



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Spatiotemporal building stock modeling for residential decarbonization in the Netherlands

Yang, X.

Citation

Yang, X. (2022, June 28). *Spatiotemporal building stock modeling for residential decarbonization in the Netherlands*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3421496>

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/1887/3421496>

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

Samenvatting

De bouwsector gebruikt enorme hoeveelheden primair materiaal, genereert een grote hoeveelheid bouw- en sloopafval, en is daarnaast verantwoordelijk voor een aanzienlijk gebruik van fossiele brandstoffen en daaraan gerelateerde uitstoot van broeikasgassen. Het koolstofvrij maken van de gebouwde omgeving speelt een belangrijke rol bij het klimaatneutraal maken van Nederland. Nederlandse huizen zijn echter relatief oud en energie-inefficiënt en zijn in hoge mate afhankelijk van aardgas voor ruimteverwarming en warmwatervoorziening. Dit vormt het grootste aandeel van het jaarlijkse energieverbruik van woningen. Om beleidsstrategieën voor het koolstofarm maken van woningen te kunnen uitstippelen, is inzicht nodig in de kenmerken van het huidige woningvoorraad en de toekomstige ontwikkeling daarin. Om dit inzicht te verkrijgen worden in dit proefschrift gegevens uit verschillende bronnen gebruikt. Het betreft voornamelijk GIS-data over de gebouwde omgeving in combinatie met archetypen die representatief zijn voor Nederlandse typen woonhuizen. Met deze data wordt een reeks bottom-up modellen ontwikkeld voor de ontwikkeling van de woningvoorraad, waarmee inzicht verkregen kan worden in de toekomstige materiaalvoorraden en -stromen, de vraag naar energie inclusief elektriciteit, en de hieraan gerelateerde broeikasgasemissies.

Hoofdstuk 2 ontwikkelt een bottom-up model van energiegebruik in de woningvoorraad in Nederland, gebaseerd op GIS data en archetypes van woongebouwen gedifferentieerd naar bouwtype en bouwperiode. Informatie over archetypes van gebouwen, zoals de geometrie (b.v. verhouding tussen raam- en muuropervlak), het isolerend vermogen van de buitenste gebouwschil, en gegevens over efficiëntie van technische systemen zoals het verwarmingssysteem, worden in kaart gebracht op basis van GIS data. Dit blijkt een goede een methode om de woningvoorraad in Nederland qua energiegebruik te karakteriseren. Tegelijkertijd worden, om te onderzoeken welke soort additionele informatie het meest bijdraagt aan de verbetering van de nauwkeurigheid van het model, diverse gedetailleerde gegevens (bijv. klimaatgegevens zoals buitentemperatuur per uur) stapsgewijs toegevoegd aan het basismodel. Het model wordt gevalideerd aan de hand van het gemeten aardgasverbruik dat op postcodeniveau wordt gerapporteerd. De resultaten tonen aan dat gedrag van bewoners en of er in het verleden renovatie heeft plaatsgevonden grote invloed kan hebben op de gemodelleerde vraag naar ruimteverwarming. Hoewel er onzekerheden bestaan voor individuele gebouwen door een gebrek aan gedetailleerde informatie op individueel gebouwniveau, zijn de gemodelleerde resultaten goed bruikbaar voor de Nederlandse woningvoorraad als geheel.

In hoofdstuk 3 wordt een dynamisch bottom-up model voor de woningvoorraad ontwikkeld. Hiermee kan de toekomstige ontwikkeling van de woningvoorraad worden ingeschat en kunnen de bijbehorende materiaal- en energiestromen en jaarlijkse broeikasgasemissies in kaart worden gebracht. Anders dan met eerdere dynamische bottom-up studies van de woningvoorraad, modelleert het model

archetypische woningen op basis van GIS gegevens en schat het de potentiële energievraag in, rekening houdend met (toekomstige) verbetering van de energie-efficiëntie door renovatie. Het model wordt toegepast om het effect door te rekenen van een “Nederland klimaatneutraal in 2050” scenario, dat moet leiden tot het gebruik van hernieuwbare energiebronnen in Nederland. De resultaten tonen aan dat de jaarlijkse broeikasgasemissies in 2050 met bijna 90% kunnen worden verminderd als de bestaande gebouwen worden gerenoveerd, verwarming met aardgas wordt uitgefaseerd, en er koolstofarme elektriciteit wordt gebruikt. PV op daken kan in potentie voorzien in 80% van de jaarlijkse elektriciteitsvraag voor apparaten en verlichting als op 50% van de daken zonnepanelen worden geïnstalleerd. De jaarlijkse materiaalgerelateerde broeikasgasemissies zijn veel lager dan de jaarlijkse energiegerelateerde emissies. De extra cumulatieve materiaalgerelateerde broeikasgasemissies van bouw- en renovatieactiviteiten zullen tegen 2035 worden gecompenseerd door de cumulatieve verminderde emissies gerelateerd aan ruimteverwarming.

In hoofdstuk 4 wordt het dynamische bottom-up model van de woningvoorraad in hoofdstuk 5 verder ontwikkeld door de materiaalinstroom en -uitstroom tijdens de bouw, sloop en renovatie in ruimte en tijd te koppelen om het potentieel van urban mining te onderzoeken om het verbruik van primaire materialen en de broeikasgasemissies te verminderen. Op basis van inzamelingspercentages van Bouw en Sloopafval (BSA) en het potentieel voor recycling van materialen wordt ingeschat hoeveel gerecycleerd BSA in bouw- en renovatieprocessen kan worden ingezet. De resultaten geven aan dat het gros van het vloeroppervlak en de daaraan gerelateerde ‘urban mine’ aan bouwmaterialen zich bevindt in grote steden, zoals Amsterdam, Rotterdam en Den Haag. Deze steden domineren ook de in- en uitstroom van toekomstig materiaal, maar de uitstroom is veel kleiner dan de instroom, wat betekent dat ‘urban mining’ slechts beperkte hoeveelheden en soorten materialen voor nieuwbouw en renovatie kan leveren. Dit is vooral het geval voor isolatiematerialen, die vaak afwezig zijn in oude gebouwen. Er bestaat in de tijd een groot verschil in de vraag naar materialen en het aanbod van secundaire materialen, wat betekent voor sommige materialen in de eerste jaren er een tekort aan secundair materiaal bestaat, maar in latere jaren een overschot. Omdat ‘urban mining’ dus maar een beperkte mogelijkheid geeft om primaire materialen te vervangen, geeft dit ook maar een beperkte mogelijkheid de broeikasgasemissies gerelateerd aan materiaalgebruik te verminderen. Het koolstofneutraal maken van de elektriciteitsvoorziening heeft voor de productie van materialen een veel groter effect op de vermindering van de broeikasgasemissies dan het optimaliseren van ‘urban mining’.

Hoofdstuk 5 integreert de modellen uit de voorgaande hoofdstukken om het totale potentieel ten aanzien van reductie van broeikasgasemissies te onderzoeken, en te analyseren wat de bijdrage is van specifieke strategieën zoals het de materiaaltransitie (recycling van BSA en meer gebruik van hout in bouwconstructies), de energietransitie (warmtetransitie, gebruik van koolstofarme elektriciteit en het installeren van PV op daken), en het overgaan op een duurzame

levensstijl. Uit de resultaten blijkt dat als alle strategieën in combinatie worden geïmplementeerd, een totale reductie van broeikasgassen van 90% of meer kan worden gerealiseerd. Het doorvoeren van een energietransitie speelt de belangrijkste rol, met name de warmtetransitie en het realiseren van een koolstofarme elektriciteitsvoorziening. PV op daken kan een zelfde zorgen voor een overschot aan groene elektriciteit als alle daken zoveel mogelijk worden voorzien van zonnepanelen. Een materiaaltransitie waarbij ingezet wordt op gebruik van secundair materiaal draagt veel minder bij aan de reductie van broeikasgasemissies voornoemde energietransitie. Duurzame levensstijlen kunnen vergelijkbaar bijdragen aan de reductie van emissies van broeikasgassen als een breed doorgevoerde installatie van PV-systemen op daken.