voedingsstoffen, voornamelijk stikstof en fosfor, bevatten. Kerncentrales gebruiken vaak koelwater om de temperatuur van de reactor te regelen. Dit koelwater kan warmte aan het omringende waterlichaam afgeven, maar heeft vaak niet per se invloed op de voedingsstoffen balans in het water. Wel kan het afvalwater, ondanks dat het vaak gereinigd en gedesinfecteerd wordt voordat het geloosd wordt in het milieu, wel een rol spelen op de waterkwaliteit.
<i>Zoetwater ecotoxiciteit</i>	17	Tijdens de opwek van energie door middel van kernreacties, worden er geen fossiele brandstoffen verbrand. Hierdoor worden er tijdens het opwekkingsproces geen schadelijke luchtverontreinigende stoffen uitgestoten die schadelijk kunnen zijn voor zoetwaterecosystemen. Kernenergiecentrales gebruiken daarentegen wel radioactieve materialen waarbij de emissies zoals radioactief waterdamp en edelgassen normaal gesproken nauwlettend gecontroleerd en geminimaliseerd worden. Toch kan er een hele lage hoeveelheid radioactieve stoffen in het milieu terecht komen. Daarnaast speelt ook hier koelwater weer een rol. Koelwater wordt vaak gereinigd en gedesinfecteerd maar er bestaat altijd nog een kans dat er toch lage hoeveelheden in het water terecht komen.
<i>Waterverbruik</i>	100	Het waterverbruik in liters scoort hoog binnen nucleaire energie. Dit komt o.a. omdat er water nodig is als koel- en noodkoelsysteem. Ook is er voor de opslag van de gebruikte brandstof water nodig ter verkoeling en wordt het gebruikt als bescherming tegen straling.
<i>Watertemperatuurverhoging (gebruiksfase)</i>		Tijdens het gebruik van een kernreactor zal er wel degelijk een impact zijn op de watertemperatuurverhoging. De reactoren worden namelijk gekoeld met koelwater, wat uiteindelijk weer in een dichtbij zijnde bron terecht kan komen. Wanneer de temperatuur van dit water afwijkt van de temperatuur van de waterbron kan dit een (negatieve) impact hebben op de waterbron.
<i>Landgebruik</i>	3	Op landgebruik scoort nucleaire energie relatief laag, daar er vrij weinig land nodig is voor de hoeveelheid energie die een kerncentrale kan opwekken. Hoewel kerncentrales zelf compact zijn, is er ruimte nodig voor de opslag van kernafval. Het beheer van radioactief afval is een belangrijke zorg en vereist specifieke locaties voor langdurige opslag. Ook zal er gezocht moeten worden naar berging onder de grond waar het afval naar verplaatst moet worden na gemiddeld 100 jaar opslag op de specifieke locaties.
<i>Omgevingsimpact per ongeval (dichtbij)</i>		Een ongeval is niet vanzelfsprekend, en de kans hierop is relatief laag. Maar wannéér een ongeval of ramp zich voordoet kunnen de gevolgen catastrofaal zijn. Denk bijvoorbeeld aan verwoesting aan het landschap in de nabije omgeving, materiaalschade, maar met name radioactieve besmetting. Daarnaast moeten er evacuatiezones

		aangewezen en uitgevoerd worden, en zal er flink ingezet moeten worden op herstelinspanningen.
Energie efficiëntie	21	Kernenergie wordt als redelijk efficiënt beschouwd, maar kan lager scoren door enkele factoren. Kerncentrales werken via stoomturbines, waarbij kernsplijting warmte genereert om water in stoom te veranderen, wat een turbine aandrijft voor elektriciteit. Dit proces is thermisch minder efficiënt dan bijvoorbeeld aardgascentrales. Er kan namelijk veel warmte verloren gaan. Daarnaast is de productie van kernbrandstof, zoals verrijkt uranium, energie-intensief, wat de algehele efficiëntie verlaagt als je de energie-input voor brandstofproductie vergelijkt met de opgewekte elektriciteit.
Grondstofgebruik (mineralen en metalen)	5	De ontwikkeling en het gebruik van een kerncentrale vereisen verschillende mineralen en metalen voor constructie, brandstof, en operationele componenten. Het meest gebruikte mineraal tijdens de levensduur van een kerncentrale is dan ook uranium en plutonium.
Grondstofbeschikbaarheid (R-ladder feedstock)	100	Uranium is een niet-hernieuwbare bron, wat betekent dat de hoeveelheid uranium op aarde beperkt is. Volgens schattingen van het World Nuclear Association (WNA) en het International Atomic Energy Agency (IAEA) waren de bewezen uraniumreserves wereldwijd in 2020 ongeveer 5,7 miljoen ton. Dit is genoeg om in de wereldwijde vraag naar kernenergie te voorzien gedurende meerdere decennia. Hoewel er vooralsnog voldoende uranium beschikbaar is, zou het volledig opgebruiken van uranium o.a. kunnen leiden tot een aanzienlijke toename van radioactief afval, geopolitieke spanningen en veiligheidsrisico's door exploitatie.
Bodem vermesting	13	Er zijn enkele indirecte milieueffecten die optreden welke van invloed kunnen zijn op de bodemkwaliteit en het nabijgelegen milieu, afhankelijk van de specifieke locatie en activiteiten. Dit zijn bijvoorbeeld grondverzetwerkzaamheden tijdens de bouw, veranderingen in de waterhuishouding in de omgeving door het waterbeheer en bijvoorbeeld onzorgvuldig afvalbeheer.
Impact op ecosysteem (globaal)	0	Er zijn verschillende redenen waardoor kernenergie impact heeft op het ecosysteem, redenen die uit bovenstaande punten gehaald kunnen worden. Hoewel kernenergie zelf weinig broeikasgassen produceert zijn wel uitstoot van broeikasgassen geassocieerd met de gehele levenscyclus van grote en kleine kerncentrales, inclusief de mijnbouw van uranium, de productie van kernbrandstof en de bouw en ontmanteling van kerncentrales. Ook heeft de mijnbouw en winning van uranium en plutonium een aanzienlijke impact op lokale ecosystemen. Dit omvat de verwijdering van vegetatie, landschapsverandering en bodem- en waterverontreiniging.
Luchtkwaliteit (ziekte)	0	Kerncentrales hebben over het algemeen een gunstige impact op de luchtkwaliteit in vergelijking met veel fossiele brandstoffen. Dit komt o.a. omdat kerncentrales geen directe uitstoot van CO2 veroorzaken tijdens normale bedrijfsactiviteiten (de bouwfase uitgezonderd). Tijdens de gehele levenscyclus van kernenergie, dus bijvoorbeeld de mijnbouw van uranium en de productie van kernbrandstof kunnen er wel broeikasgassen worden in de atmosfeer terecht komen. Wat ook in gedachte gehouden moet worden, is dat ook al is de kans klein, wanneer er een ongeluk zich zou voordoen, dat er veel radioactieve stof vrij zou kunnen komen in de wijde omgeving. Iets dat uiteraard een negatief effect heeft op de luchtkwaliteit en gezondheid van ons ecosysteem.
Luchtkwaliteit Nox	0	Omdat kerncentrales geen verbrandingsprocessen gebruiken, stoten ze geen luchtvervuilende stoffen uit, zoals zwavelverbindingen, stikstofoxiden (NOx) en fijnstof.

Luchtkwaliteit Sox	4	
Luchtkwaliteit NH3	0	
Luchtkwaliteit fijnstof	67	Omdat kerncentrales geen verbrandingsprocessen gebruiken, stoten ze geen luchtvervuilende stoffen uit, zoals zwavelverbindingen, stikstofoxiden (NOx) en fijnstof.
Geuroverlast		
Impact per op zichzelfstaande ongevallen		Het aantal ongevallen in kerncentrales op het gebied van werknemers en directe omwonenden is laag. Toch kan de impact gemiddeld zijn want kerncentrales kennen erg strenge veiligheidsmaatregelen om ongevallen te voorkomen en te beheersen. Ook zijn de moderne kerncentrales zo ontworpen om de stralingsblootstelling van werknemers tot een minimum te beperken. Maar wanneer er zich toch een ongeval voor doet, zoals bijvoorbeeld besmetting kan dit desastreuze gevolgen hebben voor de mensen in de nabije omgeving.
Niet-kankerverwekkende effecten	0	
Kankerverwekkend effect	8	Kernenergie wordt over het algemeen niet beschouwd als een directe oorzaak van kanker bij werknemers en de bevolking in het algemeen. De opwekking van kernenergie heeft het potentieel om kankerverwekkend te zijn vanwege de ioniserende straling die wordt geassocieerd met kernreactoren en radioactieve materialen. De blootstelling aan straling in en rond kerncentrales wordt zorgvuldig gecontroleerd en gereguleerd om de risico's tot een minimum te beperken. Het beheer en de verwijdering van radioactief afval, met name hoogradioactief afval, kan de risico's van blootstelling aan straling verhogen als dit afval niet veilig wordt behandeld en opgeslagen. De mijnbouw van uranium en de productie van kernbrandstof kunnen blootstelling aan straling veroorzaken bij mijnwerkers en werknemers in de nucleaire brandstofcyclus. Ook hier willen we benoemen dat ook al is de kans op een ongeval klein, wanneer het toch gebeurt, kan er een verhoogd stralingsniveau zijn wat een verhoogd risico op kanker veroorzaakt.
Bestraling	100	Kernenergiecentrales hebben strikte stralingsbeschermingsmaatregelen en protocollen om werknemers te beschermen tegen onnodige blootstelling aan ioniserende straling. Er worden blootstellingslimieten vastgesteld en gevolgd om te voorkomen dat werknemers te veel straling ontvangen. Kerncentrales zijn ontworpen met meerdere lagen van veiligheidsmaatregelen om stralingsrisico's te minimaliseren. Dit omvat de isolatie van stralingsbronnen, afscherming en de inzet van detectiesystemen om eventuele lekkages onmiddellijk te detecteren. De nucleaire sector blijft onderzoek en ontwikkeling doen naar geavanceerde technologieën en methoden om de stralingsrisico's verder te minimaliseren en te beheersen, ook wanneer er wel een ongeval plaats vindt.
Geluidsoverlast		Kernenergiecentrales worden doorgaans ontworpen en geplaatst op locaties die ver weg zijn van dichtbevolkte gebieden. Dit minimaliseert de directe blootstelling aan geluidsoverlast voor de omwonenden. Bovendien zijn de gebouwen en structuren van kerncentrales vaak ontworpen om geluid te absorberen of te isoleren, wat de verspreiding van geluid verder beperkt. Kerncentrales hebben meestal een laag constant geluidsniveau in vergelijking met sommige andere industriële faciliteiten. Het grootste deel van het geluid wordt gegenereerd door de mechanische systemen en koelingsprocessen, die meestal geoptimaliseerd zijn om het geluid tot een minimum te beperken.

Kosten per implementatie (LCOE)

38

Kerncentrales hebben over het algemeen een lange levensduur, vaak tientallen jaren. Dit betekent dat de initiële investeringen voor de bouw van een kerncentrale worden verdeeld over een lange periode, wat de kosten per geleverde eenheid elektriciteit verlaagd. Kernenergie maakt gebruik van een kleine hoeveelheid kernbrandstof, zoals uranium, die een aanzienlijke hoeveelheid energie kan produceren. Dit resulteert in relatief lage brandstofkosten per eenheid opgewekte elektriciteit.

Maatschappelijke acceptatie

Uitgelichte aandachtspunten

Ontwikkeltijd

Het ontwikkelen van een kerncentrale kost gemiddeld zo'n 10 jaar. Deze relatief zeer lange tijd omvat de volgende stappen:

- Voorbereidende fase (het bepalen van zoekgebieden, milieueffectenrapportages, vergunningsaanvragen en financiële planningen)
- Ontwerp- en vergunningsfase
- Bouw van de infrastructuur (fysieke infrastructuur van de kerncentrale, zoals gebouwen, koeltorens en elektrische installaties)
- Bouw van de reactor (deze wordt gebouwd volgens specifieke technische normen, wat een tijdrovend en technisch gevoelig proces is)
- Testen en inbedrijfstelling (controles op o.a. de veiligheid en efficiëntie van de kerncentrale voordat deze operationeel wordt)
- Veiligheidsbeoordelingen en regelgevingsgoedkeuring (uitgebreide veiligheidsbeoordelingen door Regulators)

Afvalbeheer

Het afvalbeheer van een kerncentrale is een zorgvuldig proces waarbij er uitvoerig en langjarig ingezet moet worden op veiligheid. Ondanks dat kernenergie qua volume minder afval produceert dan andere bronnen, omdat kernbrandstof zeer energiedicht is, is het afval zeer lange tijd zeer gevaarlijk. Op dit moment wordt radioactief afval voor zo'n 100 jaar opgeslagen in betonnen vaten boven de grond. Na deze periode zal het voor (tien)duizenden jaren opgeslagen moeten worden onder de grond. Dit wordt op dit moment in Nederland nog nergens gedaan. Er wordt wereldwijd voortdurend onderzoek gedaan naar verbeterde methoden voor het beheer van radioactief afval, hergebruik en vermindering van afvalvolume. Op dit moment is er behalve de mogelijkheid van diep geologische berging geen alternatief.

Thorium

Thoriumcentrales bieden boeiende perspectieven op het gebied van energieopslag. Het is een innovatieve vorm van kernenergie, welke een oplossing kan bieden voor het efficiënt opslaan van energie op grote schaal. Het idee achter thoriumcentrales is slim: thorium, een veelvoorkomend en veilig nucleair materiaal, wordt gebruikt om warmte op te wekken, die later kan worden opgeslagen en omgezet in elektriciteit.

Circulariteit is een uitdaging binnen deze ontwikkeling. De productie en exploitatie van thoriumcentrales vereisen grondstoffen en materialen, en het beoordelen van de efficiëntie en duurzaamheid van deze systemen vereist meer onderzoek. Het is een feit dat er meer thorium beschikbaar is dan uranium of plutonium, maar we gebruiken nog steeds niet-hernieuwbare grondstoffen. Het hergebruik en recyclen van nucleair afval kan een positieve rol hierin spelen, maar het blijft een gebied dat verder moet worden verkend.

Hoewel thorium veelbelovend is, staat de technologie nog in de kinderschoenen. Er zijn nog geen commerciële thoriumreactoren operationeel, en de ontwikkeling vereist aanzienlijke investeringen en tijd.