

DUURZAME ENERGIESYSTEMEN

Groene energie wint steeds meer aan terrein. In dit kennisdocument bekijken we waarom duurzame energiesystemen van belang zijn en bespreken we de belangrijkste principes met betrekking tot het toepassen van deze systemen. Daarna gaan we in op de diverse typen duurzame energiesystemen en bekijken we bestaande eisen en certificering rondom dit thema. Ook nemen we een aantal succesvolle casestudies onder de loep.

3.1 WAAROM ZIJN DUURZAME ENERGIESYSTEMEN VAN BELANG?^{1,2,3,4,5}

Klimaatverandering

Duurzame energiesystemen zijn essentieel in het tegengaan van klimaatverandering:

- Door de uitstoot van broeikasgassen verandert het klimaat en warmt de aarde op. Om die ontwikkeling en de gevolgen hiervan zoveel mogelijk te beperken heeft de internationale gemeenschap in 2015 het Klimaatakkoord van Parijs gesloten: een actieplan om de opwarming van de aarde tegen te gaan.
- In navolging van dit akkoord heeft Nederland nationale doelen opgesteld om de internationale afspraken te kunnen voldoen. De ambitie is om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen met 95% ten opzichte van 1990.
- Een ingrijpende verandering van onze energiesystemen én het terugdringen van ons energiegebruik is essentieel om deze doelstellingen te kunnen behalen.

In Nederland gebruiken we voornamelijk energie uit fossiele bronnen, wat leidt tot grote hoeveelheden CO₂-uitstoot. Deze brandstoffen moeten daarom plaatsmaken voor duurzame en CO₂-neutrale alternatieven.

- Gebouwen, inclusief woningen, gebruiken op dit moment 36% van alle energie. De energietransitie heeft dan ook allerlei gevolgen voor de manier waarop gebouwen worden ontworpen en ontwikkeld. Zo moeten ze beter worden geïsoleerd, aardgasvrij en energiezuiniger worden gemaakt en zelf duurzame energie kunnen opwekken.

Overige redenen

Naast het beperken van klimaatverandering zijn duurzame energiesystemen ook om andere redenen van belang:

- De voorraad fossiele brandstoffen is eindig, waardoor we op den duur moeten overschakelen op andere energiebronnen.
- Het opwekken en transporteren van energie kost geld. Bewuste keuzes over investeringen in energiesystemen zijn essentieel, ook omdat ze gevolgen hebben voor de langere termijn.

- Nederland is voor een groot deel van haar energievoorziening afhankelijk van het buitenland, waaronder politiek instabiele landen.

Grotere autonomie qua energie biedt meer garanties voor onze energievoorziening.

Wat maakt een duurzaam gebouw aantrekkelijk?

Voor investeerders, opdrachtgevers en gebruikers is een duurzaam gebouw om meerdere redenen aantrekkelijk:

- Gebouwen met duurzame systemen verbruiken minder energie, en hebben daarmee lagere exploitatiekosten.
- Een hoog energielabel of duurzaamheidskeurmerk draagt bij aan een hogere marktwaarde.
- Een duurzaam gebouw draagt bij aan een groen imago.
- Duurzame panden bieden meer comfort qua verlichting, klimaat en indeling, en dragen daarmee bij aan de vitaliteit en productiviteit van de gebruikers.
- Door alvast te anticiperen op toekomstige duurzaamheidswetgeving kan men kosteneffectief investeren in de toekomstbestendigheid van een gebouw.

3.2 PRINCIPES VAN DUURZAME RUIMTELIJKE ONTWIKKELING^{6,7,8,9}

Bij het ontwerpen van duurzame gebouwen kan gebruik worden gemaakt van de Trias Energetica, een strategie voor energiezuinig ontwerpen. Deze bestaat uit drie onderdelen:

1. Verminder de energiebehoefte, o.a. door:
 - I. Optimale isolatie van de schil toe te passen (hoge warmteweerstand, goede luchtdichtheid)
 - II. Gecontroleerde ventilatie te gebruiken
 - III. Een ontwerp te maken dat profiteert van zon in de winter en schaduw in de zomer
 - IV. Koudebruggen te voorkomen
 - V. Compact te bouwen
 - VI. De thermische accumulatie van materialen te benutten
 - VII. Leidinglengtes te minimaliseren
2. Maak maximaal gebruik van energie uit duurzame bronnen, zoals zon, wind, water, bodem en biomassa.
3. Vul de restvraag naar energie zo efficiënt mogelijk in met behulp van fossiele brandstoffen. Installeer bijvoorbeeld een warmtepomp in plaats van een cv en gebruik vloerverwarming in plaats van radiatoren. Zodra de overstap naar duurzame energiebronnen compleet is, zal deze laatste stap komen te vervallen.

Een andere aanpak is de Nieuwe Stappenstrategie. Deze aanpak wil het gebruik van fossiele brandstoffen volledig overbodig maken, o.a. door reststromen te hergebruiken. De strategie bestaat uit de volgende stappen¹⁰:

1. Verminder de energievraag door middel van passieve (steden)bouwkundige maatregelen.
2. Gebruik reststromen opnieuw. Denk hierbij aan warmteterugwinning, maar ook om de recycling van energie, water en materialen.
3. Vul de resterende energievraag duurzaam in en pas vergaande recycling toe. Gebruik duurzame bronnen en hergebruik afvalstromen (restwarmte, CO₂).

Bij beide ontwerpprincipes bestaat de eerste stap dus altijd uit bouwkundige en stedenbouwkundige maatregelen. Energiezuinige installaties worden pas daarna ingezet (zie Figuur 1).

Trias Energetica	Nieuwe stappenstrategie	Maatregelen
Beperking energie-vraag	Beperking energie-vraag	Bouwkundig en stedenbouwkundig
	Hergebruik reststromen	Installatietechnisch
Toepassing duurzame energiebronnen	Toepassing duurzame energiebronnen	
Invullen restvraag met fossiele energiebronnen		

Figuur 1: De twee ontwerpprincipes en bijbehorende energetische maatregelen¹¹

3.3 TYPEN DUURZAME ENERGIESYSTEMEN¹²

Qua energiesystemen kunnen we onderscheid maken tussen passieve en actieve systemen:

- Passieve systemen maken gebruik van de constructie van het gebouw om voor verwarming, verkoeling en verlichting te zorgen.
 - Actieve systemen gebruiken installaties en onderdelen voor het verzamelen, opslaan en verdelen van energie en warmte.
- Passieve systemen zijn eenvoudiger en rendabeler, en verdienen daarom de voorkeur boven actieve systemen. Wanneer passieve systemen ontoereikend zijn, kunnen ze ondersteund worden met actieve systemen.

PASSIEVE SYSTEMEN^{13, 14, 15, 16, 17}

Bij passieve systemen wordt geen gebruik gemaakt van installaties, maar van de constructie en architectonische eigenschappen van het gebouw om voor verwarming, verkoeling en verlichting te zorgen. Door het gebouw slim te plaatsen in zijn omgeving kan men maximaal profiteren van zonlicht en frisse lucht voor het verwarmen, koelen, verlichten en luchten van de ruimtes.



Verwarming

Door de juiste bouwmaterialen, constructie en oriëntatie te kiezen, kan het gebouw zonnewarmte opvangen en vasthouden tijdens de wintermaanden. Dit gebeurt vooral door gebruik van ramen, daklichten en serres die zonlicht binnenlaten en uitstekende isolatie om de warmte vast te houden.

- Maak gebruik van passieve zonne-energie door ramen grotendeels te oriënteren op het zuiden. Door middel van overstekken of zonwering kan het
- zonlicht 's zomers worden buitengehouden, maar 's winters worden binnengelaten.

- Ook door de zuidgevel langer te maken dan de noordgevel kan meer zonnewarmte worden opgevangen en vastgehouden.
 - Isoleer de schil optimaal en zorg voor goede luchtdichtheid.
- Simpele constructies, lage kosten en weinig onderhoud zijn de voordelen die dit type systeem met zich meebrengt.
 - Mogelijke nadelen zijn slecht wooncomfort, grote temperatuurschommelingen en de noodzaak om extra warmtebronnen te gebruiken wanneer er geen zonlicht is.



Verkoeling

Nuttige methoden voor passieve koeling verschillen afhankelijk van de locatie, omgeving, toegepaste materialen en beschikbare kosten.

- De eenvoudigste manier om een gebouw op natuurlijke wijze te koelen is door luchtverplaatsingen te creëren. Dit kan door ramen tegen elkaar open te zetten, ventilatieroosters te installeren of door middel van een (zonne)schoorsteen. De schoorsteen wordt verwarmd door de zon en trekt daardoor lucht van binnen naar buiten. Zo neemt de ventilatie binnenshuis toe en wordt meer frisse lucht aangevoerd.
- Ook kan men een atrium of binnentuin creëren die georiënteerd is op de dominante windrichting. Zo koelt de frisse lucht de ruimten rond het atrium. De warme lucht verzamelt zich in het atrium en kan via de opening naar boven toe ontsnappen.
 - Andere manieren zijn het creëren van schaduw door luifels of zonneschermen en het toepassen van reflecterende daken.



Verlichting

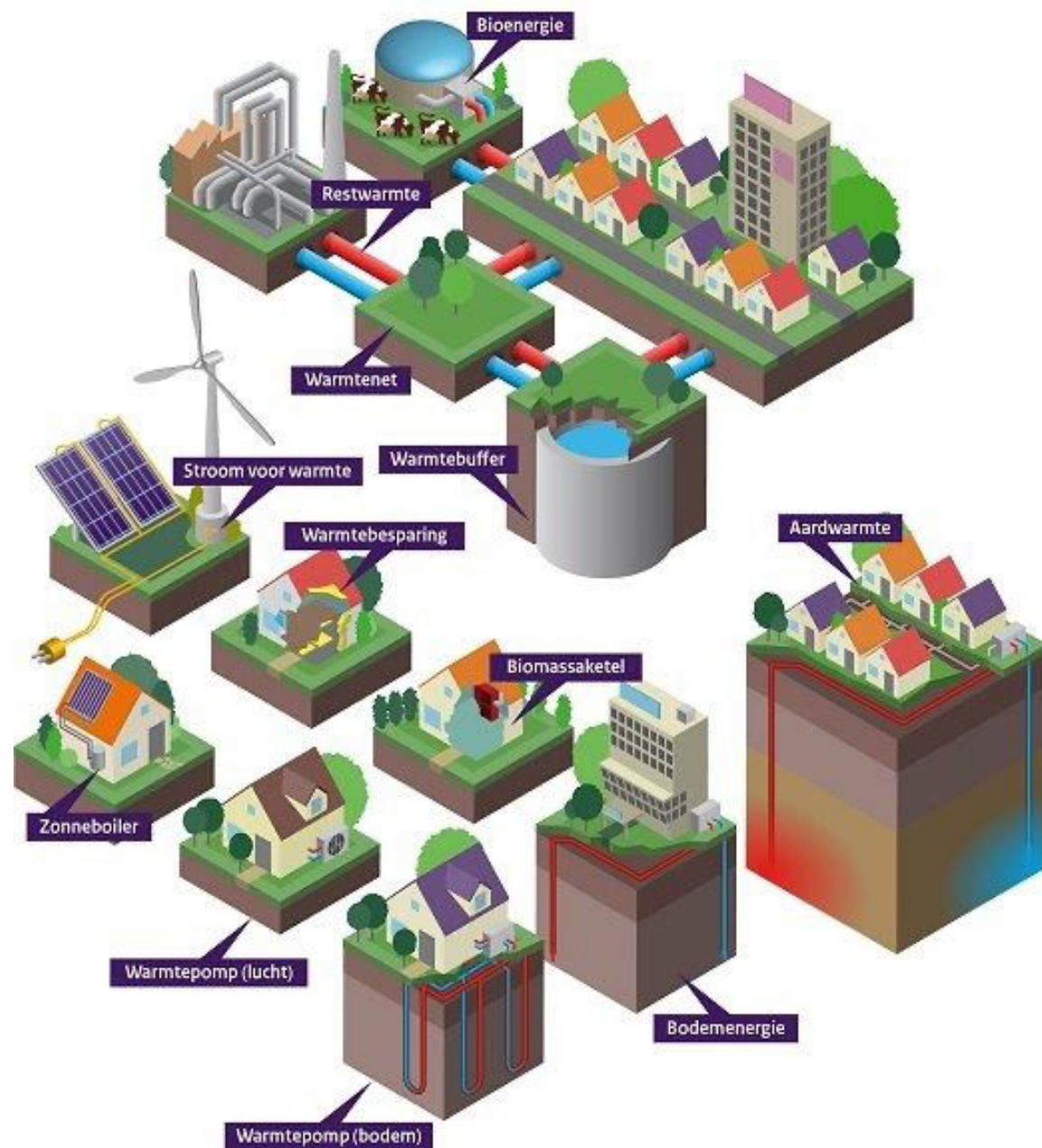
17% van alle energie ter wereld wordt gebruikt voor verlichting. Met het juiste ontwerp kan zoveel mogelijk daglicht worden benut, waardoor minder behoefte is aan kunstlicht.

- Natuurlijk licht kan het makkelijkst worden benut door voldoende openingen te verwerken in het ontwerp, zoals ramen en daklichten.
- Op plekken waar geen raam mogelijk is, kan een daglichtbuis toch natuurlijk licht brengen. Een koepel boven op de buis vangt het daglicht op, dat via de reflecterende binnenzijde van de buis naar andere ruimtes verplaatst wordt.

ACTIEVE SYSTEMEN

Actieve systemen gebruiken installaties en onderdelen voor het verzamelen, opslaan en verdelen van energie en warmte¹⁸. Actieve systemen zijn ingewikkelder en minder kosteneffectief, en komen daarom op de tweede plek na passieve systemen. Als passieve systemen ontoereikend zijn, kunnen ze ondersteund worden met actieve systemen.

Gebouwde omgeving



Figuur 2: Actieve systemen voor duurzame warmteopwekking in de gebouwde omgeving¹⁹



Warmtekrachtinstallatie (wkk)^{20,21,22}

Een warmtekrachtinstallatie of warmtekrachtkoppeling (wkk) wekt tegelijkertijd warmte (verwarming en sanitair warm water) en elektriciteit op, op basis van dezelfde energiebron.

- Met deze gecombineerde productie wordt op primaire energie bespaard en vindt er minder uitstoot van broeikasgassen plaats. De primaire

energiebesparing komt neer op 15-20% vergeleken met klassieke gescheiden installaties.

- Er zijn wkk-installaties die draaien op hernieuwbare energie (biomassa), maar ook varianten die draaien op fossiele brandstoffen (aardgas). Dit laatste type is dan ook geen duurzaam systeem.
- De installatie is het meest rendabel als hij niet vaak hoeft te worden in- en uitgeschakeld, en wanneer de geproduceerde elektriciteit maximaal zelf wordt verbruikt. Een wkk is dus vooral geschikt voor gebouwen met een grote en constante behoefte aan warmte, zoals collectieve huisvesting, gebouwen in de dienstensector (ziekenhuizen, hotels, zwembaden), industriële gebouwen of gebouwen met gemengde functies (warmtenet).
- Ook bestaan er micro-wkk's met een maximaal vermogen van 5 kWe, geschikt voor individuele huishoudens. Ook hierbij dient de opgewekte elektriciteit volledig zelf te worden gebruikt.
- Een wkk maakt vrij veel lawaai. Het zorgvuldig kiezen van de juiste locatie, akoestisch isoleren, het plaatsen van een geluidsdichte en het aanbrengen van trillingsbescherming dienen onderdeel te zijn van het proces.



Warmtepomp^{23,24,25,26}

Een warmtepomp wisselt warmte uit tussen een gebouw en de omgeving. Buizen gevuld met water onttrekken warmte aan een bron die kouder is dan de uiteindelijke doelt temperatuur. Door middel van druk wordt de temperatuur verhoogd en komt er warmte vrij, waarmee een gebouw wordt verwarmd.

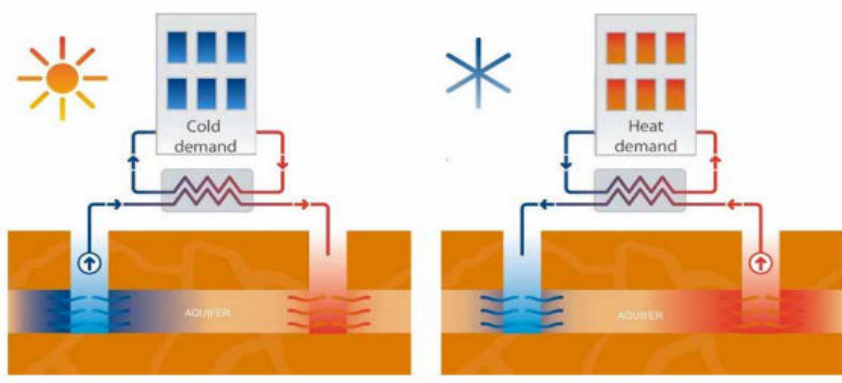
- Warmte kan onttrokken worden uit:
 - De buitenlucht of afgevoerde lucht (aerothermische warmtepompen)
 - Grondwater of oppervlaktewater (hydrothermische warmtepompen)
 - De bodem (geothermische warmtepompen) (zie ook Aardwarmtewisselaar en WKO)
- Het object dat hiermee verwarmd wordt kan zijn:
 - De binnenlucht van een bepaalde ruimte.
 - Water van een verwarmingscircuit.
- Een warmtepomp kan ook gebruikt worden voor koeling. Hierbij wordt de warmte vanuit het gebouw overgedragen aan de omgeving, waardoor het gebouw koeler wordt.
- Warmtepompen zijn er in verschillende typen, waaronder een volledig elektrische warmtepomp en een hybride warmtepomp. De laatste is een combinatie van een elektrische warmtepomp met een (kleine) gasketel, die op piekmoment kan bijspringen in de energieproductie. Dit type werd vaak gebruikt in bestaande woningen met een gasaansluiting, maar tegenwoordig is het ook mogelijk om met een volledig elektrische warmtepomp aan de warmtevraag te voldoen.
- De investeringskosten van een warmtepomp zijn relatief hoog, en een warmtepomp heeft een gemiddelde levensduur van 15 jaar. Daarom kan het nu nog lastig zijn om de investeringskosten terug te verdienen. Toch gaat de ontwikkeling van deze systemen hard en zijn er subsidies beschikbaar, waardoor het aantrekkelijker wordt om in een warmtepomp te investeren.



Warmte- en koudeopslag (WKO)^{27,28,29,30}

Een WKO slaat energie uit het gebouw op in een aquifer: een waterhoudende zand- of kiezellaag die van nature aanwezig is in de bodem, op meestal tussen de 80 en 200 meter diepte. Grondwater wordt opgepompt en na gebruik weer terug in de bodem gebracht, en zo als energiedrager gebruikt. Hiermee is een WKO een open systeem.

- Er worden 2 putten geboord, waarin de bodemtemperatuur zo'n 13°C is. Grondwater uit de ene put levert 's winters warmte voor de warmtepomp van het gebouw, die de temperatuur verhoogt naar de juiste verwarmingstemperatuur. Na gebruik wordt het afgekoelde water weer teruggepompt in de andere put. 's Zomers wordt dit water weer opgepompt en gebruikt als passieve koeling, waarna het opgewarmde water weer de eerste put in gaat (zie Figuur 3).
- Met een WKO kan tot 60% aan verwarmingsenergie en 80% aan koelingsenergie worden bespaard.
- Een WKO kan worden toegepast in uiteenlopende gebouwtypen. Dit systeem is vooral geschikt voor grotere utiliteitsgebouwen zoals ziekenhuizen, kantoren en winkelcentra, tot aan een BVO van meer dan 50.000 m² (zie Figuur 4).
- Een WKO-systeem heeft als voordeel dat het zuinig is, duurzaam, toekomstbestendig, geen uitstoot met zich meebrengt en relatief eenvoudig te implementeren is.
- Een nadeel van WKO is dat het systeem het omliggende grondwaterpeil beïnvloedt. Dit effect overschrijdt vaak het eigen perceel, waardoor het nabijgelegen systemen kan beïnvloeden. Aquifers zijn relatief kwetsbaar en dienen dus zorgvuldig behandeld te worden.
- Voor het toepassen van een WKO is een vergunning nodig op basis van de Waterwet.
- Met de [WKO-tool](#) kan gekeken worden of het gebruik van ondiepe bodemenergie op een bepaalde locatie is toegestaan.



Figuur 3: Schematische weergave van de werking van een WKO³¹



Bodemwarmtewisselaar^{32,33,34,35,36}

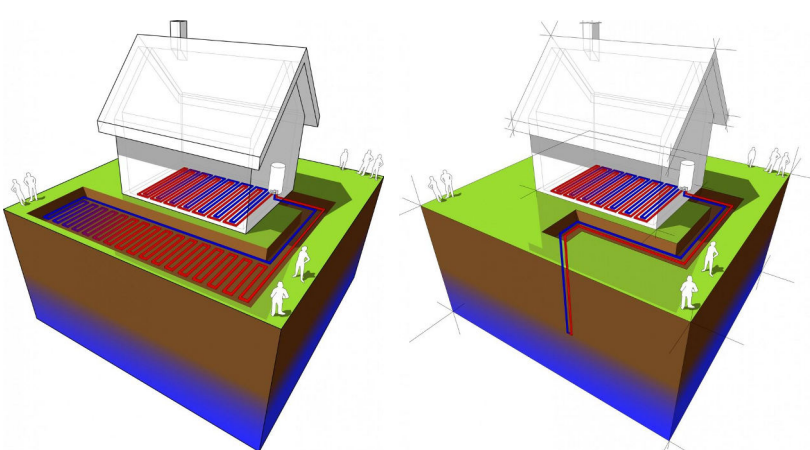
Een bodemwarmtewisselaar laat lucht of water door ondergrondse buizen circuleren, waardoor de energiedrager op natuurlijke wijze wordt verwarmd of gekoeld en vervolgens wordt overgedragen naar een gebouw. Dit systeem is een

gesloten systeem en wordt gecombineerd met een warmtepomp om de juiste temperatuur te produceren. Er bestaan twee soorten aardwarmtewisselaars:

- Horizontale aardwarmtewisselaars – Dit type ligt in de bovenste grondlaag, onder de vorstgrens (zie Figuur 5).
 - Om genoeg energie te kunnen opnemen, is er een groot oppervlak nodig waarvoor veel grond moet worden afgegraven.
 - Deze ruimte is meestal niet beschikbaar bij compacte nieuwbouwprojecten. Dit type aardwarmtewisselaar wordt dan ook vooral toegepast in buitengebieden.
- Verticale aardwarmtewisselaars – Dit type wordt geboord tot een diepte van minimaal 20 à 50 meter (zie Figuur 6).
 - De precieze diepte is afhankelijk van verschillende factoren, zoals het warmtevermogen van de warmtepomp, bodemgesteldheid en beschikbare ruimte.
 - Door de grotere diepte is de temperatuur die uit de wisselaar komt veel constanter dan bij horizontale systemen.
- Het energetisch rendement is erg hoog, gemiddeld 4 à 5 keer beter dan een installatie op aardgas.
- Aardwarmtewisselaars kunnen per huis worden aangelegd, maar ook als collectief systeem, voor bijvoorbeeld een appartementencomplex of meerdere woningen. In de praktijk wordt dit systeem vooral gebruikt bij een bruto-vloeroppervlak van maximaal 10.000 m² (zie
- Het toepassen van dit systeem is bijna overal in Nederland mogelijk, met uitzondering van enkele verbodsgebieden waar niet geboord mag worden. Gesloten bodemenergiesystemen moeten gemeld worden bij de gemeente.

Wonen	Grondgebonden woning	Gestapelde woningbouw	N/A		
Utiliteitsbouw	N/A	Klein, bv. school	Gemiddeld, bv. kantoor	Groot, bv. winkelcentrum	Zeergroot, bv. multifunctioneel complex
BVO (m ²)	~100	1.000-2.000	2.000-10.000	10.000-50.000	50.000+
Verwarmingscap. (kW)	5	50-100	100-500	500-2.500	2.500+
BWW (gesloten)					
WKO (open)			10-50 m ³ /hr	50-250 m ³ /hr	> 250 m ³ /hr

Figuur 4: Toepasbaarheid van bodemwarmtewisselaar (BWW) en warmtekoudeopslag (WKO) in verschillende gebouwgroottes en -functies³⁷



Figuur 5 en 6: Horizontale BWW (links) en verticale BWW (rechts)³⁸



Aardwarmte^{39,40}

Warmte die wordt onttrokken aan diepe (vanaf 500 meter) tot zeer diepe (vanaf 4000 meter) aardlagen wordt aardwarmte of geothermie genoemd. Hierbij wordt water met hoge temperaturen omhoog gepompt. De warmte die dit oplevert kan worden gebruikt voor bijvoorbeeld een warmtenet.

- Uit aardwarmtebronnen kan tientallen jaren geput worden. Ook is de beschikbaarheid van aardwarmte niet afhankelijk van weersomstandigheden, in tegenstelling tot zonne- en windenergie.
- Doordat diepe boringen nodig zijn, vraagt aardwarmte om een flinke investering. Op dit type energiewinning is de Mijnbouwwet van toepassing.
- Bovendien brengt het boren naar aardwarmte risico's met zich mee, zoals aardbevingen, vervuiling van grondwater of het onverwacht raken van olie- of gasvelden.
- In Nederland wordt aardwarmte op dit moment vooral gebruikt voor het verwarmen van kassen en een klein aantal woningen. Het streven is om dit aantal flink uit te breiden.
- Er moeten voldoende afnemers van de warmte in de buurt zijn om de installatie rendabel te maken, omdat het transport van de warmte erg kostbaar is.



Windturbines⁴¹

- Windturbines maken gebruik van de wind om energie op te wekken.
- Om te bepalen of een windturbine een goede keuze is voor een bepaalde locatie, moet eerst vastgesteld worden of de hoeveelheid wind voldoende is. Vanaf gemiddelde windsnelheden van 6,5-7,0 meter per seconde (windkracht 4) worden windturbines interessant. Bij die snelheid kan een kleine windturbine van 100 kW of minder worden overwogen.
- Windsnelheden van meer dan 7,5 meter per seconde (vanaf windkracht 5) bieden mogelijkheden voor grotere installaties.
- De meeste windturbines gaan tot 20 jaar lang mee en vragen weinig onderhoud. Wel moet er voldoende ruimte voor beschikbaar zijn.
- Het vinden van een passende plek voor windturbines blijkt een grote uitdaging, omdat er vaak weinig draagvlak voor is vanuit de directe omgeving.



Zonnepanelen^{42,43,44,45}

Zonnepanelen (ook wel fotovoltaïsche systemen genoemd) vangen zonnestraling op en zetten dit om in energie, zoals warmte en elektriciteit. Een omvormer zet de opgewekte gelijkstroom om in wisselstroom. De panelen zijn aangesloten op het elektriciteitsnet, waardoor ze restenergie aan het net kunnen afstaan.

- Zonnepanelen kunnen de maandelijkse energiekosten van huishoudens wel tot 95% verminderen. Daarmee is dit systeem een van de meest aantrekkelijke duurzame energieoplossingen.

- Bovendien hebben zonnepanelen een gemiddelde levensduur van 25 jaar, hoeven ze niet aangestuurd te worden en is een jaarlijkse schoonmaak voldoende.
- Aandachtspunten bij het plaatsen van zonnepanelen:
 - Zonnepanelen werken het best op een locatie zonder schaduw (bomen, schoorstenen), gericht op het zuiden.
 - Oriënteer zonnepanelen echter niet zomaar allemaal naar het zuiden, maar bouw differentiatie in. Door ook zonnepanelen op het oosten en westen te oriënteren, zorg je voor een gelijkmatiger opwekkingsprofiel.
 - Zorg er bij vaste zonnepanelen voor dat de hoek waarin ze staan overeenkomt met de breedtegraad van de locatie. In Nederland is dit tussen de 52° en 55°. Zonnepanelen die in die hoek staan gekanteld zijn op jaarbasis het meest efficiënt.
- Het kan een uitdaging zijn om zonnepanelen te integreren in het ontwerp. Zonnepanelen zijn lastig op maat te maken, beschikbaar in een beperkt aantal kleuren en kunnen afbreuk doen aan de esthetiek van een gebouw. Ze worden dan ook vaak pas aan een voltooid gebouw toegevoegd, in plaats van dat ze vanaf de start in het ontwerp zijn verwerkt.
- Dit obstakel wordt steeds meer verholpen door de ontwikkeling van dakpannen, ramen, gevelbekleding en (rol)luiken met zonnecellen (zie Figuur 7). Op die manier kan de opwekking van zonne-energie meer geïntegreerd worden in het ontwerp en kunnen de kosten in sommige gevallen teruggebracht worden, omdat de zonnecellen zo een dubbele functie vervullen.



Figuur 7: Zonnedakpannen⁴⁶



Zonneboiler^{47,48}

Bij dit systeem wordt zonnewarmte opgevangen en overgedragen aan water. Dit water wordt opgeslagen in een tank totdat het gebruikt wordt.

- Een zonneboiler is betrouwbaar, heeft een levensduur van minimaal 25 jaar en kan tot wel 70% van de jaarlijkse warmwaterbehoefte van een gemiddeld huishouden dekken. Dit systeem kan zowel in bestaande woningen als nieuwbouw worden geïnstalleerd.
- Een variant op de zonneboiler is de zonneverwarmingsinstallatie. Dit is een zonneboiler met een groter voorraadvat, waardoor het warme water ook gebruikt kan worden voor ruimteverwarming. Deze toepassing is vooral functioneel in het voor- en najaar. In de winter in de zonnewarmte te zwak en de warmtevraag te hoog om met dit systeem in de energievraag te kunnen voorzien.
- Een zonneboiler stoot geen broeikasgassen uit. Tijdens het productieproces van de boilers gebeurt dit echt wel.

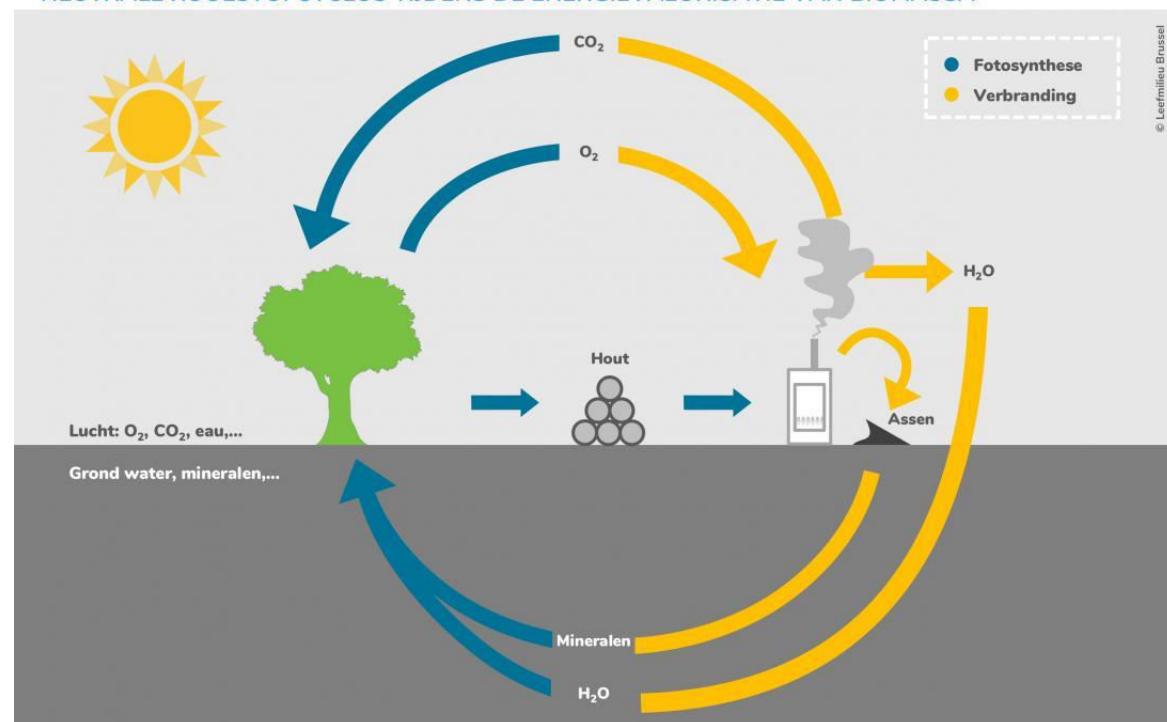


Biomassa^{49,50,51}

Biomassa bestaat uit plantaardige en dierlijke materialen, die verbrand worden om bio-energie op te wekken. Dit type energie kan gebruikt worden voor verwarming van ruimtes en water.

- Tijdens de verbranding van biomassa wordt CO₂ uitgestoten. Dit is echter afkomstig van planten en bomen die de CO₂ tijdens hun groei uit de atmosfeer hebben gehaald. Zolang er niet meer planten worden verbrand dan er aangroeien, komt er dus geen nieuw CO₂ vrij. Hierdoor spreekt men spreekt van een neutrale of gesloten koolstofcyclus (zie Figuur 8).
- Mogelijke bronnen van biomassa-energie zijn:
 - Hout (energiebossen en boomresten)
 - Oliehoudende gewassen (o.a. zonnebloem, raapzaad, soja)
 - Koolhydraatrijke gewassen (o.a. aardappelen, tarwe, maïs, bieten)
 - Vezelrijke planten (o.a. vlas, hennep, sorghum, kenaf)
 - Plantaardige resten (o.a. takken, stengels, stro, wortels, schors)
 - Dierlijk afval
 - Stedelijk afval
 - Industrieel afval
- Als alternatief voor verbranding kan biomassa vergist worden, waardoor er brandbaar biogas wordt opgewekt.
- Biobrandstof wordt steeds populairder als brandstof voor auto's.

NEUTRALE KOOLSTOFCYCLUS TIJDENS DE ENERGIEVALORISATIE VAN BIOMASSA



Figuur 8: De neutrale CO₂-cyclus van energieopwekking met behulp van biomassa⁵²



Warmtenet / stadsverwarming^{53,54,55}

Een warmtenet, ook wel bekend als stadsverwarming, verbindt een centrale warmtebron met meerdere gebruikers van de warmte (zie Figuur 9). Onder een warmtenet valt een systeem van leidingen, maar ook regel- en opslagsystemen en voorzieningen voor extra energietoevoer.

- De meeste warmtenetten hebben water als transportmiddel. Ze zorgen voor een aanvoer van warm water van rond de 70–90°C. Bij voorkeur wordt echter water van 40–55°C geleverd, omdat het warmtenet zo veel efficiënter werkt en er bij het rondpompen relatief weinig energie verloren gaat. Gebouwen worden op het net aangesloten door middel van een warmtewisselaar.
- Een warmtenet kan worden ingezet op wijk-, stad- of regioniveau, maar ook voor individuele gebouwen (blokverwarming). Vooral in wijken waar huizen dicht op elkaar staan zijn warmtenetten interessant.
- Voor het verwarmen van dit water wordt soms nog aardgas gebruikt, maar hiervoor kan ook restwarmte, aardwarmte of andere hernieuwbare energie worden ingezet.
- Een warmtenet op basis van hernieuwbare energie kan de CO₂-uitstoot met wel 50 tot 70% beperken ten opzichte van cv-ketels op aardgas.
- Voor aanvoer van koude kunnen koudnetten worden ingezet. Voor extra efficiëntie kunnen deze worden samengevoegd met warmtenetten.



Figuur 9: Werking van een warmtenet⁵⁶



Restwarmte^{57,58}

Restwarmte is warmte die vrijkomt bij (industriële) processen en die tijdens die processen niet gebruikt wordt. De warmte is dus een restproduct die andere partijen kunnen hergebruiken voor hun warmtevoorziening. Meestal gebeurt dit door middel van een warmtenet.

- Een discussiepunt is dat de industrie nog vooral fossiele brandstoffen gebruikt, waardoor restwarmte een fossiele bron heeft. Daarom zou het nog beter voor het milieu zijn als de industrie minder energie zou gebruiken.
- Restwarmte kan ook worden gewonnen uit afvalwater, zoals douchewater en wat gebruikt door wasmachines. Hier wordt steeds vaker gebruik van gemaakt.

3.4 AANDACHTSPUNTEN BIJ DUURZAME RUIMTELIJKE ONTWIKKELING



Op gebouwniveau^{59,60,61,62}

Gebouwen spelen een belangrijke rol in de energietransitie:

- Gebouwen zijn verantwoordelijk voor zo'n 40% van het energieverbruik en 36% van de CO₂-uitstoot in de EU, voornamelijk vanwege verwarming, koeling en ventilatie.
- Bovendien gaat 20 tot 30% van de energie in utiliteitsgebouwen verloren doordat installaties en systemen voor verwarming, koeling, ventilatie en luchtbehandeling niet optimaal functioneren. Tegelijkertijd worden de energiesystemen in dit soort gebouwen steeds complexer, waardoor de kans op fouten toeneemt.
- De landelijke ambitie is om het energiegebruik van gebouwen drastisch te verlagen totdat gebouwen zoveel mogelijk energieneutraal zijn, gecombineerd met lokale opwekking van duurzame energie.
- Ook is er steeds meer aandacht voor smart buildings: gebouwen die hun eigen energieverbruik optimaal aansturen, door middel van sensoren, sturingen, algoritmes en dashboards voor monitoring.
 - Zo worden fouten sneller opgespoord, wordt er minder energie verspild en wordt het binnenklimaat gezonder.
 - Ook kan het gebouw zich zo beter aanpassen aan de pieken en dalen van het elektriciteitsnet. Wind- en zonne-energie kunnen voor onverwachte piekbelasting zorgen. Grote mate van flexibiliteit in onze energiesystemen is daarom van belang.

Omdat er op gebouwniveau nog veel te behalen valt qua verduurzaming, komen duurzame maatregelen op dit niveau op de eerste plek, vóór maatregelen op hogere schaalniveaus. Hoe verder de energievraag op gebouwniveau gereduceerd wordt, hoe minder de keuzes op hogere schaalniveaus van belang zijn⁶³.

Vuistregels en aandachtspunten^{64, 65, 66,67}

- Denk integraal: bekijk woonkwaliteit, toekomstvisie, energiekosten, bouwkundige kwaliteit en installatietechniek in samenhang.
- Zorg eerst voor een goed doordacht ontwerp van de woning, waarin de energiebehoefte is geminimaliseerd. Ga pas daarna aan de slag met duurzame, energiezuinige installaties.
- Zet tijdens de ontwerpfase in op minimaal warmteverlies, o.a. door compact te bouwen, de gebouwworm te optimaliseren en de juiste installaties en materialen toe te passen.
- Beperk de energievraag door bouwkundige maatregelen te nemen:
 - Isolatie van de vloer, gevel en dakconstructie
 - Installeren/vervangen van kozijnen en glas door geïsoleerde kozijnen en HR++-glas of drieboudige beglazing
 - Optimaliseren van de luchtdichtheid
 - Passieve koeling door zonwering en overstekken
- Kijk ook naar het verduurzamen van bedrijventerreinen. Dit type bebouwing wordt vaak over het hoofd gezien, maar kan een grote bijdrage leveren aan het realiseren van milieuwinst.

Extra aandachtspunten bij renovatie van bestaande (historische) gebouwen⁶⁸

- Bekijk welke kenmerken van het originele ontwerp kunnen worden gebruikt of hersteld met het oog op duurzame energie, zoals daglicht, natuurlijke ventilatie en warmteopslag.
- Overweeg hoe duurzame energie-installaties ter plekke kunnen worden geïntegreerd. Kunnen ze aan het oog worden onttrokken, bijvoorbeeld door ze te plaatsen in een afgesloten ruimte, op het dak, op de parkeerplaats of op enige afstand van het gebouw?



Op wijkniveau

Het volgende niveau is het realiseren van duurzame energiesystemen op straat- en wijkniveau. Hierbij ligt de focus op het positioneren van functies op zo'n manier dat uitwisseling van warmte en koude zo eenvoudig mogelijk is.

Vuistregels en aandachtspunten^{69,70}

- Optimaliseer de energie-infrastructuur. Maak transportafstanden zo klein mogelijk om energieverlies en hoge kosten zoveel mogelijk te beperken. Plaats de locatie waar energie wordt gewonnen zo dicht mogelijk bij de plek waar die wordt gebruikt.
- Overweeg welke functies bij elkaar gepland moeten worden. Breng bijvoorbeeld de vraag en aanbod van warmte en/of koude ruimtelijk bij elkaar.
- Reserveer ruimte voor duurzame energieoplossingen, zoals warmtenetten en verdeelstations.
- Zet bij grotere ontwikkelingen in op collectieve systemen, zoals WKO en geothermie.
- Benut warmteoverschotten door ontsluiting via warmtenetten of plaatselijke opslag ondergronds.
- Minimaliseer het energiegebruik door juiste benutting van zon en schaduw.
 - Pas zongerichte verkaveling toe, zodat passieve zonne-energie optimaal wordt benut en er mogelijkheden zijn voor het toepassen van zonnepanelen.
 - Creëer natuurlijke schaduw door middel van bomen of zorg ervoor dat er groen en water in de buurt aanwezig is, om zo de koellast in de zomer te verlagen.

Smart Urban Isle (SUI)^{71, 72, 73}

‘Smart Urban Isle’ (SUI) is een Europese aanpak die zich richt op het ontwikkelen van collectieve energiesystemen op wijkniveau, met een maximale lokale energiebalans. Dat wil zeggen dat het gebied qua energie zelfvoorzienend of zelfs energiepositief is. De mogelijkheden om dit te realiseren worden bottom-up ontwikkeld op basis van de lokale bronnen en het besparingspotentieel van de wijk. Zo wordt de optimale mix bereikt door in te spelen op de lokale context.

Het creëren van een SIU gebeurt in 5 stappen, die in elk type wijk kunnen worden toegepast:

Stap 1 – Breng het gebied in kaart.

- Wat is de oppervlakte van het gebied?
- Hoeveel woningen zijn er?
- Hoeveel utiliteitsgebouwen zijn er?
- Wanneer zijn de gebouwen gebouwd?
- Welke typen materialen, installaties en isolatie zijn er aanwezig?
- Welke energielabels hebben de gebouwen?

Stap 2 – Inventariseer het huidige energiesysteem.

- Op welke energiesystemen is de wijk aangesloten?
 - Is er een warmtenet aanwezig?
 - Is er een collectief energiesysteem aanwezig?
 - Zijn er duurzame energievoorzieningen aanwezig? Welk aandeel hebben die in het totale energieverbruik?
- Wat is het actuele energieverbruik?
 - Wat is het gasverbruik? (voor ruimteverwarming, water en koken)
 - Wat is de netto warmtevraag?

Stap 3 – Analyseer de energiepotentie.

- Op welke manieren kan de energievraag gereduceerd worden? (dubbel glas, spouwmuur, basisisolatie, zonwering, ventilatie, lagere maximale radiatortemperatuur, ...)
- Hoeveel energie kan er lokaal opgewekt worden uit zon, wind, afval, water en restwarmte?

Stap 4 – Ontwikkel duurzame energieoplossingen.

- Welke duurzame technieken en energiesystemen kunnen worden toegepast op basis van de lokale energiebronnen? (zonnepanelen, zonneboiler, warmtepomp, warmtenet, WKO, bio-energie, aardwarmte, ...)

Stap 5 – Vergelijk en beoordeel de systemen.

- Welk duurzaam energiesysteem levert de hoogste energieprestatie?
- Welk duurzaam energiesysteem heeft de meeste (overige) voordelen?

3.5 EISEN & CERTIFICERING



Bijna Energieneutrale Gebouwen (BENG)^{74,75,76}

Vanaf 1 januari moeten bouw- en renovatieprojecten voldoen aan de eisen van Bijna Energieneutrale Gebouwen (BENG). De energieprestatie van een project wordt bepaald aan de hand van drie eisen, die zijn gebaseerd op de Trias Energetica. De grenswaarden verschillen per type gebouw (zie Figuur 10). De eisen luiden als volgt:

1. **BENG 1:** De maximale energiebehoefte in kWh per m² gebruiksoppervlak per jaar.
 - Deze eis kijkt naar de energiezuinigheid van een gebouw. Factoren als de verhouding glas ten opzichte van dichte gevel, de mate van isolatie, de mate van kierdichting en de aanwezigheid van koudebruggen worden hierin meegenomen.
 - De energiebehoefte voor verwarming en koeling wordt opgeteld.
 - BENG 1 houdt rekening met de verhouding tussen vloeroppervlak en geveloppervlak. Hoe compacter een gebouw, hoe strenger de norm.
2. **BENG 2:** Het maximale primair fossiel energiegebruik, ook in kWh per m² gebruiksoppervlak per jaar. De energievraag van een gebouw moet zoveel mogelijk uit hernieuwbare energie bestaan.
 - Het primair fossiel energiegebruik is het totaal aan primair energiegebruik voor verwarming, koeling, warmwatertapbereiding en ventilatoren.
3. **BENG 3:** Het minimale aandeel hernieuwbare energie in procenten (%). De resterende energiebehoefte moet zo efficiënt mogelijk worden ingevuld.
 - Hernieuwbare energie is afkomstig uit zon, biomassa, buitenlucht en bodem.
 - Het aandeel hernieuwbare energie wordt bepaald door de hoeveelheid hernieuwbare energie te delen door het totaal van hernieuwbare energie en primair fossiel energiegebruik.

Eisen BENG-indicatoren		Energiebehoefte EP1 (kWh/jaar/m²)						Primair fossiel energieverbruik EP2 (kWh/jaar/m²)	Aandeel hernieuwbaar energie EP3 (%)
		Als is de Verliesoppervlakte (vloer, gevel, dak) en A _g is de gebruiksoppervlakte, beide grootheden in m². Deze verhouding bepaalt de vereiste energiebehoefte							
		A _{is} /A _g ≤ 1,83	A _{is} /A _g > 1,83 en ≤ 3,0	A _{is} /A _g > 3,0	A _{is} /A _g ≤ 1,5	A _{is} /A _g > 1,5 en ≤ 3,0	A _{is} /A _g ≤ 1,8	A _{is} /A _g > 1,8	
1 Woonfunctie									
a	in een woongebouw	65	55 + 30 x (A _{is} /A _g - 1,5)	100 + 50 x (A _{is} /A _g - 3,0)	nvt			nvt	40
b	woonwageng			100 + 30 x (A _{is} /A _g - 2,0) bij alle verhoudingen A _{is} /A _g					50
c	drijvend bouwwerk ligplaats na 1-1-2018			80 + 30 x (A _{is} /A _g - 1,5) bij alle verhoudingen A _{is} /A _g					60
d	drijvend bouwwerk andere ligplaats			80 + 30 x (A _{is} /A _g - 1,5) bij alle verhoudingen A _{is} /A _g					50
e	andere woonfunctie								70
2 Blijeenkomstfunctie									
a	voor kinderopvang								30
b	andere blijeenkomstfunctie								40
3 Cefunctie									
a	in een celengebouw								70
b	andere cefunctie								60
4 Gezondheidszorgfunctie									
a	met bedgebied								120
b	andere zorgfunctie								120
5 Industriefunctie									
a	andere zorgfunctie								160
6 Kantoorfunctie									160 + 35 x (A _{is} /A _g - 1,8)
7 Logistiefunctie									
a	in een logistiegebouw								130
b	andere logistiefunctie								40
8 Onderwijsfunctie									50
a	andere logistiefunctie								70
9 Sportfunctie									40
10 Winkelruimte									40
11 Overige gebruikersfunctie									60
12 Bouwwerk geen gebouw zijnde									30

Figuur 10: BENG-eisen voor verschillende gebouwtypen⁷⁷



BREEAM-NL 78,79,80,81

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) is een certificeringsmethode voor duurzame gebouwen, die wordt toegepast sinds 2009. De methode is wereldwijd de meest gebruikte maatstaf om de duurzaamheidsprestaties van een gebouw te meten.

- De methode is ontwikkeld door het Building Research Establishment (BRE), een Engelse onderzoeksinstantie, en wordt inmiddels gebruikt in meer dan 80 landen. Dutch Green Building Council heeft de methode toegespitst op Nederland, met de certificering BREEAM-NL als resultaat.
 - Door middel van een score in procenten wordt de duurzaamheid van een gebouw uitgedrukt (zie Figuur 11).
- BREEAM-NL bestaat uit vier keurmerken:
 - BREEAM-NL Nieuwbouw, voor nieuwbouwprojecten.
 - BREEAM-NL In-Use, voor bestaande utiliteitsgebouwen en woningen.
 - BREEAM-NL Sloop en Demontage, voor slooppjecten.
 - BREEAM-NL Gebied, voor complete gebieden.

BREEAM-NL-kwalificatie	Score
Outstanding*	≥ 85%
Excellent	≥ 70%
Very good	≥ 55%
Good	≥ 45%
Pass	≥ 30%
Unclassified	< 30%

Figuur 11: Drempelwaarden eindscore BREEAM-NL⁸²

Hoe kun je je project certificeren?⁸³

- Bepaal je ambitie. Welke duurzame maatregelen wil je toepassen en wat is financieel en technisch haalbaar?
 - Kies het keurmerk dat op jouw project van toepassing is.
 - Vorm een projectteam. Betrek bijvoorbeeld een BREEAM-NL Expert bij het project, die het certificeringsproces soepel kan laten verlopen en ervoor kan zorgen dat de hoge duurzaamheidseisen gehaald worden.
- Bouw je projectdossier op in de assessmenttool. Zo wordt de duurzaamheidsprestatie van je project meetbaar en aantoonbaar. De BREEAM-NL Expert coördineert het verzamelen van de bewijslast.
 - Dien je project in en ontvang je certificaat. Wanneer je alle bewijs hebt aangeleverd, beoordeelt een BREEAM-NL Assessor het project. Dit is een onafhankelijke deskundige die controleert of de bewijslast in orde is. Vervolgens kan het project ook steekproefsgewijs gecontroleerd worden door Dutch Green Building Council. Hierna ontvang je het certificaat.

3.6 CASESTUDIES

Triodos Bank De Reehorst⁸⁴

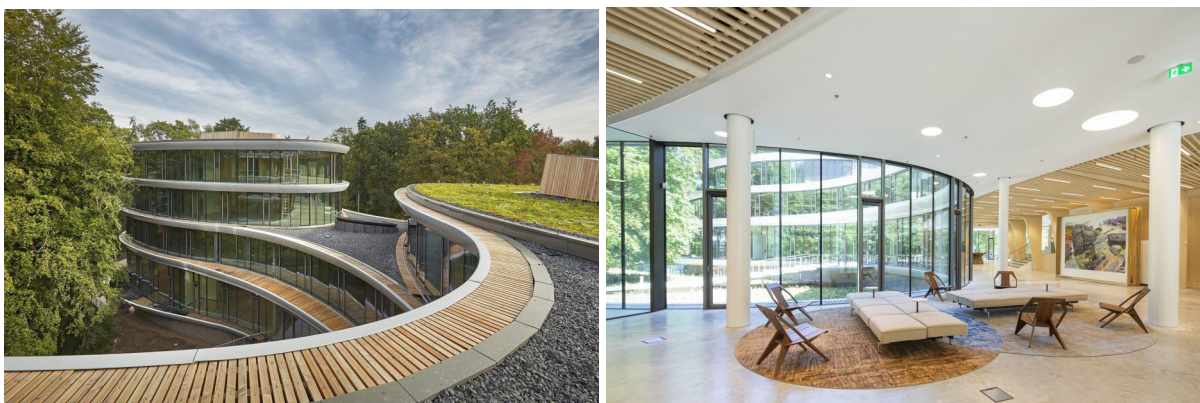
DRIEBERGEN-ZEIST

Dit kantoor van Triodos Bank is opgeleverd in 2019 en heeft een BREEAM-score van 94,32%. Het gebouw beslaat 12.994 m² kantoorruimte en bevindt zich op een landgoed van 27,5 hectare. Focuspunten binnen het ontwerp zijn duurzaamheid, circulariteit en harmonie met de omliggende natuur.

Het gebouw bestaat uit een houten constructie en is volledig demonteerbaar, waardoor het uit elkaar gehaald kan worden en ergens anders opnieuw kan worden gebouwd. Bovendien zijn alle bouwmaterialen hergebruikt en herbruikbaar. Verder is het kantoor voorzien van een glazen gevel die een 360° uitzicht biedt op het omliggende landgoed en grote hoeveelheden daglicht binnenlaat. Er wordt ook gebruik gemaakt van kunstlicht, dat zich gedurende de dag aanpast aan de benodigde hoeveelheid licht.

Het gebouw heeft groendaken die water vasthoudend en een koelend effect hebben. Regenwater wordt gebruikt als spoelwater en voor de bewatering van de daktuinen.

Het gebouw is energieneutraal en maakt gebruik van een wko-systeem voor verwarming en koeling. Het dak van de parkeergarage is uitgerust met zonnepanelen, waarmee zowel het gebouw als elektrische auto's van energie worden voorzien. Als eerste gebouw ter wereld beschikt het kantoor over een slim oplaadsysteem dat bidirectioneel opladen mogelijk maakt: het energiesysteem kan elektrische auto's opladen, maar auto's kunnen ook energie terug leveren aan het systeem. Hierdoor kan de opgewekte zonne-energie op flexibele wijze worden opgeslagen.



Figuur 12 en 13: Triodos Bank De Reehorst⁸⁵

Rhenus Logistics^{86,87}

TILBURG

Het distributiecentrum van Rhenus Logistiscs, ontwikkeld door DOKVAST, ontving in 2019 een BREEAM-score van maar liefst 99,4%. Hiermee is dit het duurzaamste industriële gebouw ter wereld.

Het langwerpige gebouw met als bijnaam "The Tube" beschikt over ruim 13.000 zonnepanelen, die samen bijna 4 miljoen kWh per jaar produceren. Hiermee bespaart het bedrijf op jaarbasis bijna 2,2 miljoen kilo CO₂.

Het gebouw produceert zoveel energie dat het kan terug leveren aan het systeem, waarmee ongeveer 750 huishoudens per jaar van energie worden voorzien. Bovendien is het gebouw volledig luchtdicht en beschikt het over twee warmtepompen die warmte aan de buitenlucht onttrekken.

Voor bijzonder koude dagen beschikt het gebouw over elektrische boilers. Beide uiteinden van het gebouw zijn voorzien van raampartijen die daglicht binnenlaten, waarmee 70% elektriciteit op verlichting wordt bespaard. De toiletten worden doorgespoeld met regenwater dat op het dak van het gebouw wordt verzameld.



Figuur 14 en 15: "The Tube"^{88,89}

Westfield Chodov^{90,91}

PRAAG

Dit winkelcentrum in Praag werd gebouwd in 2005 en uitgebreid in 2017. Het is ontwikkeld door Unibail-Rodamco-Westfield en kreeg in 2022 een BREEAM-score van 80%. Het winkelcentrum beslaat tegenwoordig een oppervlakte van 101.200 m² en heeft 310 winkels en 3.429 parkeerplaatsen.

Het winkelcentrum draait volledig op hernieuwbare energie. Er wordt energie gewonnen door middel van zonnepanelen en kleine windturbines op het dak. Het gebouw beschikt over verzamel- en reinigingssysteem voor water, waardoor de jaarlijkse consumptie van drinkwater in het gebouw met 13.200 m³ is verminderd.

De toiletten worden doorgespoeld met grondwater en bovendien worden er 18 verschillende typen afval in het gebouw gescheiden. In 2020 werd 1.180 ton afval gesorteerd in het winkelcentrum, waarvan 348 ton volledig werd gerecycled. De rest werd gebruikt voor warmte- en elektriciteitsproductie. Verder beschikt het winkelcentrum over 13.000 sensoren die de energieprestatie van het gebouw monitoren. Het systeem controleert de luchtcirculatie en verlichting zo efficiënt mogelijk, afhankelijk van gebruikstijden en weersomstandigheden.



Figuur 16 en 17: Westfield Chodov⁹²

Tribe Apartments^{93,94,95}

MANCHESTER

Voor dit project zijn drie leegstaande en vervallen woontorens in het centrum van Manchester getransformeerd tot moderne en ruime appartementen. De woontorens bestaan uit 13 verdiepingen, zijn gebouwd in de jaren '50. Ze stonden al sinds 1994 leeg en waren onbewoonbaar geworden. Vanwege het negatieve effect dat deze leegstand had op de stad besloten verschillende publieke en private partijen de torens nieuw leven in te blazen. Tribe Apartments beschikt nu over een "outstanding" BREEAM-score van 86.4%.

De getransformeerde torens bevatten elk 64 appartementen; 192 in totaal. Voorheen beschikten de appartementen over balkons die bestonden uit een verlenging van de betonnen constructie. Hierdoor ontstond een grote koudebrug, die 70% van de appartementen trof.

Tijdens de transformatie werd een nieuwe thermisch efficiënte buitengevel om de bestaande balkons geplaatst, waardoor de koudebrug is verminderd. Hierdoor konden de appartementen ook van binnen worden voorzien van een nieuwe indeling, waardoor ze nu groter en bruikbaar zijn.

Om de isolatie te verbeteren zijn de gevel en het dak aangepast, en zijn de torens van ramen met dubbel en driedubbel glas voorzien. Er wordt gebruik gemaakt van energiezuinige verlichting en slimme meters. Ook beschikt elke toren over een gecentraliseerde verwarmingsinstallatie: een biomassaboiler met een capaciteit van 400 kWh. De schatting is dat hiermee 27 ton CO₂ zal worden bespaard tijdens de levensduur van de gebouwen. De ventilatie bestaat uit efficiënte ventilatoren die continu draaien en intensiever werken wanneer sanitaire voorzieningen worden gebruikt.



Figuur 18 en 19: Tribe Apartments⁹⁶

LITERATUURLIJST

- ¹ Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. (Z.d.). *Energietransitie*. RIVM. Geraadpleegd op 26 mei 2022, van <https://www.rivm.nl/onderwerpen/energietransitie>.
- ² Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2022, 14 april). *Klimaatbeleid*. Rijksoverheid. Geraadpleegd op 26 mei 2022, van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatbeleid>.
- ³ Ministerie van Infrastructuur & Milieu. (2011, 28 november). *Concept Handreiking Duurzame Ruimtelijke Ontwikkeling*. HandreikingDRO.NI. Geraadpleegd op 2 juni 2022, van http://www.handreikingdro.nl/uploads/2011028_hDRO_concept_nw.pdf.
- ⁴ Vattenfall. (Z.d.). *Een duurzaam gebouwde omgeving zonder CO₂-uitstoot*. Geraadpleegd op 17 juni 2022, van <https://www.vattenfall.nl/grootzakelijk/sectoren/vastgoed/paris-proof/>.
- ⁵ Subvention. (2019, 10 december). *6 redenen om te beleggen in een pand met duurzaamheidslabel*. Geraadpleegd op 17 juni 2022, van <https://www.subvention.nl/vastgoed/6-redenen-om-te-beleggen-in-een-pand-met-duurzaamheidslabel/>.
- ⁶ Kluin, J. (2020, 26 oktober). *Alles Over Duurzaam Bouwen I De Ultieme Gids*. Planeka. Geraadpleegd op 2 juni 2022, van <https://www.planeka.nl/blog/duurzaam-bouwen/>.
- ⁷ Agentschap NL. (2012, juli). *Thema uitgewerkt voor de corporatiesector: Innovatieve energieconcepten*. <https://www.nieman.nl/wp-content/uploads/2012/10/Themablad-Innovatieve-Energieconcepten.pdf>.
- ⁸ Yükses, İ., & Karadağ, İ. (2021). Use of Renewable Energy in Buildings. In T. Taner, A. Tiwari, & T. S. Ustun (Reds.), *Renewable Energy: Technologies and Applications*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.84929>.
- ⁹ BouwTotaal. (2014, mei). Woning bouwen volgens het Passiefhuisconcept. *BouwTotaal*. Geraadpleegd op 2 juni 2022, van <https://www.nieman.nl/wp-content/uploads/2014/05/BT.04.14.Passiefhuis.pdf>.
- ¹⁰ Agentschap NL. (2012, juli).
- ¹¹ Agentschap NL. (2012, juli).
- ¹² Yükses, İ., & Karadağ, İ. (2021).
- ¹³ Wei, S. (2018). Renewable Energy Technologies Applied in Architecture and Its Innovative Research. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 186. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/186/4/012007>.
- ¹⁴ Yükses, İ., & Karadağ, İ. (2021).
- ¹⁵ BouwTotaal. (2014, mei).
- ¹⁶ Yükses, İ., & Karadağ, İ. (2021).
- ¹⁷ Braungardt, S., Bürger, V., Zieger, J., & Kenkmann, T. (2018, juni). *Contribution of Renewable Cooling to the Renewable Energy Target of the EU*. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO). [https://www.rvo.nl/sites/default/files/2018/07/Contribution%20of%20Renewable%20Cooling%20to%20the%20Renewable%20Energy%20Tar](https://www.rvo.nl/sites/default/files/2018/07/Contribution%20of%20Renewable%20Cooling%20to%20the%20Renewable%20Energy%20Target%20of%20the%20EU.pdf)
- ¹⁸ Yükses, İ., & Karadağ, İ. (2021).
- ¹⁹ RVO. (2017f, 7 september). *Warmtevoorziening Gebouwde Omgeving*. Geraadpleegd op 2 juni 2022, van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/verduurzaming-warmtevoorziening/warmtevoorziening>.
- ²⁰ Gids Duurzame Gebouwen. (2017b, 7 november). *Warmtekrachtkoppeling*. Geraadpleegd op 2 juni 2022, van <https://www.gidsduurzamegebouwen.brussels/warmtekrachtkoppeling>.
- ²¹ Gids Duurzame Gebouwen. (2020, 23 april). *Overzicht van de elementen voor een duurzame keuze*. Geraadpleegd op 2 juni 2022, van <https://www.gidsduurzamegebouwen.brussels/optimale-productie-opslagwijze-verwarming-sanitair-warm-water-kiezen/overzicht-elementen-duurzame>.
- ²² Icoon door Freepik, via www.flaticon.com.
- ²³ Gids Duurzame Gebouwen. (2017a, 26 juni). *Warmtepomp / Starten*. Geraadpleegd op 2 juni 2022, van <https://www.gidsduurzamegebouwen.brussels/warmtepomp/starten>.
- ²⁴ Souza, E. (2022, 25 januari). *Geothermal Energy: Using the Earth to Heat Buildings and Generate Electricity*. ArchDaily. Geraadpleegd op 2 juni 2022, van <https://www.archdaily.com/975502/geothermal-energy-using-the-earth-to-heat-buildings-and-generate-electricity>.
- ²⁵ Gids Duurzame Gebouwen. (2020, 23 april).
- ²⁶ Icoon door Creative Stall Premium, via www.flaticon.com.
- ²⁷ RVO. (2017b, 6 februari). *Warmte- en koudeopslag - de betrouwbare energiebron*. Geraadpleegd op 2 juni 2022, van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/technieken%2C-beheer-en-innovatie-gebouwen/warmte-en-koudeopslag>.
- ²⁸ Agterberg, F. P. W., MBA. (2017, maart). *Startdocument Roadmap Bodemenergie*. RVO. https://www.rvo.nl/sites/default/files/2017/04/2016%20Startdocument%20RM%20BE_vertaald_def.pdf.
- ²⁹ Milieu Centraal. (z.d.-b). *Warmtenet zonder aardgas: wat zijn de voordelen?* Geraadpleegd op 2 juni 2022, van <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/aardgasvrij-wonen/warmtenet-sonder-aardgas/>.
- ³⁰ Icoon door Freepik, via www.flaticon.com.
- ³¹ Braungardt, S., Bürger, V., Zieger, J., & Kenkmann, T. (2018, juni).
- ³² Gids Duurzame Gebouwen. (2016, 14 juli). *Aardwarmtewisselaar*. Geraadpleegd op 2 juni 2022, van <https://www.gidsduurzamegebouwen.brussels/aardwarmtewisselaar>.
- ³³ Yükses, İ., & Karadağ, İ. (2021).
- ³⁴ RVO. (2017g, oktober 4). *Bodemwarmtewisselaars*. Geraadpleegd op 2 juni 2022, van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/bodemenergie-en-aardwarmte/gesloten-systemen/bodemwarmtewisselaars>.
- ³⁵ Agterberg, F. P. W., MBA. (2017, maart).
- ³⁶ Icoon door Freepik, via www.flaticon.com.
- ³⁷ Agterberg, F. P. W., MBA. (2017, maart).
- ³⁸ Geoservices. (2019, 7 december). *Bodem/Water warmtepomp*. Geoservices Warmtepompen. Geraadpleegd op 2 juni 2022, van <https://www.aardwarmtepompen.be/bodem-water-grond-water-warmtepomp-gesloten-systeem/>.
- ³⁹ Milieu Centraal. (z.d.-a). *Aardwarmte: duurzame warmte uit de grond*. Geraadpleegd op 2 juni 2022, van <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/energiebronnen/aardwarmte/>.
- ⁴⁰ Icoon door Freepik, via www.flaticon.com.

⁴¹ Hayter, S., & Kandt, A. (2011, augustus). *Renewable Energy Applications for Existing Buildings*. 48th AiCARR International Conference, Baveno-Lago Maggiore, Italië.

⁴² Souza, E. (2021, 27 oktober). *How to Overcome the Challenges of Designing with Solar Technology*. ArchDaily. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://www.archdaily.com/969897/how-to-overcome-the-challenges-of-designing-with-solar-technology>.

⁴³ Ghisleni, C. (2021, 8 september). *Solar Panels in Residential Projects: Efficiency Without Compromising the Aesthetics*. ArchDaily. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://www.archdaily.com/967776/solar-panels-in-residential-projects-efficiency-without-compromising-the-aesthetics>.

⁴⁴ Yükses, İ., & Karadağ, İ. (2021).

⁴⁵ Hayter, S., & Kandt, A. (2011, augustus).

⁴⁶ Hayter, S., & Kandt, A. (2011, augustus).

⁴⁷ RVO. (2011, 13 februari). *Zonnewarmte*. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/zonne-energie/zonnewarmte>.

⁴⁸ Gids Duurzame Gebouwen. (2020, 23 april).

⁴⁹ Yükses, İ., & Karadağ, İ. (2021).

⁵⁰ RVO. (2017a, 27 januari). *Beleid Bio-energie*. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/bio-energie/beleid>

⁵¹ Milieu Centraal. (z.d.-b).

⁵² Gids Duurzame Gebouwen. (2020, 23 april).

⁵³ RVO. (2017d, 20 februari). *Warmtenetten*. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/verduurzaming-warmtevoorziening/warmtenetten>

⁵⁴ Milieu Centraal. (z.d.-b).

⁵⁵ Icoon door Freepik, via www.flaticon.com.

⁵⁶ Milieu Centraal. (z.d.-b).

⁵⁷ RVO. (2017c, 20 februari). *Restwarmte*. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/restwarmte>

⁵⁸ Milieu Centraal. (z.d.-b).

⁵⁹ Verbeke, S., & Saelens, D. (2020, 31 maart). *Wat is de rol van gebouwen in het energiesysteem van de toekomst?* EOS Wetenschap. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://www.eoswetenschap.eu/technologie/wat-de-rol-van-gebouwen-het-energiesysteem-van-de-toekomst>.

⁶⁰ TU Delft. (z.d.). *De vinger aan de pols voor beter presterende gebouwen*. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://www.tudelft.nl/stories/articles/de-vinger-aan-de-pols-voor-beter-presterende-gebouwen>.

⁶¹ NWO. (2020, 8 september). *NWO / Met slimme gebouwen naar een duurzame toekomst*. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://www.nwo.nl/cases/met-slimme-gebouwen-naar-een-duurzame-toekomst>.

⁶² Yükses, İ., & Karadağ, İ. (2021).

⁶³ Ministerie van Infrastructuur & Milieu. (2011, 28 november).

⁶⁴ Ministerie van Infrastructuur & Milieu. (2011, 28 november).

⁶⁵ Verbeke, S., & Saelens, D. (2020, 31 maart).

⁶⁶ TNO. (z.d.-a). *Naar een energie producerende gebouwde omgeving*. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/energietransitie/roadmaps/duurzame-ondergrond/naar-een-energie-producerende-gebouwde-omgeving/#:%7E:text=TNO%20draagt%20op%20uiteenlopende%20gebieden,opwekking%2C%20slimme%20energiesystemen%20en%20beleidsondersteuning..>

⁶⁷ Agentschap NL. (2012, juli).

⁶⁸ Hayter, S., & Kandt, A. (2011, augustus).

⁶⁹ Ministerie van Infrastructuur & Milieu. (2011, 28 november).

⁷⁰ Verbeke, S., & Saelens, D. (2020, 31 maart).

⁷¹ Jansen, S., Mohammadi, S., & Fortuijn, E. (2020, 2 september). *Wijkenergieplannen: maximaal lokaal duurzaam*. Rooilijn. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://www.rooilijn.nl/artikelen/wijkenergieplannen-maximaal-lokaal-duurzaam/>.

⁷² RVO. (2017f, 7 september).

⁷³ TNO. (z.d.-b). *Versnelde renovatie van woningen en gebouwen*. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/energietransitie/roadmaps/duurzame-ondergrond/naar-een-energie-producerende-gebouwde-omgeving/versnelde-renovatatie-van-woningen-en-gebouwen/>.

⁷⁴ Kluin, J. (2020, 26 oktober).

⁷⁵ RVO. (2017e, 12 juli). *Energieprestatie indicatoren - BENG*. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/beng/indicatoren>.

⁷⁶ Icoon door kerismaker, via www.flaticon.com.

⁷⁷ Exalius. (2021, 26 februari). *BENG berekening laten maken?* Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://exalius.nl/beng-berekening-laten-maken/>.

⁷⁸ Agentschap NL. (2010, juni). *Centraal stellen van duurzame energieambities in het gebiedsontwikkelingsproces*. https://www.bodemplus.nl/publish/pages/91810/centraal_stellen_van_duurzame_e_ambities_in_het_gebiedsontwikkelingsproces.pdf.

⁷⁹ BREEAM-NL. (z.d.-b). *Wat is BREEAM-NL*. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://www.breeam.nl/wat-is-breeam-nl-1>.

⁸⁰ Dutch Green Building Council. (2020, juni). *BREEAM-NL Nieuwbouw: Keurmerk voor duurzame vastgoedobjecten - Beoordelingsrichtlijn 2020 versie 1.0*. <https://richtlijn.breeam.nl/upload/files/Nieuwbouw%20en%20Renovatatie/Versie%202020%20v1.0/BRL%20BREEAM-NL%20Nieuwbouw%202020%20v1.pdf>.

⁸¹ Icoon door BomSymbols, via www.flaticon.com.

⁸² Dutch Green Building Council. (2020, juni).

⁸³ BREEAM-NL. (z.d.-a). *Certificeer je project in 5 stappen*. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://www.breeam.nl/certificeren-in-5-stappen>.

⁸⁴ BRE Group. (2022a, 31 maart). *Tridos Bank De Reehorst rewarded with BREEAM Outstanding with displays of ground breaking developments in sustainability and circular potential*. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://bregroup.com/case-studies/breeam-case-studies-real-estate/tridos-bank-de-reehorst-rewarded-with-breeam-outstanding-with-displays-of-ground-breaking-developments-in-sustainability-and-circular-potential/>.

⁸⁵ BRE Group. (2022a, 31 maart).

⁸⁶ KiesZon. (2021, 26 oktober). *Het meest duurzame gebouw ter wereld?* Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://www.kieszon.nl/nieuws/bericht/het-meest-duurzame-gebouw-ter-wereld/>.

⁸⁷ Cowan, B. M. (2019, 12 augustus). Is this the world's most sustainable building? *BBC News*. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://www.bbc.com/news/science-environment-49130995>.

⁸⁸ Cowan, B. M. (2019, 12 augustus).

⁸⁹ Reynaers Aluminium. (2022, 10 maart). *DC New Logic III*. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://www.reynaers.com/en/get-inspired/aluminium-project-references/dc-new-logic-iii>.

⁹⁰ Unibail-Rodamco-Westfield. (z.d.). *Westfield Chodov*. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://www.urw.com/Website%7Eo%7Econtent/Assets/Shopping%7Eo%7ECentre/Westfield-Chodov/Portfolio>.

⁹¹ CIJ News iDesk III. (2022, 3 februari). *Westfield Chodov shopping center in Prague has received BREEAM In-Use certification*. CIJ. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://cijeuropa.com/en/westfield-chodov-shopping-center-in-prague-has-received-breeam-in-use-certification/post.html#:~:text=Groundwater%20is%20largely%20used%20for,101%20four%2Dmember%20Czech%20households>.

⁹² Unibail-Rodamco-Westfield. (z.d.).

⁹³ BRE Group. (2022c, juni 8). *Tribe Apartments commit to regenerate and resurrect iconic architecture in Manchester*. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://bregroup.com/case-studies/breeam-case-studies-real-estate/tribe-apartments-commit-to-regenerate-and-resurrect-iconic-architecture-in-manchester/>.

⁹⁴ Barlow, N. (2015, 20 mei). £1m energy fund for Manchester's Tribe Towers. *About Manchester*. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://aboutmanchester.co.uk/1m-energy-fund-for-manchesters-tribe-towers/>.

⁹⁵ Smithers-Men, D. (2016, 21 maart). BREEAM outstanding award for Pozzoni scheme. *Manchester Evening News*. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://www.manchestereveningnews.co.uk/business/property/breeam-outstanding-award-pozzoni-scheme-11073102>.

⁹⁶ Pozzoni Architecture. (z.d.). *Tribe Apartments*. Geraadpleegd op 8 juni 2022, van <https://www.pozzoni.co.uk/projects/tribe-towers>.

Foto inleiding: Würth, K. (2016, 22 juni). [Windmill on grass field during golden hour]. Unsplash. <https://unsplash.com/photos/0w-uTa0Xz7w>.
Foto achterblad: Jiner, K. (2021, 26 maart). *Solar panels on La Seine Musicale in Paris* [Foto]. Unsplash. https://unsplash.com/photos/9qESDrIpkIA?utm_source=unsplash&utm_medium=referral&utm_content=creditShareLink



EPICURUS[®]
pure real estate

EUP
DESIGN

E.CP
EPICURUS CENTRUM PROJECTEN