



Universiteit
Leiden
The Netherlands

The energy and material related impacts of the transition towards low-carbon heating: a case study of the Netherlands

Verhagen, T.J.

Citation

Verhagen, T. J. (2023, February 1). *The energy and material related impacts of the transition towards low-carbon heating: a case study of the Netherlands*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3514615>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/3514615>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).



Samenvatting

Samenvatting

De bijna onverzadigbare vraag naar energie van onze moderne samenleving heeft geleid tot een sterke afhankelijkheid van fossiele brandstoffen. Van alle broeikasgassen die in de wereld worden geproduceerd, is energieproductie verantwoordelijk voor 72% (IEA, 2020). Om de uitstoot te verminderen en zich aan te passen aan de gevolgen van klimaatverandering, ondertekenden 196 landen in 2015 het akkoord van Parijs. In dit akkoord streven landen naar een klimaat neutrale wereld in 2050 en daarmee het gebruik van fossiele brandstoffen volledig af te schaffen. Voor de energiesector heeft dit geleid tot de energietransitie; de transitie van op fossiele brandstoffen gebaseerde systemen voor energieproductie en -verbruik naar hernieuwbare energiebronnen.

Onderzoek naar energietransitie heeft zich voornamelijk gericht op de elektriciteitssector en transportbrandstoffen (Liang et al., 2022; Tang et al., 2021). Tot nu toe is er zeer weinig aandacht besteed aan de verwarmingssector. Deze dissertatie vult dit gat op door een kritiek onderdeel van de energietransitie te onderzoeken: de overgang naar fossielvrije stadsverwarming. Gebouwen zijn verantwoordelijk voor 40% van de wereldwijde energievraag, waarvan het grootste deel wordt gebruikt voor ruimteverwarming. Driekwart van deze energievraag wordt gedekt door het gebruik van fossiele brandstoffen (IEA, 2021).

Het bestaande warmtesysteem, met inbegrip van de verwarming binnenshuis, de infrastructuur en de energieproductie, zal moeten worden aangepast om geschikt te zijn voor lage-emissie warmtetechnologieën die op verschillende warmtebronnen werken. Bovendien zullen er, om de overgang naar een lage-emissie warmtesysteem te realiseren, veel veranderingen in gebouwen moeten worden doorgevoerd. Alle veranderingen die nodig zijn voor de overgang naar een lage-emissie verwarming van gebouwen, infrastructuur en energieproductie zullen na verloop van tijd leiden tot: 1) het in onbruik raken van het huidige Nederlandse warmtesysteem op basis van aardgas en; 2) de opbouw van een apart lage-emissie warmtesysteem. Tegelijkertijd is het onbekend hoeveel materiaal de opbouw van dit lage emissie warmtesysteem zal vragen, en of deze overgang naar lage emissie verwarming de Nederlandse klimaatdoelstelling voor 2050 (90% reductie van warmte-gerelateerde emissies) haalbaar zal maken.

Het doel van dit proefschrift is om de transitie naar een lage-emissie warmtesysteem in Nederland te onderzoeken, in de context van de Nederlandse klimaat- en circulaire beleidsdoelen. Dit resulteert in de volgende **hoofdonderzoeksvraag**: Hoe verandert het Nederlandse warmtesysteem naar 2050 toe, en hoe beïnvloedt dit de Nederlandse beleidsdoelen op het gebied van klimaatverandering en de circulaire economie?

We gebruiken Nederland als een hedendaagse case study, omdat het warmtesysteem sterk afhankelijk is van het gebruik van aardgas. In 2017 is het politieke besluit genomen om over te gaan op fossielvrije stadsverwarming, met een zeer ambitieus tijdschema: de warmte-gerelateerde CO₂-uitstoot moet voor 2030 met 50% en voor 2050 met 90% zijn verminderd (Rijksoverheid, 2017). Voor de bestaande Nederlandse gebouwenvoorraad betekent dit dat meer dan 80% gerenoveerd moet worden. Naast de transitie naar een lage-emissie warmtesysteem heeft de Nederlandse overheid ook beleid voor de circulaire economie geformuleerd om het landelijke gebruik van primaire materialen (mineralen, metalen en fossiele brandstoffen) vóór 2030 met 50% te verminderen en in 2050 volledig circulair te zijn.

Voor de ontwikkelingsscenario's van de samenstelling van het Nederlandse warmtesysteem maken we voornamelijk gebruik van het rapport Warmtescenario's van Berenschot (Berenschot, 2020a). Dit rapport verkent meerdere ontwikkelingspaden van het Nederlandse warmtesysteem 2020-2050 op basis van de lokale beschikbaarheid van warmtebronnen.

Om de hoofdonderzoeksvraag te beantwoorden, boden hoofdstuk 1 tot en met 5 antwoorden op elk van de onderstaande onderzoeksvragen:

1. Hoe groot is de materiaalvoorraad van het huidige Nederlandse gas-gebaseerde warmtesysteem en is dit materiaal toepasbaar in een circulaire economie?

In hoofdstuk 2 vonden wij voor 2020 een voorraad van 1.080 kiloton aan materialen in de verwarmingsketels, aardgasproductie-installaties en gasleidingen, bestaande uit voornamelijk staal, PVC, gietijzer en koper. Door de transitie naar lage-emissie verwarming zal dit warmtesysteem op aardgas op termijn overbodig worden. Een deel van dit warmtesysteem gaat in hibernation, een deel wordt teruggewonnen en gerecycled en een ander deel kan worden hergebruikt voor de distributie van waterstof of groen gas. Recycling en hergebruik van materialen van het op gas-gebaseerde warmtesysteem kan een deel van de materiële impact van de opbouw van het meer materiaal intensieve lage-emissie warmtesysteem verlichten.

2. Wat zijn de mogelijke ontwikkelingstrajecten en operationele broeikasgasemissies van het Nederlandse warmtesysteem richting 2050?

In hoofdstuk 3 hebben wij laten zien dat het behalen van de Nederlandse klimaatdoelstelling om vóór 2050 90% reductie van de operationele CO₂-uitstoot te bereiken een drastische verandering van het huidige Nederlandse verwarmingssysteem

vereist. Met de combinatie van LT-warmtenetten en (hybride) warmtepompen is het klimaatdoel haalbaar. Dit vereist een grotere laagspanning capaciteit van het Nederlandse elektriciteitsnet, een op hernieuwbare energie gebaseerd elektriciteitssysteem, investeringen in de distributie-infrastructuur van warmtenetten en het gebruik van lage-emissie warmtebronnen. Met de inzet van HT-warmtenetten kan Nederland de klimaatdoelstelling voor 2030 halen (50% reductie CO₂-uitstoot) maar verdere reducties aanzienlijk beperken. Dit komt door de relatief hoge CO₂-uitstoot per kWh warmte van de HT-warmtenetten.

Ook constateerden wij dat bij gebruik van de Berenschot-scenario's voor de samenstelling van het warmtesysteem in 2050, een operationele CO₂-emissiereductie van slechts 80% gerealiseerd kan worden. Het grootste deel van het marktaandeel van de verschillende warmtetechnieken in deze scenario's bestaat uit LT-warmtenetten en (hybride) warmtepompen, het resterende aandeel HT-warmtenetten verhindert het halen van de Nederlandse klimaatdoelen van 2050.

3. Wat zijn de gevolgen van de warmtetransitie voor het materiaalgebruik en hoe kan deze transitie bijdragen aan de transitie naar circulaire economie?

In hoofdstuk 5 hebben wij geconstateerd dat de opbouw van het Nederlandse lage-emissie warmtesysteem een materiaalvraag van 1.200-3.300 kiloton per jaar zal vergen, resulterend in een materiaalvoorraad van tussen de 58.000 en 60.000 kiloton in 2050. Deze materiaalvraag is voornamelijk het gevolg van de aanpassingen die nodig zijn voor lage-emissie warmte zoals warmtepompen, extra isolatie en vloerverwarming, en de relatief materiaal intensieve opwekking van lage-emissie warmte. In hoofdstuk 4 hebben wij ook geconstateerd dat met de huidige bouw- en sloopplannen in Nederland 41% van de primaire materiaalvraag kan worden vervangen door secundaire materialen. Daarnaast vonden wij dat 66% van het gegenereerde sloopafval kon worden gerecycled. Dit betekent dat de doelstellingen voor de circulaire economie voor 2030 nu al moeilijk te halen zijn en dat de winning van primaire materialen noodzakelijk blijft voor de bouwsector.

Wij vergeleken de materiaalvoorraad van zowel het op aardgas gebaseerde als het lage-emissie warmtesysteem in de tijd voor een selectie van materialen in hoofdstuk 2, en ontdekten dat het lage-emissie warmtesysteem materiaal intensiever is, en vooral meer metaalintensief. Vanwege de verhoogde materiaalintensiteit is het belangrijk om het binnenkort verouderde gas-gebaseerde warmtesysteem en de bestaande gebouwen zoveel mogelijk terug te winnen en te recycleren.

4. Wat is de impact op de uitstoot van broeikasgasemissies van de overgang naar een lage-emissie warmtesysteem van 2021-2050?

Rekening houden met broeikasgasemissies gerelateerd aan materialen heeft grote gevolgen voor de haalbaarheid van de Nederlandse klimaatdoelen. In hoofdstuk 4 ontdekten wij dat over alle drie de Berenschot-scenario's van een toekomstig Nederlands warmtesysteem in 2050, de operationele emissies met 80% kunnen worden verminderd. De extra materialen om dit lage-emissie systeem op te bouwen doen echter een deel van de operationele emissiereductie van de warmtetransitie teniet. Het meerekenen van de materiaal-gerelateerde emissies zorgt ervoor dat een reductie van de systeem brede broeikasgasemissies van maximaal 62% tot 64% haalbaar is. Het aandeel materiaal-gerelateerde emissies in 2050 zal toenemen tot 40% van de systeem brede emissies van het Nederlandse warmtesysteem.

In totaal is uit de hoofdstukken 2 tot en met 5 gebleken dat de materiaalvraag voor deze overgang naar een lage-emissie warmtesysteem ervoor zorgt dat de klimaatdoelstellingen niet zullen worden gehaald. Zelfs na de opbouw van het lage-emissie warmtesysteem zal er nog een aanzienlijke materiële impact zijn van het onderhoud van dit systeem. Toch kan er in vergelijking met het gas-gebaseerde warmtesysteem aanzienlijke operationele emissiereducties worden bereikt. Om na de opbouw van het lage-emissie warmtesysteem de Nederlandse klimaatdoelstelling voor 2050 te halen, zullen aanzienlijke reducties in materiaal gerelateerde impacts moeten worden gerealiseerd.

De aanpassingen die nodig zijn aan gebouwen en het warmtesysteem zullen leiden tot een toename van de materiaalvraag, vooral naar metalen. Tegelijkertijd biedt het vrijkomen van een grote urban mine in de vorm van het oude warmtesysteem op gas en de sloop van gebouwen kansen voor de circulaire economie. In deze situatie kan het aantrekkelijker worden om secundaire materialen te gebruiken en meer te investeren in circulaire-economie toepassingen zoals terugwinning, recycling en hergebruik. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de mogelijkheid om het bestaande Nederlandse aardgasnet te hergebruiken voor de distributie van hernieuwbare gassen zoals waterstof of biogas. Daarnaast biedt de toegenomen vraag naar materialen een kans om secundaire materialen in grotere mate te gebruiken. De energietransitie, waar de warmtetransitie deel van uitmaakt, zou ook de impact van materiaalrecycling kunnen verminderen, aangezien dit vaak een energie-intensief proces is. Het toepassen van circulaire economie praktijken bij de opbouw van het nieuwe lage-emissie warmtesysteem kan de materiaal gerelateerde impacts verminderen, waardoor Nederland dichterbij het bereiken van zijn 2050 klimaat- en circulaire economie beleidsdoelen komt.

Ervan uitgaande dat de uitkomsten van onze studie ook gelden voor de rest van de wereld, betekent dit dat:

- Een wereldwijde overgang naar lage-emissie stadswarmte zal bijdragen aan een grotere vraag naar materialen, vooral naar metalen en isolatiematerialen. Mogelijke tekorten in de beschikbaarheid van materialen kunnen circulaire economiepraktijken zoals terugwinning, recycling en hergebruik stimuleren. Verouderde verwarmingssystemen kunnen worden gebruikt als bron van secundaire materialen door urban mining.
- De totale milieu-impact van stadsverwarming zal eerst toenemen ten gevolge van de materiaal vraag. Na de opbouw van het lage-emissie warmtesysteem kan de milieu-impact van stadsverwarming aanzienlijk afnemen.

In werkelijkheid wordt de vergelijking tussen Nederland en andere landen, met name landen buiten de EU, moeilijker. Andere gebouwde omgevingen kunnen een hoger isolatieniveau hebben en gebruik maken van andere warmtetechnologieën. Bovendien is in Nederland de vraag naar warmte groter dan de vraag naar koeling, terwijl in andere landen zoals China en India de vraag naar koeling belangrijker is voor het energiegebruik van gebouwen. Vanwege deze verschillen is het ook van belang om deze uitkomsten extern te valideren met studies naar het warmtesysteem en de overgang naar lage-emissie warmte (en koeling) in andere landen (Flyvbjerg, 2006).

Dit proefschrift heeft aangetoond dat beide beleidsdoelen niet alleen hand in hand gaan, maar elkaar ook beïnvloeden (waar mogelijk ook in negatieve zin). De overgang naar een lage-emissie warmtesysteem is essentieel om de klimaatdoelstellingen voor 2050 te halen. Tegelijkertijd leidt de opbouw van een lage-emissie warmtesysteem tot een toename van de winning van primaire materialen, waardoor het moeilijker wordt om de Nederlandse beleidsdoelen voor de circulaire economie te realiseren. De energietransitie, waar de warmtetransitie deel van uitmaakt, kan echter ook de negatieve milieueffecten van materiaalrecycling verminderen, aangezien dit vaak een energie-intensief proces is. Inzicht in de effecten van deze overgang naar een lage-emissie warmte op het gebied van energie- en materiaalgebruik is essentieel om gericht beleid te kunnen maken waarmee beide beleidsdoelen worden bereikt en de inspanningen van de een de inspanningen van de ander niet tenietdoen.