

INTERREG  
Deutschland  
Niederland



[www.deutschland-niederland.eu](http://www.deutschland-niederland.eu)



# Wärme in der Euregio

fokussieren & modernisieren

# Impressum

Herausgeber  
FH Münster  
Stegerwaldstraße 39  
48565 Steinfurt



Auflage: 1.000 Stück

# Projektpartner

FH Münster  
Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter  
Stegerwaldstraße 39  
48565 Steinfurt  
Tel: +49 (0)2551/962-725  
Mail: [wetter@fh-muenster.de](mailto:wetter@fh-muenster.de)



Saxion University of Applied Sciences  
Dr. Richard van Leeuwen  
M.H. Tromplaan 28  
7513AB Enschede  
Tel: +31 (0)53 537 6842  
Mail: [r.p.vanleeuwen@saxion.nl](mailto:r.p.vanleeuwen@saxion.nl)



Stichting kiEMT  
Drs. Bas Grol  
Eusebiusbuitensingel 28  
6828 HW Arnhem  
Tel: +31 (0)26/4461469  
Mail: [gro@kiemt.nl](mailto:gro@kiemt.nl)



Wirtschaftsförderungs- und Entwicklungsgesellschaft  
Steinfurt mbH  
Dipl. Kfm. Christian Rapien  
Tecklenburger Straße 8  
48565 Steinfurt  
Tel: +49 (0) 2551/69 2704  
Mail: [christian.rapien@westmbh.de](mailto:christian.rapien@westmbh.de)



Abfallwirtschaftsgesellschaft des Kreises Warendorf mbH  
Markus Pahlenkemper  
Westring 10  
59320 Ennigerloh  
Tel: +49 (0) 2524/93-07116  
Mail: [markus.pahlenkemper@awg-waf.de](mailto:markus.pahlenkemper@awg-waf.de)



Wirtschaftsförderung Kreis Coesfeld GmbH  
Dipl.-Geogr. Christian Holterhues  
Fehrbelliner Platz 11  
48249 Dülmen  
Tel: +49 (0) 2594/78240-26  
Mail: [christian.holterhues@wfc-kreis-coesfeld.de](mailto:christian.holterhues@wfc-kreis-coesfeld.de)



Wirtschaftsförderungsgesellschaft für den Kreis Borken mbH  
Dipl.-Spk.-Betriebswirt Ingo Trawinski  
Erhardstraße 11  
48683 Ahaus  
Tel: +49 (0) 2561/97999-90  
Mail: [trawinski@wfg-borken.de](mailto:trawinski@wfg-borken.de)



Das Projekt WiE<sup>fm</sup> wird gefördert durch:



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung

Ministerium für Wirtschaft, Energie,  
Industrie, Mittelstand und Handwerk  
des Landes Nordrhein-Westfalen



[www.deutschland-nederland.eu](http://www.deutschland-nederland.eu)



Ministerie van Economische Zaken



# Projektergebnisse auf einen Blick

Stand: 05/2018



## 200 Wärme-HotSpots identifiziert

Eine interaktive kartografische Darstellung von über 200 Gebieten (HotSpots) im Münsterland mit Wärmebedarfen, deren flächenbezogene Bedarfsdichte so hoch ist, dass die Versorgung über ein Wärmenetz sinnvoll ist.



## 20 Niederländische & 12 deutsche Wärmenetze untersucht

im Hinblick auf Technik, Effizienz und Umweltauswirkungen.



## 120 Teilnehmer an 6 interaktiven Zukunftswerkstätten

mit Fachleuten (Planer und Kommunen) in den sechs Regionen (Overijssel, Gelderland, Kreis Borken, Kreis Coesfeld, Kreis Steinfurt, Kreis Warendorf).



## 175 Teilnehmer an 3 Expertenworkshops

als überregionale Veranstaltungen zum Austausch mit Interessierten und Experten aus der EUREGIO.



## Identifikation von Erfolgsfaktoren und Hemmnissen

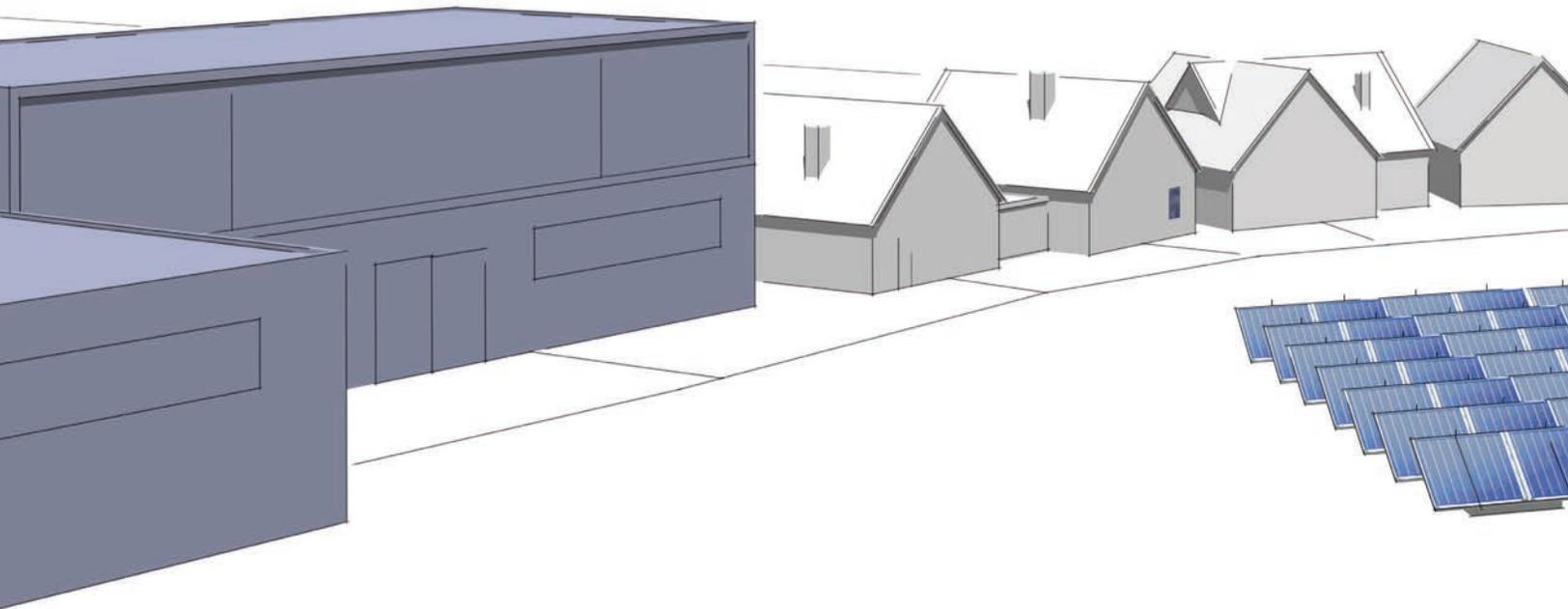


für die Initiierung kollektiver Wärmeversorgungen sowie die Darstellung des Planungsstands und des Umfangs, mit dem in der Region an Wärmenetzen gearbeitet wird.



## 17 Wärmegutscheine ausgestellt

Die Erarbeitung von bisher 17 Machbarkeitsstudien zu kollektiven Wärmeversorgungsprojekten mit einem Gesamtvolumen von **249.280€** wurde im Rahmen von WiEfm mit einer Förderquote von 70 % finanziell unterstützt. Fördermittel für weitere Studien stehen noch zur Verfügung.



## Inhalt | Übersicht

**02 Impressum**

**03 Zahlen · Daten · Fakten**  
Die Projektregion

**04 Inhalt**

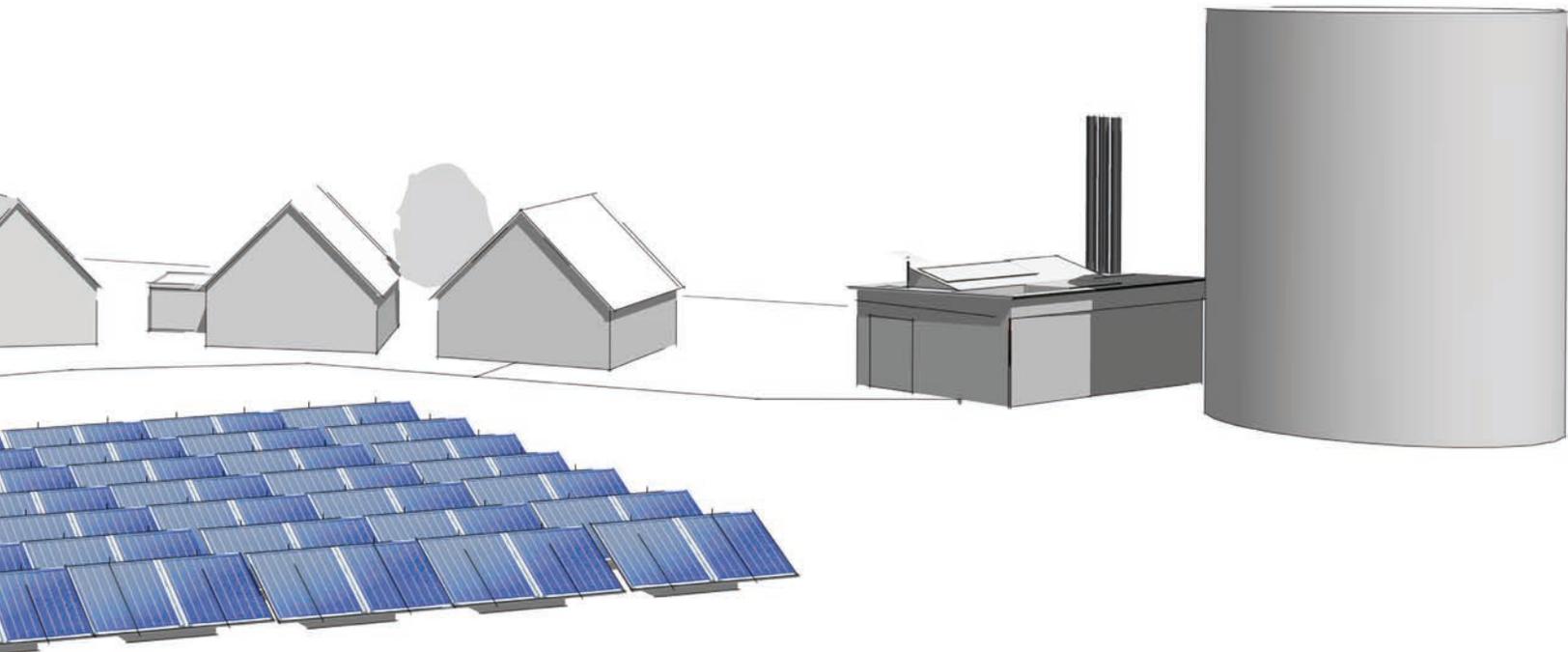
**06 Modellregion EUREGIO?**

Wärmewende in Europa

**08 Politische Ambitionen verortet**

Wärmenutzung in der EUREGIO

**12 Wärmehotspots**



**16 Wärmenetzbenchmark**  
 Qualitativer Vergleich bestehender Wärmenetze

**18 Leistungsvergleich von Wärmenetzen in den östlichen Niederlanden**

**22 Wärmewendemodell**  
 zur nachhaltigen Energieversorgung von Wohngebieten

**24 Übersichtskarte Projektregion**

## Wärmewende in Europa - Modellregion EUREGIO

Der europäische Energiemarkt ist ein Wärmemarkt: Den Verkehrssektor außer Acht lassend, werden fast 70% des Endenergieverbrauchs in Form von Wärmeenergie für Raumheizung- und Industrieprozesse benötigt. Nur 27% werden für Beleuchtung und elektrische Prozesse eingesetzt und wiederum nur knapp 3% zum Kühlen. In den Privathaushalten in Europa machen Heiz- und Warmwasser allein knapp 80% des gesamten Endenergieverbrauchs aus. In der Industrie wurden 71% des Energieverbrauchs für die Raum- und Industrieprozessheizung benötigt [1].

84% der Endenergie für Heiz- und Kühlzwecke werden immer noch aus fossilen Brennstoffen erzeugt. Um den Klimaschutz- und Energiezie-

len der EU gerecht zu werden, muss der Heizungs- und Kühlungssektor seinen Energieverbrauch stark reduzieren und gleichzeitig die Nutzung fossiler Brennstoffe einstellen.

In ihrer im Februar 2016 vorgelegten EU-Heizungs- und Kühlstrategie formuliert die Europäische Kommission folgende Ziele:

*„Um unsere CO<sub>2</sub>-Minderungsziele zu erreichen, muss der Gebäudesektor dekarbonisiert werden. Dies umfasst die Sanierung des bestehenden Gebäudebestandes sowie verstärkte Anstrengungen zur Steigerung der Energieeffizienz und den Einsatz erneuerbarer Energien, unterstützt durch Strom aus erneuerbaren Energien und Fernwärme. [...] Die Industrie kann die gleiche Richtung einschlagen*

*und dabei die ökonomischen Vorteile der Effizienzsteigerung und der Nutzung neuer technischer Lösungen zum Einsatz erneuerbarer Energien nutzen. In diesem Sektor ist jedoch ein gewisser Bedarf an fossilen Brennstoffen für sehr hohe Temperaturprozesse zu erwarten. Industrielle Prozesse werden daher auch weiterhin Abwärme und -kälte produzieren. Vieles davon könnte in Gebäuden in der Nähe wiederverwendet werden.“ ([2], Seite 2)*

Durch die Kombination von Energiesystemmodellierung und der Kartierung der örtlichen Gegebenheiten konnte bereits eine EU-weite Studie aus dem Jahr 2014 zeigen, dass Energieeffizienzmaßnahmen in Fernwärmesystemen auf Versorger- und Nachfrageseite sowie gleichzeitige Wärmeeinsparungen in Gebäuden,

einen gleichen CO<sub>2</sub>-Einspareffekt haben, wie Wärmeeinsparungen allein - jedoch bei gleichzeitig niedrigeren Kosten des Gesamtenergiesystems. Dies impliziert eine verbesserte Energiesystemflexibilität (durch höhere Integration zwischen dem Wärme- und Strommarkt; vgl. [3]), nutzt eine breitere Palette an erneuerbaren Energiequellen (z.B. Erdwärme, Biokraftstoffe, Wind und Solar [ebd.]) und generiert neue Beschäftigungsmöglichkeiten (Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung) in erheblichem Umfang. Mit großen positiven Effekten für die Erhaltung der wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit und des nachhaltigen Wachstums in der EU. In einer Studie benennt Prof. Urban Persson den potenziellen Marktanteil von Nah- bzw. Fernwärme am Wärmemarkt in Europa mit rund 60% [4]. Dass dieser Wert realistisch ist, zeigt ein Vergleich mit Dänemark: Dort sind bereits heute zwei von drei Gebäuden an ein Wärmenetz angeschlossen und diese Wärmenetze wiederum werden zu 50% aus erneuerbaren Energien gespeist [5].

Es zeigt sich also, dass die Erreichung der Klimaschutzziele von Paris nicht am Wärmemarkt vorbeikommen, dass der Umbau dieses Marktes aber auch große Chancen bietet, das Energiesystem insgesamt zu sanieren und effizienter und umweltgerechter zu gestalten. Und dies ist auch noch aus

einem anderen Grund erforderlich: Fast die Hälfte der Gebäude in der EU hat ein Heizsystem, das vor 1992 installiert worden ist ([2], S. 6). Entscheidungen über den Austausch bzw. den Ersatz des alten Systems werden typischerweise unter Druck gemacht, immer dann, wenn die Heizung den Dienst versagt und dringend Ersatz geschaffen werden muss. Preisvergleiche, Informationen darüber, wie ihr bestehendes System im Vergleich zu anderen abschneidet oder ob und welche Alternativen es gibt, sind für die meisten Verbraucher nicht leicht zugänglich. Dies führt dazu, dass weiterhin ältere, weniger effiziente Technologien eingesetzt werden (ebd.).

Genau hier setzt das Projekt WiEfm an. Im euregionalen Kontext werden die Chancen und Hemmnisse einer kollektiven Wärmeversorgung untersucht und dargestellt. Das Projekt fußt dabei auf zwei Säulen: Der technisch-wirtschaftlichen Machbarkeit und der gesellschaftlichen Machbarkeit; also der Governance von kollektiven Wärmeversorgungen. In der nun vorliegenden dritten Projektbroschüre stellen wir zur Halbzeit der Projektlaufzeit ausgewählte bisherige Projektergebnisse vor.

Über eine Analyse der Besiedlungsstruktur hat das Team der FH Münster „Wärmehotspots“ im Münster-

land gefunden; Regionen, in denen es sich schon heute lohnt, ein Wärmenetz neu zu errichten. Und die Ergebnisse sind erstaunlich: auf 1,5% der Fläche des Münsterlandes werden 30% der Wärme gebraucht. Ein starker Hebel für den Klimaschutz in der Region. Ein Team der Saxion Hogeschool hat eine Methodik entwickelt, um die grundsätzliche Bereitschaft in Kommunen zu ermitteln, kollektive Wärmelösungen zu fördern und/oder zu fordern. Die Ergebnisse unterstützen, in Form einer Karte präsentiert, die Ergebnisse der Hotspotanalyse vortrefflich.

Zu guter Letzt finden sich in dieser Broschüre die Ergebnisse der Untersuchung von Wärmenetzen sowohl im Münsterland, als auch in Twente und Achterhoek, die aufzeigen, was heutzutage ein klimafreundliches und effizientes Netz ausmacht.

Viel Freude beim Lesen wünscht,  
Das WiEfm-Team

#### Literatur

- [1] EUROPEAN COMMISSION, "Heating and Cooling," 2017. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/heating-and-cooling>.
- [2] EUROPEAN COMMISSION, "AN EU Strategy on Heating and Cooling," 2016.
- [3] H. Lund, S. Werner, R. Wiltshire, S. Svendsen, J. Eric, F. Hvelplund, and B. Vad, "4th Generation District Heating ( 4GDH ) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems," *Energy*, vol. 68, pp. 1-11, 2014.
- [4] U. Persson, "District heating in future Europe: Modelling expansion potentials and mapping heat synergy regions," 2015.
- [5] Dansk Fjernvarme, "Årsstatistik 2014/2015," 2015.

# Wärmenutzung in der Euregio: Politische Ambitionen verortet

Der Übergang zu einem nachhaltigen Energiehaushalt darf nicht als typisch deutsche oder typisch niederländische Aufgabe betrachtet werden. Diese Entwicklungen finden vor dem Hintergrund der langfristigen Trendwende der Europäischen Kommission in den Bereichen Transport, Energie und Klimaveränderung statt. Bei der Energiewende sind für beide Mitgliedstaaten die europäischen Zielsetzungen maßgebend. Die Europäische Kommission strebt eine kohlenstofffreie konkurrenzfähige Wirtschaft im Jahr 2050 an. Mit der Formulierung dieses politischen Ziels gibt die Europäische Kommission an, dass sie die Vereinbarungen, die Staatschefs während der Klimakonferenzen in Kopenhagen (2009), Cancún (2010) und Paris (2015) getroffen haben, begrüßt. Sie haben sich verpflichtet, kohlenstoffarme Entwicklungsstrategien zu entwickeln und umzusetzen (Sanders, 2013).

Bei der Umsetzung einer kohlenstofffreien konkurrenzfähigen Wirtschaft im Jahr 2050 ist die Europäische Kommission von den Anstrengungen der Mitgliedstaaten abhängig (Sanders, 2013). In den Niederlanden und Deutschland wurde der Lokalpolitik eine wichtige Rolle bei der Energiewende zugewiesen. In beiden Ländern wird erwartet, dass sie, wenn sie große Projekte initiieren und ausstatten, den Anteil an nachhaltiger Energie selbstverständlich erhöhen. Inzwischen sieht die Lokalpolitik sich genötigt, voranzuschreiten. Daher werden eifrig Projekte mit Potenz und zugehörigen Rolloutstrategien gesucht (Sanders, Heldeweg & Brunnekreef, 2017).

## **Eine Politikstudie mit Bestandsaufnahme von Wärmeprojekten und Wärmenetzen**

Im Euregio-Gebiet sehen Politiker die Nutzung von Wärme als eine Chance zur Realisierung von Nachhaltigkeitsambitionen (WiEfm, 2017). Durch den Einsatz von Wärme könnte der CO<sub>2</sub>-Ausstoß weiter reduziert werden und der Anteil erneuerbarer Energien könnte steigen. Dies führt unweigerlich zu der Frage, ob, und wenn ja, wie die Möglichkeiten von Wärme voll genutzt werden kann.

Bei der Realisierung einer wahrhaftigen Wärmewende stellt sich zunächst die Frage nach der technischen Umsetzbarkeit. Wärme muss

schließlich zur Nutzung vorbereitet und zum Endverbraucher transportiert werden. Außerdem müssen politische Zeichen auf Grün stehen. In diesem Artikel steht genau diese Frage im Mittelpunkt. Hierzu werden die Ergebnisse einer Politikstudie inkl. Bestandsaufnahme beschrieben, in der die Rolle, die die Lokal- und Regionalpolitik Wärme bei der Nachhaltigkeit des Energiehaushalts zuschreibt, im Mittelpunkt steht<sup>1</sup>. Mit dieser Studie soll gezeigt werden, in welchen Gemeinden auf der politischen Agenda Wärme steht und wie weit man in der Region mit der Umsetzung der Ambitionen vorangeschritten ist. Dabei wurde vor allem die Verbindung von Projekten mit regionalen Wärmenetzen

<sup>1</sup>: Wir danken den Studenten Ilse Ramaker, Menno Smit und Maureen ter Steege von der Saxion und Piriyanha Sivabalasingam, Studentin der FH Münster, für ihren Beitrag zu dieser Studie.

betrachtet. Die Verbindung von Initiativen mit einer regionalen Infrastruktur muss als öffentlich-private Frage betrachtet werden, bei der unterschiedliche Belange aufeinandertreffen und die darum per definitionem auf der politischen Agenda landen wird (Sanders, Brunnekeef & Heldeweg, 2016).

Insgesamt wurden 144 Gemeinden untersucht. Auf niederländischer Seite lagen diese in den Provinzen Overijssel und Gelderland. Außerdem wurden Gemeinden analysiert, die zum Versorgungsgebiet beider Provinzen gehören. Auf deutscher Seite wurden die Kreise Borken, Coesfeld, Steinfurt und Warendorf untersucht (also das gesamte Münsterland mit Ausnahme der Stadt Münster).

In der vorliegenden Studie wurden zunächst die politischen Ambitionen auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien inventarisiert. Dazu wurden je nach politischem Organ Ratspapiere, Energiepläne, Wärmepläne und Klimaschutzkonzepte untersucht. Um die Aktualität dieses Überblicks zu garantieren, stammen diese Stücke aus dem Jahr 2010 oder danach. Anschließend wurde untersucht, ob, und wenn ja, wie Wärmeprojekte genutzt werden sollen und ob diese über Wärmenetze miteinander verbunden werden sollen, um Nachhaltigkeitsambitionen zu verwirklichen. Dabei ging es auch darum, was Politiker von derartigen Initiativen erwarten (zum Beispiel bei der Anzahl Wohnungsäquivalenten) und in welcher Phase der Realisation eine regionale Wärmeinfrastruktur sich befindet. Um die Qualität der Inventarisierung zu garantieren, wurden die genannten Datensätze mittels Forschungsberichten und Medienberichten über

die Nutzung von Wärme im Euregio-Gebiet angelegt. Zudem wurden die Ergebnisse während eines Treffens der WiEfm-Projektgruppe präsentiert und diskutiert. Schlussendlich wurden zwei Experten gebeten, zu beurteilen, ob Initiativen übersehen wurden oder zu Unrecht in die Inventarisierung aufgenommen wurden. Diese Maßnahmen haben zu einigen Anpassungen geführt<sup>2</sup>. Die Ergebnisse wurden anschließend in einer Übersichtskarte dargestellt.

**Ergebnisse der Politikstudie geografisch dargestellt**

Abbildung 2 (nächste Seite) ist eine geografische Darstellung der Provinzen Overijssel und Gelderland sowie des Münsterlandes. Auf der Karte sind Gemeinden eingezeichnet, die zum Versorgungsgebiet dieser Gebiete gehören.

Die Auswertung (Abb. 1) ergibt, dass bisher nur 42 von 144 Kommunen (30%) über ein nennenswert großes Wärmenetz verfügen, nahezu ebenso viele, nämlich 31 Kommunen (28%), jedoch mehr oder weniger konkrete Pläne zum Aufbau einer Wärmenetzinfrastruktur haben. In 61 Kommunen (42%) gibt es bisher keine Pläne und keine Wärmenetze.

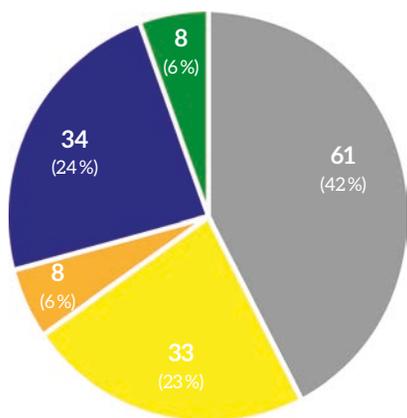


Abbildung 1: Wärmenetze in Gemeinden der EUREGIO

**Schlussfolgerung**

Wenn wir die Ergebnisse, die Abb. 1 liefert, betrachten, können wir schlussfolgern, dass sowohl in Overijssel und Gelderland als auch im Münsterland über Wärmenetze gesprochen wird.

Aber wir müssen auch feststellen, dass das Thema in 42% der Gemeinden noch kein Teil der (öffentlichen) politischen Debatte ist. Aus Abb. 1 ist weiterhin ersichtlich, dass Gemeinden, in denen ein Wärmenetz vorhanden ist, von den angrenzenden Gemeinden in ihrer Politik genannt werden. Aus der Abbildung lässt sich ableiten, dass eine Kette von Gemeinden entstanden ist, in denen ein Wärmenetz vorhanden ist oder tatsächlich Pläne für die Realisierung eines Wärmenetzes oder einer Erweiterung bestehen.

Es gibt ein paar Ausnahmen, die an den Provinzgrenzen liegen und wo möglicherweise ein Anschluss an Wärmenetze einer anderen Region gesucht werden (vgl. Neerijnen, Bronckhorst, Geldermalsen, Zaltbommel und Oude IJsselstreek). Es ist jedoch noch zu früh für eine solche Feststellung, und es wird im weiteren Prozess weiter ausgearbeitet werden müssen, wo vergleichbare Initiativen in den anderen Provinzen stattfinden.

- Kein Wärmenetz in Aussicht
- Kein Netz, aber erste Überlegungen
- Kein Netz, aber konkrete Pläne
- Wärmenetz vorhanden
- Wärmenetz mit Nachbargemeinden

2: Obwohl bei der Untersuchung größte Sorgfalt angewandt wurde, ist es möglich, dass Informationen nicht korrekt dargestellt sind. Für den Fall, dass Fehler festgestellt werden, wären wir Ihnen dankbar, wenn Sie mit einem der Autoren Kontakt aufnehmen. Sie werden dann dafür sorgen, dass in der Fortsetzung des WiEfm-Projekts die korrekten Daten angenommen werden.

Auf der deutschen Seite der Grenze ist das Thema "Wärmenetze" ebenfalls in einigen Kommunen Bestandteil der (informellen) Klimaschutzplanung, allerdings fehlt es an konkreten Umsetzungen dieser Pläne. Kristallisationspunkte für die Umsetzung und Errichtung von Wärmenetzen im Münsterland sind in den meisten Fällen Zusammenschlüsse von kommunalen Gebäude und/oder bestehende Biogasanlagen. Dies bietet einen Ansatzpunkt, um die Ausbaustrategien in Kommunen, die bisher nur den politischen Willen zum Ausbau von Wärmenetzen geäußert haben, zu konkretisieren und in die Umsetzung zu kommen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung können als Grundlage dienen, für Kommunen gezielte Beratungsangebote zusammenzustellen. Die Wärmegutscheine in Verbindung mit dem "HotSpot-Tool" (s. folgender Artikel in diesem Heft) aus dem Projekt WiEfm sind dazu ein ideales Instrument, das auch entsprechend genutzt wird.

**Dr. Maurits Sanders, Saxion**  
**Anne Veerle Brunnekreef, Saxion**  
**Dipl.-Geogr. Hinnerk Willenbrink, FH Münster**

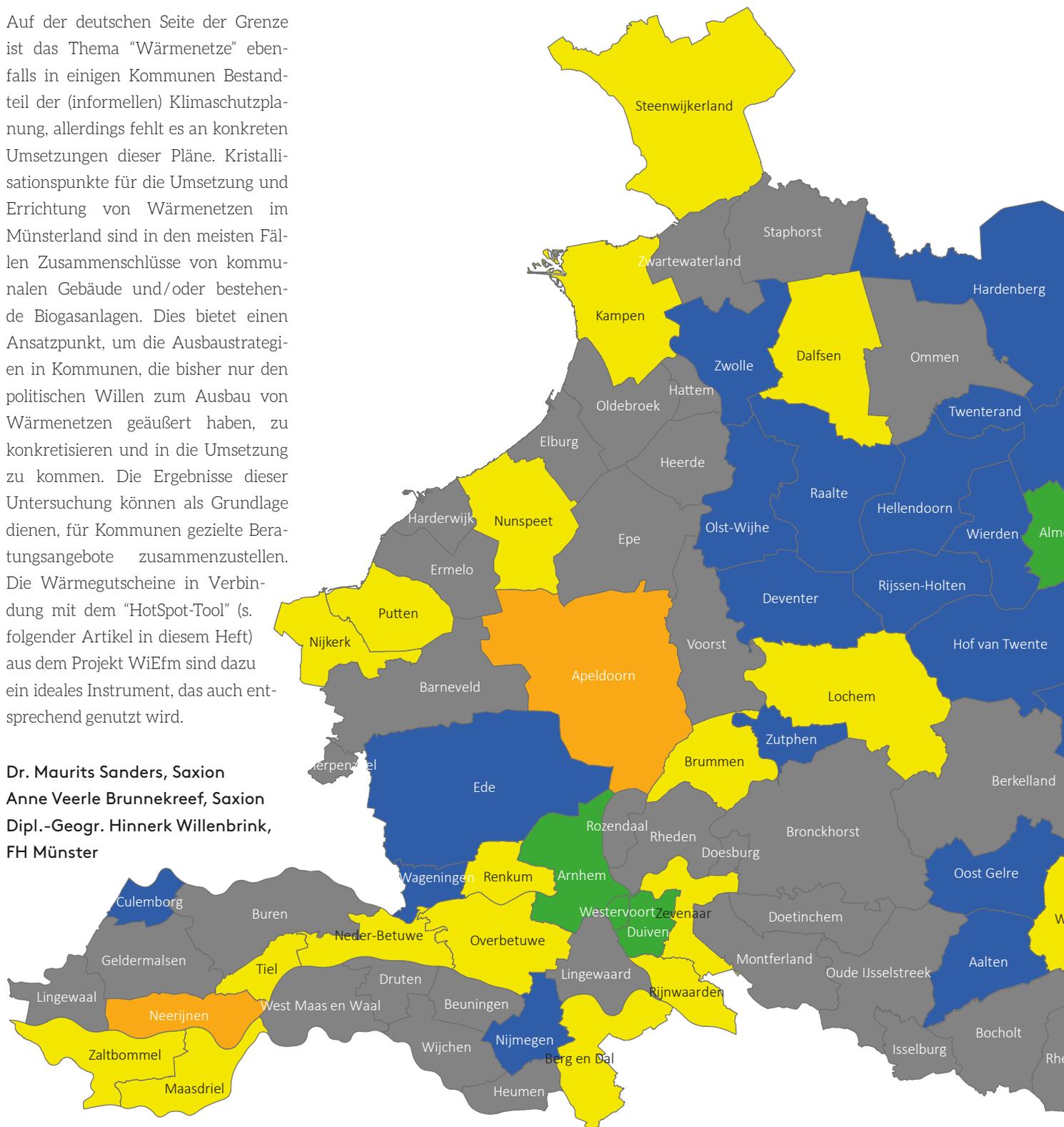


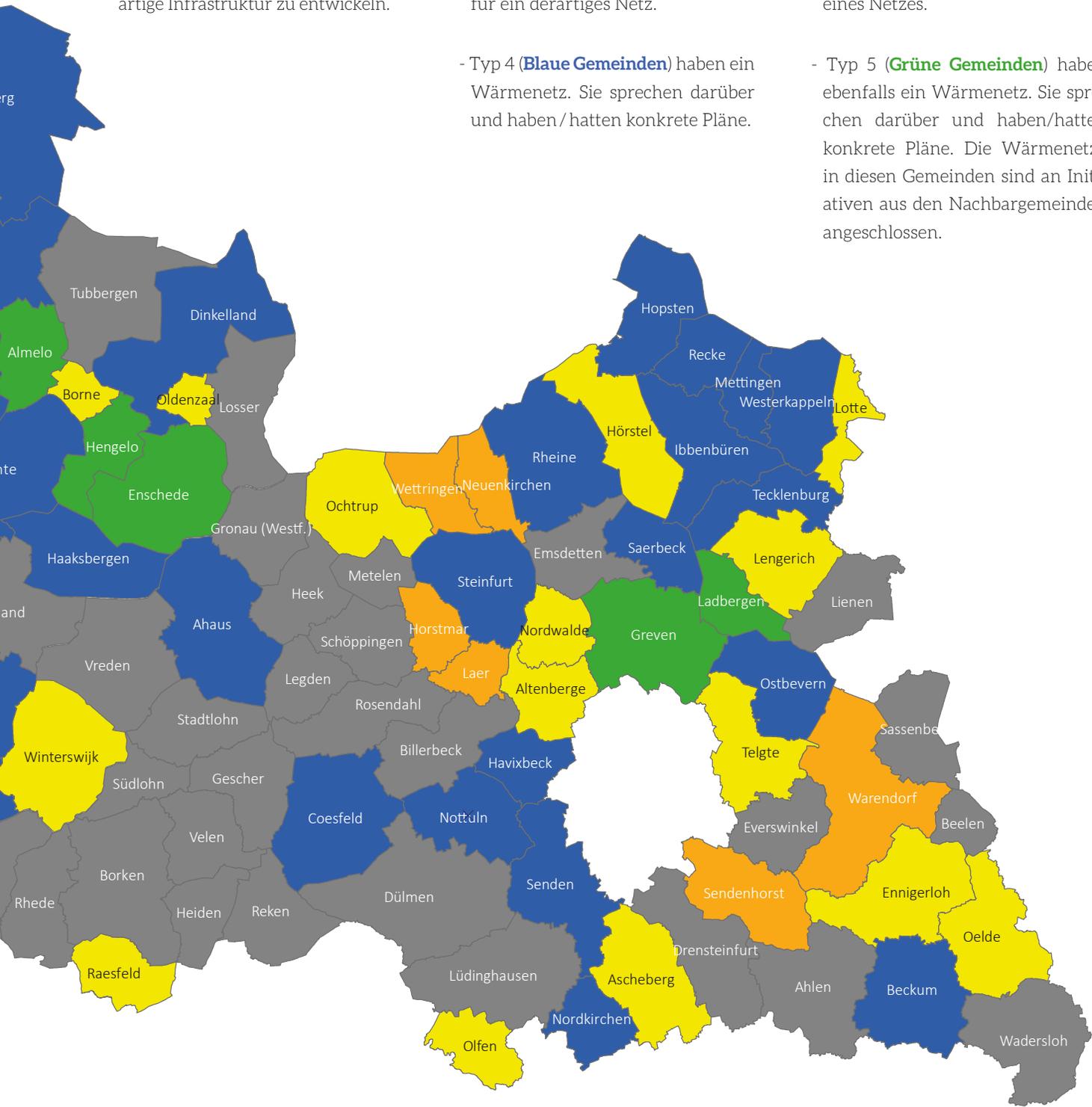
Abbildung 2: Wärmenutzung in der Euregio - politische Ambitionen verortet

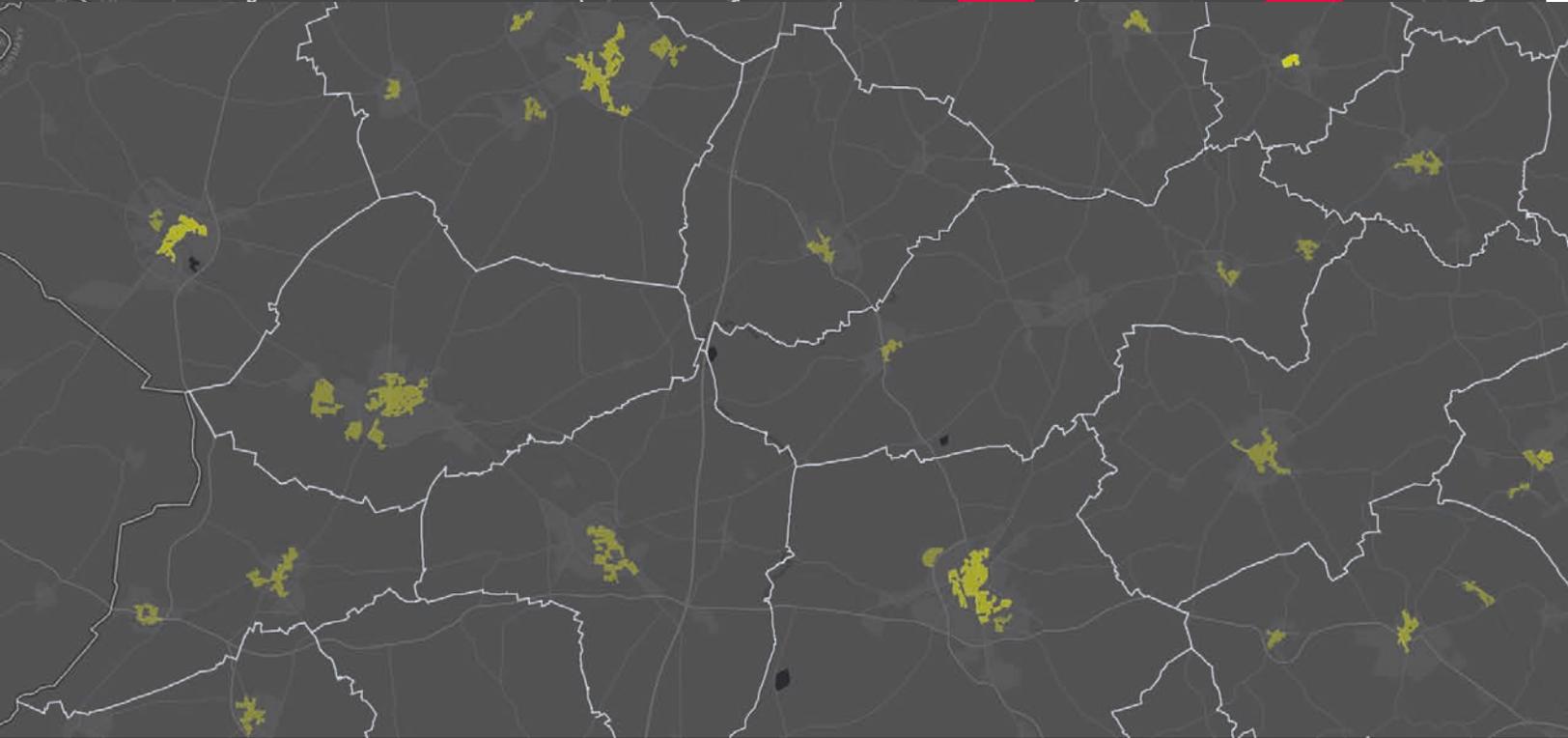
#### Literaturliste

- [1] Sanders, M.Ph.Th. (2013), Publiek-Private Samenwerking in de Nederlandse energiesector. Vorm en legitimiteit. Den Haag: Boom Lemma.
- [2] Sanders, M.Ph.Th., M.A. Heldeweg en A.V. Brunnekreef (2017), Publiek-Private Samenwerking bij warmtenetten, in: Rooilijn 50 (2), 94-102.
- [3] WiEfm (2017), <http://www.wiefm.eu/nl/>, geraadpleegd op 9 september 2017.
- [4] Sanders, M.Ph.Th., A.V. Brunnekreef en M.A. Heldeweg (2016) Sturing van warmtenetten: naar een typologie van governance-structuren van warmte-infrastructuren, in: Bestuurswetenschappen, 70 (3), 48-61.

**Legende**

- Typ 1 (**Graue Gemeinden**) haben kein Wärmenetz. In der Politik wird nicht darüber gesprochen und es gibt auch keine Anzeichen für Pläne, eine derartige Infrastruktur zu entwickeln.
- Typ 2 (**Gelbe Gemeinden**) haben noch kein Wärmenetz. In der Politik wird darüber gesprochen, doch es gibt noch keine wirklichen Pläne für ein derartiges Netz.
- Typ 3 (**Orange Gemeinden**) haben noch kein Wärmenetz. Sie sprechen jedoch darüber. Sie haben konkrete Pläne zur Realisierung eines Netzes.
- Typ 4 (**Blaue Gemeinden**) haben ein Wärmenetz. Sie sprechen darüber und haben/hatten konkrete Pläne.
- Typ 5 (**Grüne Gemeinden**) haben ebenfalls ein Wärmenetz. Sie sprechen darüber und haben/hatten konkrete Pläne. Die Wärmenetze in diesen Gemeinden sind an Initiativen aus den Nachbargemeinden angeschlossen.





# Wärmehotspots

Eines der Hauptziele des Projektes WiEfm war und ist die Ermittlung und Darstellung von Potenzialen für eine Wärmewende in der EUREGIO. Die Verfügbarkeit lagebezogener Daten ist dabei von besonderer Bedeutung. Denn nur durch die gleichzeitige Darstellung von Bedarfen und möglichen Quellen können die räumlichen Bezüge sichtbar gemacht werden, die dann zu einer konkreten Planung einer kollektiven Wärmeversorgung führen. Aufbauend auf vorhergehenden Arbeiten zur Energieleitplanung in Städten und Gemeinden des Münsterlandes (vgl. z.B. [1]), hat das Forschungsteam der FH Münster unter der Leitung von Prof. Dr. Ing. Christof Wetter eine Methodik entwickelt, um anhand vorhandener Geodaten, wie Gebäudeumringen und -typen und der Flächennutzung, eine räumliche Analyse durchzuführen, die entlang von bestimmten „Leitplanken“ definieren, wo der Wärmebedarf im Münsterland so hoch ist, dass sich eine kollektive Wärmelösung anbietet.

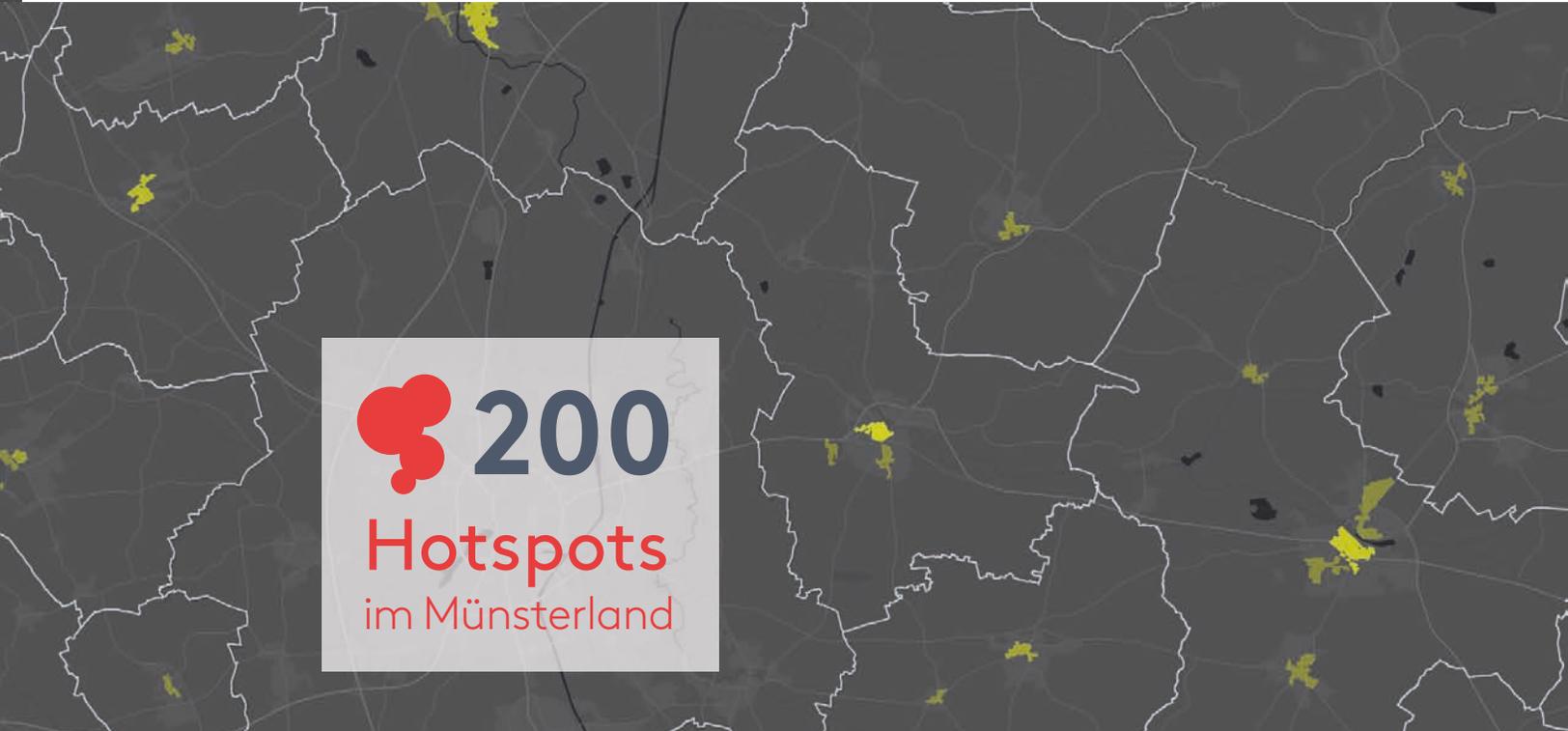
Dass Wärmenetze ein wichtiger Baustein für ein CO<sub>2</sub>-neutrales Energiesystem sind, ist im europäischen Kontext erkannt und wird gefördert. Sie bilden die Grundlage für die großflächige Einspeisung von erneuerbaren Energien in den Wärmemarkt und verbinden durch ihre Fähigkeit zur Sektorenkopplung den Strom-, den Wärme- und den (Bio-) Gasmarkt [2], [3]. Eine interaktive Karte der Region zeigt fast 200 Orte – „Wärmehotspots“ – im Münster-

land, in denen es sich lohnen würde, ein Wärmenetz zu installieren. Die ermittelten Potenziale sind groß: Auf 1,5% Prozent der Fläche entfällt ein Drittel des gesamten Heizwärme- und Warmwasserbedarfs des Münsterlandes.

## Wärmehotspots im Münsterland

Im Rahmen einer umfassenden Analyse der Siedlungsstruktur des Münsterlandes wurden konkret die Bereiche mit Potenzialen für die

Errichtung von neuen Wärmenetzen (so genannte Wärmesenken) ermittelt. Zur Siedlungsfläche gehören etwa 8% des Münsterlandes, ausgenommen ist davon die Fläche der Stadt Münster. Die ermittelten „Wärmehotspots“ bedecken „nur“ 1,5% der Fläche und sind somit geeignet für eine dezentrale Wärmenetzinfrastruktur. Auf diese Fläche entfallen jedoch gut 30% des gesamten Heizwärme- und Warmwasserbedarfs des Münsterlandes. Das



**200**  
**Hotspots**  
im Münsterland

bedeutet, ein Drittel des gesamten Wärmebedarfs könnten technisch und wirtschaftlich über Wärme aus Biomasse, Biogas, Solarthermie oder industrieller Abwärme CO<sub>2</sub>-neutral gedeckt werden.

#### **Wärmevorrangzonen nach dänischem Vorbild**

In Dänemark ist der Ausbau der Wärmenetze weit vorangeschritten. Dies liegt zum einen an der starken Besteuerung fossiler Energien. Zum anderen haben die Dänen eine auf Klimaschutz ausgerichtete Stadtplanungskultur entwickelt und die Stadt in Wärmevorrangzonen unterteilt, in denen der Bau und der Anschluss an ein Wärmenetz vorgeschrieben ist. Dieses Modell der Zonierung der Stadtgebiete weist besondere Schnittpunkte für die Wärmenetze auf, an denen der Ausbau einer netzbezogenen Wärmeversorgung über erneuerbare Energien technisch und ökonomisch sinnvoll ist [Vgl. „Modellregion EUREGIO“, S. 6].

63 % des gesamten Wärmebedarfs werden schon heute in Dänemark dezentral über Wärmenetze bereitgestellt, die zunehmend mit erneuerbaren Energien gespeist werden. In Kopenhagen liegt der Anschlussgrad schon bei 98%. Eine Vielzahl von Beispielen zeigen jedoch, dass dies nicht nur in Großstädten funktioniert. Die 7.500 Einwohner zählende Kommune Vojens wird z.B. mit 60.000 MWh/a Nahwärme aus BHKWs, Solarthermie und Power-to-Heat-Anlagen des örtlichen kommunalen Wärmenetzbetreibers versorgt. Dieses System ist technisch auch im ländlichen Münsterland und den Niederlanden jederzeit übertragbar.

Nach dem Vorbild Dänemarks weisen die Wärmehotspots Zonen auf, welche ähnlich wie die Wärmevorrangzonen in Dänemark, optimale Bedingungen für eine dezentrale Wärmeversorgung aufweisen. Somit bietet das Tool Akteuren eine Entscheidungshilfe zum Einstieg

in die Wärmenetzplanung. Als browsergestütztes Tool ist es unter [www.wiefm.eu](http://www.wiefm.eu) jederzeit für jedermann frei verfügbar.

Die Karte stellt das gesamte Münsterland mit seinen 65 Kommunen und die fast 200 ermittelten Wärme-Hotspots dar. Interessenten können in ein beliebiges Gebiet hineinzoomen und dann den oder die Hotspots sowie das maximale CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial einsehen (Abbildung 1). Darüber hinaus lassen sich auch die Fläche, die Anzahl der Gebäude und die im Hotspot benötigte Wärmemenge mit wenigen Klicks erfassen. Auf diese Weise ist die Basis für die Wärmevorrangzonen nach dänischem Vorbild geschaffen.

Ergänzt wird die Darstellung der Hotspots um die Möglichkeit, digitale topographische Karten und Satellitenbilder einzublenden, aber vor allem auch durch die Möglichkeit sich Industrieunternehmen, die potenziell Abwärme zur Verfügung



Abbildung 1: Hotspot im Detail

stellen können sowie die benachbarten Biogasanlagen anzeigen zu lassen. Damit sind Wärmequelle und Senke in bisher nicht dagewesener Form einander gegenübergestellt.

**Grundlage der Darstellung**

Der Datenbestand an Geoinformationen des Landes und der Kommunen Nordrhein-Westfalens bildet die Grundlage für die Ergebnisse. Dieser Datenbestand steht seit Anfang des Jahres 2017 als Open-Source-Datenbank zur Verfügung [4] und enthält bereits Informationen zu den Siedlungsflächen sowie zu den Gebäuden. Mit eigens entwickelten und programmierten Algorithmen in einer Geoinformationssoftware (GIS) wurde die Gebäudetypologie, der spezifische Wärmebedarf und die Flächennutzung analysiert um flächendeckende Ergebnisse für das Münsterland zu erzeugen (Abbildung 2). Auf Basis von statistischen Annahmen sowie der Nutzflächen

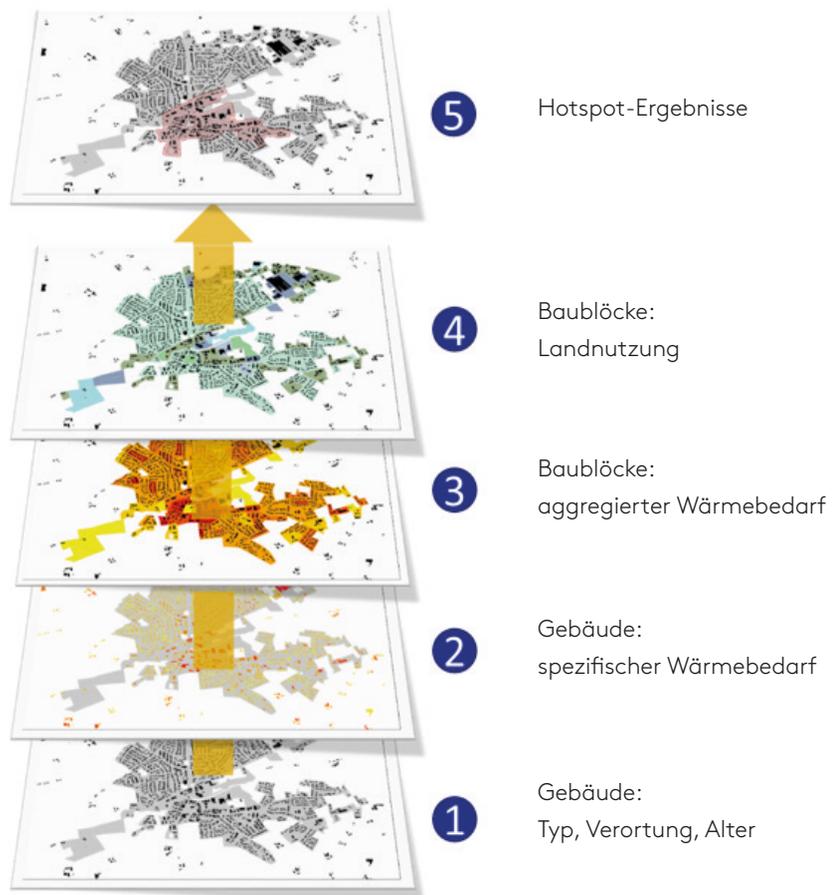


Abbildung 2: Methodik

wurde für jedes wärmerrelevante Gebäude im Münsterland ein spezifischer Jahreswärmebedarf (Heizung und Warmwasser) errechnet. Die Summe der Wärmebedarfe der Einzelgebäude wiederum wurde in Baublöcken aggregiert. Um die Wärmehotspots herauszufiltern, wurde der aggregierte Wärmebedarf sowie die Nutzungsart des Baublocks, z.B. „Wohnen“, mit definierten Grenzwerten ausgewertet. Auf diese Weise rückt das Tool den Ortsbezug durch die Nutzung eines GIS in den Mittelpunkt, sodass Synergien und Chancen sichtbar werden, die bislang keine systematische Berücksichtigung fanden.

#### Analyse bestehender Netze

Im Zuge der Evaluation der Ergebnisse stellte sich heraus, dass die bestehenden Netze im Münsterland zuverlässig in den Hotspots liegen, womit die Aussagekraft der Karte stark bestätigt wird. Des Weiteren kann festgestellt werden, dass die Entfernung vom nächsten Wärmehotspot bei 60% der gut 230 Biogasanlagen in Münsterland, als potenzielle Wärmequellen, maximal 3km beträgt, bei 30% der Anlagen nur maximal 2km. Wenn in wenigen Jahren die ersten Biogasanlagen aus der EEG-Vergütung fallen, sind alternative Geschäftsmodelle wie Flexibilisierung und eine umfassende Wärmenutzung gefragt. Hier bietet das Hotspottool Entscheidungs-

grundlagen für die Betreiber solcher Anlagen.

#### Integration in die Praxis

Im Vergleich zu den bekannten Wärmekatastern geht die kartografische Darstellung des WiEfm Projekts einen Schritt weiter, da durch die Einbeziehung der Wärmedichten bzw. der Flächennutzung ein Analyseschritt vollzogen wird, der im Ergebnis aufzeigt, wo bereits heute die Voraussetzungen für ein wirtschaftlich zu betreibendes Wärmenetz gegeben sind. Die Reduktion der Informationsdichte bewirkt, dass die wirklichen Hotspots im Fokus stehen.

Nun gilt es, die Ergebnisse in die Praxis zu integrieren. Einen wichtigen Beitrag dazu liefert die Verfügbarkeit der Ergebnisse in einem browsergestützten und intuitiv bedienbaren GIS. In Kombination mit Abwärmepotenzialen aus der Industrie oder aus bestehenden Biogasanlagen können die Akteure vor Ort schnell Projekte generieren, die zum einen dem Klimaschutz vor Ort dienen, zum anderen aber auch der regionalen Wertschöpfung. Durch den fachlichen Dialog mit der Wirtschaft und den Verwaltungen in der Region durch das Projekt „WiEfm“ gibt es einen engen Austausch mit den Wirtschaftsfördergesellschaften des Münsterlandes und mit den niederländischen Partnern. Gemeinsam werden Methoden und Werkzeuge

für eine Wärmewende im ländlichen Raum erarbeitet und präsentiert. Dabei spielt das Planungstool für das weitere Vorgehen eine wichtige Rolle. Ergänzt wird das Tool zudem durch die Erkenntnisse, die aus den Governance-Untersuchungen her-rühren (s. [5]).

#### Situation in den Niederlanden

In den Niederlanden sind die Bedingungen zur Entwicklung einer vergleichbaren Wärmehotspotanalyse sehr gut. Eine Vielzahl an relevanten Daten ist bereits aufbereitet und auch online einzusehen. Als nützliches Tool sei beispielsweise der nationale „Wärmteatlas“ genannt [6] oder der Nationale Energieatlas [7].

Grundsätzlich ist die gewählte Methodik zur Auswahl und Darstellung der Wärmehotspots deutschlandweit sowie in die Niederlande übertragbar, unter der Voraussetzung, dass gut gepflegte Geodaten frei zugänglich zur Verfügung stehen. In Kombination mit den Informationen zu bestehenden Wärmenetzen, Abwärmepotenzialen und bspw. Gasnetzdaten können damit begründete strategische Entscheidungen in den Stadtentwicklungsplänen getroffen werden.

Dipl.-Geogr. Hinnerk Willenbrink,  
FH Münster

#### Literatur

- [1] TAFH Münster; infas enermetric GmbH, „Integriertes Wärmenutzungskonzept Gemeinde Neuenkirchen,“ 2015.
- [2] H. Lund, S. Werner, R. Wiltshire, S. Svendsen, J. E. Thorsen, F. Hvelplund, and B. V. Mathiesen, „4th Generation District Heating (4GDH). Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems,“ *Energy*, vol. 68, pp. 1–11, 2014.
- [3] H. Lund, B. Möller, B. V. Mathiesen, and A. Dyrelund, „The role of district heating in future renewable energy systems,“ *Energy*, vol. 35, no. 3, pp. 1381–1390, Mar. 2010.
- [4] Geobasis NRW, „Opengeodata.NRW,“ 2017. [Online]. Available: <https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/>.
- [5] Steffen Nielsen, Bjarne Lykkemark (2014): Fjernvarmeanalyse i Region Midtjylland, online unter: <https://www.rm.dk/siteassets/regional-udvikling/ru/publikationer/energi/fjernvarmeanalyse-afgraensning.pdf>
- [6] <http://rvo.b3p.nl/viewer/app/Warmteatlas/v2>
- [7] <http://www.nationaleenergieatlas.nl>

# Wärmenetzbenchmark

## Qualitativer Vergleich bestehender Wärmenetze

Planern und Kommunen fehlen – insbesondere im ländlichen Raum – oftmals noch Erfahrungswerte zur erfolgreichen Realisierung von Wärmenetzen, sodass in vielen Fällen vor Wärmenetzen zurückgeschreckt wird. Dabei gibt es im Münsterland bereits einige Wärmenetze. Daher stellt sich die Frage, wie erfolgreich diese Netze betrieben werden. Wie effizient sind sie? Auf welchen Wert können sie ihre Wärmeverluste minimieren und was kann von diesen Netzen für zukünftige, neue Projekte gelernt werden? Zur Beantwortung dieser Fragen wurde im Rahmen von WiEfm die Masterarbeit „Wärmenetzbenchmark – qualitativer Vergleich bestehender Wärmenetze“ erstellt, deren Ergebnisse hier zusammengefasst werden.

Um die Energieeffizienz und die Umweltauswirkungen von Nah- und Fernwärmenetzen zu bewerten, wurden zwölf Wärmenetze im Münsterland detailliert untersucht, ausgewertet und miteinander verglichen. Dazu wurden gemeinsam mit den Betreibern Daten erhoben, aus denen vergleichbare und übertragbare Kennwerte gebildet wurden. Diese lassen sich in zwei Kategorien einordnen. Zum einen wurden Kennwerte gebildet, die das technische System selbst beschreiben, wie die Systemeffizienz, Systemverluste, Anschlussdichte, Netzverluste und Temperaturspreizung. Zum anderen wurden mit den Primärenergie- und Emissionsfaktoren Kennwerte gebildet, die über das technische System selbst hinausgehen und zusätzlich die Vorketten der Energieträger mitberücksichtigen. Anhand dieser Faktoren wurden die Netze untereinander sowie auch mit einer theoretischen, konventionellen Beheizung der Anschlussnehmer verglichen. Im Hinblick auf Wärmeverluste im Netz und auf die Anschlussdichte weisen die untersuchten Netze große Unterschiede auf. Bis auf

zwei Netze liegen alle im Bereich von Netzverlusten bis zu 32% und Anschlussdichten bis zu 3,4 MWh/(m·a) (Abb. 1). Andere Wärmenetze in Dänemark und der Schweiz liegen in einem ähnlichen Bereich, wobei sich diese insbesondere bei Anschlussdichten zwischen 0,8 und 1,8 MWh/(m·a) und Netzverlusten zwischen 10 und 30 % konzentrieren.

Bei der Gegenüberstellung von Primärenergiefaktor und Systemeffizienz (Abb. 2) zeigt sich, dass insbesondere der eingesetzte Brennstoff den Primärenergiefaktor bestimmt.

Während die Systemeffizienz rechnerisch zwar auch einfließt, hat sie im Vergleich zum Brennstoff eine deutlich schwächere Auswirkung. Insbesondere die Wärmenetze auf Basis erneuerbarer Energieträger weisen niedrige Primärenergiefaktoren auf. Die Systemeffizienz ist zwischen den Netzen unabhängig von der Brennstoffwahl sehr unterschiedlich.

Für die untersuchten Netze wurde ein Benchmark erstellt, in dem jeder gebildete Kennwert mit einem Referenzwert verglichen und die

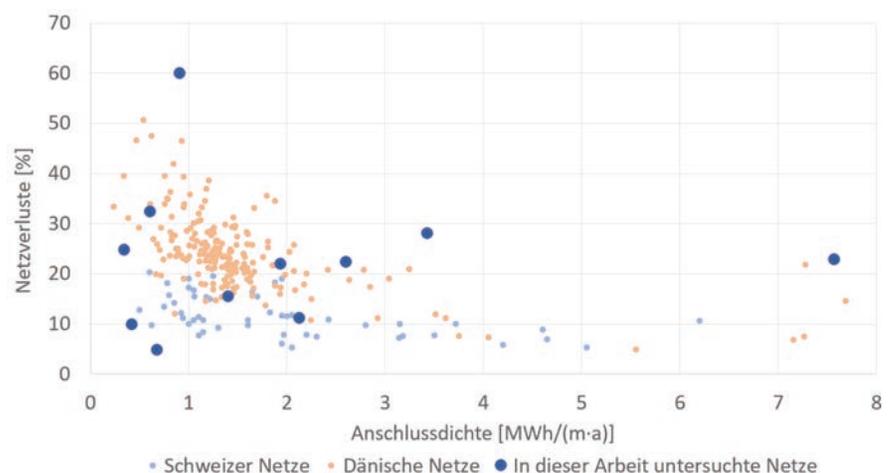


Abbildung 1: Anschlussdichten und Netzverluste der untersuchten Wärmenetze sowie von schweizerischen und dänischen Netzen aus ähnlichen Untersuchungen

Abweichung dazu beziffert wurde. Die Systemkennwerte wurden dabei auf den besten Wert der untersuchten Wärmenetze in der jeweiligen Kennwertkategorie bezogen, während die Primärenergie- und Emissionsfaktoren jeweils mit den Werten konventioneller, erdgasbetriebener Einzelheizungen verglichen wurden. Insgesamt zeigen sich dabei gute Beispiele im Hinblick auf die Systemeffizienz und auf die Primärenergieeffizienz. Allerdings erreicht nur ein einziges Wärmenetz gute Werte in beiden Kategorien. Sämtliche Netze haben noch Potenzial zur Optimierung. Den Betreibern wurden daher Empfehlungen ausgesprochen, um die Effizienz ihrer Systeme zu steigern und die Primärenergie- und Emissionsfaktoren zu senken.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bestätigen, dass Wärmenetze zu einer klimafreundlichen Wärmeversorgung beitragen können. Es sind Primärenergie- und Emissionsfaktoren möglich, die weit unter denen der konventionellen Alternativen liegen. Stehen Abwärme oder erneuerbare Energien zur Verfügung, die nicht individuell genutzt werden können, ist die Wärmeversorgung durch

Nahwärmesysteme im Hinblick auf diese Faktoren in Betracht zu ziehen. Während sich zeigt, dass Wärmenetze sogar bei niedrigen Anschlussdichten im ländlichen Raum ökologisch sinnvoll und effizient betrieben werden können, wird jedoch auch deutlich, dass sie nicht grundsätzlich effizienter oder klimafreundlicher sind als konventionelle Systeme. Es ist daher wichtig, während der Auslegung und des Betriebs eines Wärmenetzes alle Effizienzkennwerte aufeinander abzustimmen, zu optimieren und erneuerbare Energieträger einzusetzen, die eine möglichst geringe fossile Vorkette aufweisen.

Die wichtigsten Erkenntnisse und Erfahrungen in 5 Thesen:

**1. Wärmenetze können sehr effizient und klimafreundlich sein – sie sind es allerdings nicht automatisch.**

Zu einem wirklich klimafreundlichen und effizienten Wärmenetz gehört neben einer maßgeschneiderten Auslegung im Vorfeld, vor allem der alltägliche Betrieb durch qualifiziertes Personal, welches das Netz hauptamtlich und engagiert pflegt und optimiert, sowie der Einsatz lokaler, erneuerbarer Energieträger. Ein herkömmliches Netz auf Basis von Erdgasanlagen erreicht keine besseren Werte als individuelle Heizungen.

**2. Die systematische Messung und Dokumentation von Energieströmen ist Voraussetzung für ein effizientes Wärmesystem.**

Die Identifikation von Einspar- und Optimierungspotenzialen ist nur durch die Messung von Brennstoff-, Strom- und Wärmemengen möglich. Den Netzbetreibern, die diese Daten noch nicht erfassen und dokumentieren, wird empfohlen, dementsprechend nachzurüsten.

**3. Der Primärenergiefaktor wird in erster Linie durch die eingesetzten Energieträger und nur weniger durch die Technik und Effizienz bestimmt.**

Aus ökologischer Sicht ist daher von einer Wärmezeugung aus fossilen Energieträgern in Wärmenetzen abzuraten. Die Wahl des Energieträgers hat in diesem Zusammenhang Priorität vor dem Systemwirkungsgrad.

**4. Wärmenetze lassen sich auch in Gegenden mit sehr niedriger Anschlussdichte ökologisch sinnvoll und effizient betreiben.**

Die weitläufige Meinung, Wärmenetze lohnten nur in Ballungszentren mit hoher Bebauungsdichte, kann so pauschal nicht bestätigt werden: In dieser Untersuchung hat das Wärmenetz mit der besten Systemeffizienz und einem der besten Primärenergiefaktoren gleichzeitig eine der niedrigsten Anschlussdichten. Das zeigt, dass auch im ländlichen Raum der Betrieb von effizienten und klimafreundlichen Wärmenetzen durchaus möglich und sinnvoll ist.

**5. Im Hinblick auf die Energiewende sind Wärmenetze überall dort in Betracht zu ziehen, wo Abwärme oder erneuerbare Energien zur Verfügung stehen, die nicht individuell nutzbar sind.**

Biogasabwärme, Industrieabwärme oder großflächige Solarthermie sind Wärmequellen, deren Nutzung in einem Wärmenetz eine höhere Systemeffizienz und einen niedrigeren Primärenergiefaktor erlauben als andere, fossile Versorgungsalternativen.

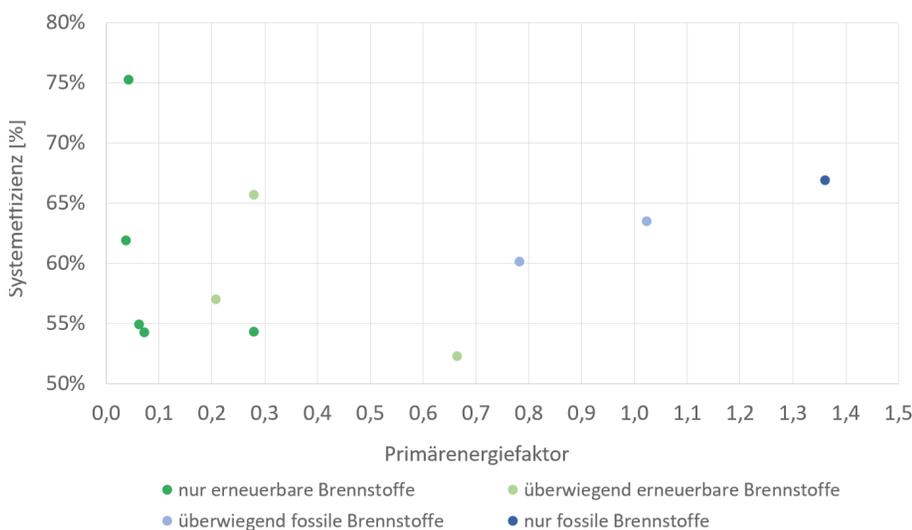


Abbildung 2: Primärenergiefaktoren und Systemeffizienz der untersuchten Wärmenetze

# Leistungsvergleich von Wärmenetzen in den östlichen Niederlanden

Oft werden Wärmenetze genutzt, um Gebiete nachhaltig zu beheizen. Doch wie nachhaltig sind diese Wärmenetze, wie bestimmt man die Leistung eines Wärmenetzes und welche Möglichkeiten gibt es, die Leistung von Netzen zu verbessern? Diese Fragen wurden seitens WiEfm anhand einiger praktischer Fallbeispiele in den östlichen Niederlanden untersucht [1]. Der vorliegende Artikel basiert auf dieser Studie.

Die Leistung von Wärmenetzen wird in Energieleistungs- und CO<sub>2</sub>-Kennzahlen ausgedrückt. Die Energieströme werden anhand eines Sankey-Diagramms dargestellt. Die Netzwerke werden miteinander verglichen und es werden einige Schlussfolgerungen in Bezug auf die Nachhaltigkeit gezogen.

## Methodik

Abb. 1 ist eine schematische Darstellung eines Wärmeverteilungssystems. Eine Heizzentrale liefert Wärme für ein Verteilungssystem. Diese

Zentrale wird von einer Energiequelle angetrieben (1 und 2 auf der Abb.). Dies kann beispielsweise ein fossiler Brennstoff sein, oder auch ein nachhaltiger Brennstoff, wie Biomasse oder eine von Wind- oder Sonnenenergie angetriebene Wärmepumpe. Bei einem Kraft-Wärme-Kopplungs-System (KWK) kann auch Elektrizität erzeugt werden (Pfeil 4). Während dieses Prozesses werden zwei Verlustströme definiert: der Produktionsverlust während der Wärmeproduktion (Pfeil 3) und der Verteilungsverlust (Pfeil 6). Schluss-

endlich wird eine Netto-Strommenge geliefert (Pfeil 7), um der Wärmeforderung nachzukommen.

Die verschiedenen Wärmenetze wurden anhand des Schemas in Abb. 1 analysiert. Um die unterschiedliche Leistung von Netzen miteinander zu vergleichen, wurden zwei Kennzahlen berechnet. Diese geben die Nachhaltigkeit eines Wärmenetzes an.

Der erste Index ist die Primary Energy Ratio (PER), die als die gelieferte Wärme, geteilt durch den totalen Wärme-Input an fossiler Energie, die benötigt wird, um diese Wärme zu liefern, definiert wird. Wenn Elektrizität produziert wird, wird diese Elektrizität in primäre Energie umgerechnet und vom Input an primärer Energie abgezogen.

$$PER = \frac{Q_{\text{netto,geleverd}}}{B_{\text{primair fossil}} - \frac{E_{\text{prod}}}{\eta_{el}}} [-]$$

Idealerweise wird keine fossile Energie verwendet. In diesem Fall ist die PER unendlich.

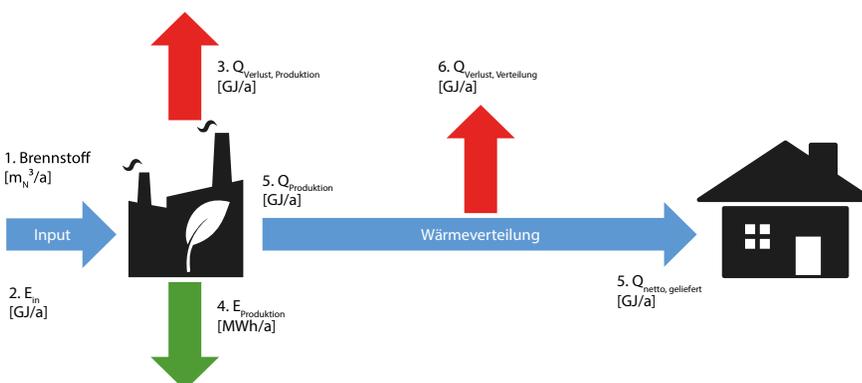


Abbildung 1: Übersicht der Wärmeverteilung in einem Wärmenetz aus [1]

Der zweite Index ist die Menge an CO<sub>2</sub>, die das System ausstößt, geteilt durch den CO<sub>2</sub>-Ausstoß in der Referenzsituation, bezogen auf Wärme (Q) und Elektrizität (E). In den Niederlanden gilt als Referenzsituation eine Situation, in der mithilfe individueller HR107-Gaskessel Wärme erzeugt wird und davon getrennt Elektrizität in einer Elektrizitätszentrale erzeugt wird.

$$CO_2index = \frac{CO_{2\ for\ Q\ \&\ E}}{CO_{2\ for\ Q\ \&\ E\ ref}} [-]$$

Hier liegt das Optimum so nah wie möglich an 0.

**Beschreibung der Wärmenetze**

Es wurden vier Gebiete mit Wärmenetzen analysiert. Die Daten dieser Gebiete wurden anonymisiert. Tabelle 1 beinhaltet eine Übersicht der Gebiete und der besonderen Eigenschaften der Gebiete und der energieerzeugenden Einheiten. Diese Gebiete werden nacheinander analysiert.

**Wärmenetz 1, Biogas-KWK, Holz-hackschnitzelkessel**

Bei diesem Gebiet handelt es sich um ein Neubaugebiet mit Wohneinheiten, die zwischen 2000 und 2014 gebaut wurden. Das Wärmenetz nutzt drei Wärmequellen. Die primäre Wärmequelle, die das Netz speist, ist eine Biogas Kraft-Wärme -Kopplung (KWK). Hierbei wird Biogas, das bei der Abwasserreinigung entsteht,

verheizt, um Energie zu gewinnen, die wiederum zur Abwasserklärung verwendet wird. Wenn Elektrizität übrigbleibt, wird diese in das Stromnetz eingespeist. Der produzierte Strom (sowohl der intern genutzte als auch der ins Netz gespeiste) ist nicht bekannt gewesen und wird darum bei der Analyse nicht berücksichtigt.

Bei der Abwasserklärung ist das Restprodukt Klärschlamm, der vergärt wird und dabei entsteht Biogas, das in der Kraft-Wärme-Kopplung verheizt wird. Es handelt sich also um einen geschlossenen Kreislauf. Neben Elektrizität wird dabei auch Wärme produziert, die in das Wärmenetz abgeführt wird. Neben der Biogas-Kraft-Wärme-Kopplung gibt es auch zwei Hackschnitzelkessel. Für Stoßzeiten und als Backup gibt es noch zwei Erdgaskessel, die dafür sorgen, dass eine stabile Wärmezufuhr garantiert werden kann. Um die Unterschiede zwischen Wärmeproduktion und Wärmenachfrage aufzufangen, gibt es auch zwei Wärmepufferspeicher im System, die ebenfalls dazu dienen, zu Stoßzeiten die Versorgung sicherzustellen. Das Wärmenetz wird nicht nur zum Heizen von Räumen verwendet, sondern auch um das Wasser der angeschlossenen Gebäude zu erwärmen. Daher ist die Vorlauftemperatur mit 70 °C relativ hoch.

**Wärmenetz 2, Wärmepumpe**

Dieses Neubaugebiet besteht aus Wohneinheiten, die zwischen 2002 und 2016 gebaut wurden. Um die Häuser, Büros und Schulen zu heizen, wird Trinkwasser Wärme entzogen. Das Wasser wird in einer Tiefe von 150m aus dem Boden gewonnen und hat dann eine Temperatur von ca. 12°C. Mittels einer Pumpe in einem Trinkwasserbassin wird ein Teilstrom durch einen Wärmetauscher geleitet, der an eine Wärmepumpe gekoppelt ist, die das Trinkwasser aus dem Bassin auf maximal 10°C abkühlt. Die entzogene Wärme wird zum Erhitzen des Heizungswassers verwendet. Die Wärmepumpe liefert somit ca. 87% des totalen Wärmebedarfs der angeschlossenen Wohneinheiten und gewerblichen Gebäude. Die produzierte Wärme wird in einem Pufferspeicher von 50m<sup>3</sup> gespeichert, damit die Wärmepumpe effizienter genutzt werden kann. Für die Stoßzeiten im Winter gibt es zwei Gaskessel, die etwa 13% des jährlichen Wärmebedarfs liefern. Die Zufuhrtemperatur variiert im Laufe des Tages und des Jahres und folgt der Heizkurve. Die Vorlauftemperatur beträgt maximal 50°C und eignet sich damit ausschließlich für Heizen mit geringen Temperaturen. Das bedeutet, dass sich das Wasser nicht zum Erhitzen von Leitungswasser eignet. Dafür verfügen die Haushalte alle über ein eigenes System, variierend von einem HR-Kessel (Brennwertkessel) hin zu Booster-Wärmepumpen.

**Wärmenetz 3, Kraft-Wärme-Kopplung Erdgas**

Dieses Neubaugebiet wird von einer KWK-Anlage erwärmt, die auf Erdgas basiert. Die Installation verfügt über Puffer und zu Stoßzeiten, im Winter, stehen zwei Gaskessel zur Verfügung. Die Vorlauftemperatur

Tabelle 1: Übersicht über die analysierten Wärmenetze

Wärmenetz	Technik	Anzahl Anschlüsse	Baujahr
Wärmenetz 1	Biogas-KWK, Hackschnitzel- und Gaskessel	1.700 Wohneinheiten und gewerbliche Gebäude (Ausweitung bis auf 2.300-2.500 Wohnungen)	2000-2016
Wärmenetz 2	Wärmepumpe und Gaskessel	200 Wohneinheiten und gewerbliche Gebäude	2002-2016
Wärmenetz 3	KWK und Gaskessel	1.300 Wohneinheiten und gewerbliche Gebäude	2005-2007
Wärmenetz 4	Holz hackschnitzel- und Gaskessel	300 Wohneinheiten	2011-2015

des Wassers liegt zwischen 70 und 80°C. Das Wärmenetz beheizt die Wohneinheiten und das Warmwasser in den Wohnungen. Die Rücklauftemperatur liegt bei ungefähr 55°C.

#### Wärmenetz 4, Hackschnitzelkessel

Auch hier handelt es sich um ein Neubaugebiet. Geheizt wird mit einem Hackschnitzelkessel, der 88% der Wärme liefert. Die Stoßzeiten werden von zwei Gaskesseln aufgefangen. Zudem gibt es einen Pufferspeicher, der vor allem morgens das Gebiet mit Wärme versorgt. Die Hackschnitzel haben einen Feuchtigkeitsanteil von ca. 40% und stammen aus dem Baumschnitt der Umgebung. Die Vorlauftemperatur des Wärmenetzes beträgt 70°C, die Rücklauftemperatur 50°C.

#### Analyse

Die Energieströme des Wärmenetzes wurden analysiert und in Sankeydiagrammen dargestellt. Eine Übersicht über die Energieproduktion und die Nachhaltigkeitskennziffern der Netzwerke sind in Tabelle 2 ersichtlich. Die Prozentwerte in der Tabelle geben den Deckungsgrad der entsprechenden Energiequelle wieder. Wenn die Zelle in der Tabelle leer ist, gibt es im Netzwerk keine Wärmeproduktion mit der entsprechenden Quelle.

#### Primary Energy Ratio (PER) und CO<sub>2</sub>-Index

Je höher die PER ist, desto besser für die Nachhaltigkeit. Außerdem ist es wünschenswert, dass der CO<sub>2</sub>-Index so niedrig wie möglich ist. Im Referenzsystem (HR-Kessel) liegt sowohl die PER als auch der CO<sub>2</sub>-Index bei etwa 1. Es zeigt sich, dass alle Gebiete mehr oder weniger besser abschneiden als die Referenzsituation. Das nachhaltigste Wärmenetz ist Nr. 4, bei dem Wärme mittels eines Hackschnitzelkessels erzeugt wird. In dieser Situation ist der Anteil an nachhaltiger Energie sehr hoch (90%). Das Netzwerk verwendet ca. 5 mal weniger fossile Energie als das Referenzsystem und infolgedessen ist der CO<sub>2</sub>-Ausstoß auch etwa 5 mal geringer. Abb. 2 stellt das Sankeydiagramm von Wärmenetz 4 dar. In Wärmenetz 1 beträgt der Anteil nachhaltiger Energie aus Biogas und Holz 76%. Das Wärmenetz schneidet mit einer PER von 2,5 auch deutlich besser als das Referenzsystem ab. Wenn es möglich wäre, den Deckungsgrad der nachhaltigen Quelle bis auf den Prozentsatz von 88% von Wärmenetz 4 zu erhöhen, würde dies zu einer PER von ca. 5 führen. Dieser Wert ist vergleichbar mit dem von Wärmenetz 4. Die Wärmenetze 2 und 3 sind in Bezug auf ihre Nach-

haltigkeit mit dem Referenzsystem vergleichbar. Wärmenetz 3 wird von einer KWK-Installation mit Gas (fossiler Brennstoff) gespeist. Da sowohl Elektrizität als auch Wärme erzeugt wird, ist diese Situation etwas günstiger als eine getrennte Erzeugung. Der positive Effekt der kombinierten Erzeugung wird teilweise durch den relativ hohen Übertragungsverlust von 27% wieder zunichtegemacht.

Wenn es möglich wäre, sowohl die KWK-Anlage als auch die Gaskessel mit Biogas zu heizen, wäre die Nachhaltigkeit dieses Wärmenetzes sehr hoch. Die Wärme in Netz 2 wird zu 87% von einer Wärmepumpe geliefert. Dennoch schneidet dieses Wärmenetz bei der Nachhaltigkeit nur etwas besser als das Referenzsystem ab. Dies liegt zum Teil an der relativ niedrigen Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpe (durchschnittliche JAZ von 3,57). Diese relativ niedrige JAZ wird größtenteils durch den relativ hohen Temperaturunterschied verursacht, mit dem die Wärmepumpe arbeitet. Dieser Temperaturunterschied zwischen dem Verdampfer und dem Kondensator der Wärmepumpe beträgt, abhängig von der Heizkennlinie, maximal 43°C. Eine andere Ursache der schlechten Nachhaltigkeit liegt in der Differenz zwischen der Kapazität der Wärmepumpe und der Kapazität

Tabelle 2: Übersicht über die Energieströme und Kennzahlen der Wärmenetze

	Wärmenetz 1	Wärmenetz 2	Wärmenetz 3	Wärmenetz 4	Referenzsituation (HR Kessel)
Wärmeproduktion aus erneuerbaren Energien (Holz/Biogas)	67.260 GJ/a (76%)			8.753 GJ/a (88%)	
Wärmeproduktion Wärmepumpe (Elektrizität aus dem Netz)		8.589 GJ/a (87%)			
Wärmeproduktion aus fossilen Energien (Erdgas mit Gaskessel und/oder KWK)	21.600 GJ/a (24%)	1.277 GJ/a (13%)	73.512 GJ/a (100%)	1.177 GJ/a (12%)	100 %
CO <sub>2</sub> -index [-]	0,39	1,0	0,84	0,18	1,0
PER [-]	2,5	1,1	1,1	5,2	0,96
Übertragungsverlust [%]	35%*	10 %	27%	33%	

\* wird in 2016 aufgrund zunehmender Wärmeabnahme sinken

des Wärmetauschers und der umliegenden Pumpen. Ungünstig ist auch, dass die Elektrizität, die die Wärmepumpe antreibt, aus dem Stromnetz gewonnen wird. Wenn die gesamte Elektrizität nachhaltig erzeugt würde, läge die PER theoretisch bei 6,5 und der CO<sub>2</sub>-Index bei 0,15. Dann wäre Wärmenetz 2 direkt nachhaltiger.

eine Rolle. Eine geringere Netztemperatur verringert die Verluste. Die Übertragungsverluste nehmen prozentual ab, wenn das Netzwerk mehr Verbrauchern Wärme liefert. Das Netzwerk wird in den kommenden Jahren noch wachsen und damit wird der Übertragungsverlust entsprechend abnehmen.

- Es ist wichtig, die Möglichkeiten der Umgebung zu beachten. Wenn zum Beispiel Restwärme verfügbar ist, besteht die nachhaltige Lösung darin, diese Energiequelle zu nutzen (wenn möglich).
- Es sollten so viel wie möglich nachhaltige Brennstoffe genutzt werden. Dies hängt wiederum von den Möglichkeiten der Umgebung ab.
- Es ist ratsam, den Deckungsgrad der nachhaltigen Installation so hoch wie möglich zu machen, so dass die zusätzliche Nutzung fossiler Brennstoffe so gering wie möglich ist.
- Die Temperatur des Heizungswassers hat einen großen Einfluss auf die Leitungsverluste. Eine niedrigere Temperatur sorgt für niedrigere Leitungsverluste. Dabei muss allerdings bedacht werden, dass Heizungswasser mit einer geringen Temperatur sich nicht dazu eignet, Leitungswasser zu erhitzen. Daher müsste eine Lösung gefunden werden, wie das Leitungswasser nachhaltig erhitzt werden kann.

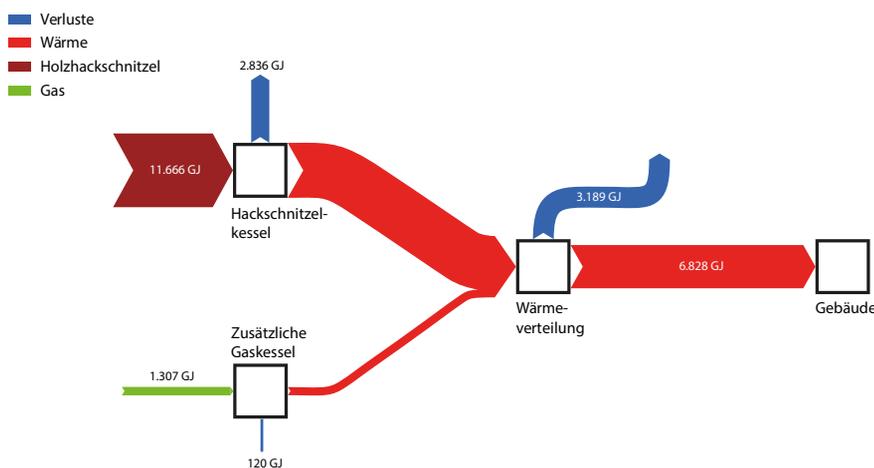


Abbildung 2: Sankey-Diagramm Wärmenetz 4 aus [1]

## Übertragungsverluste

Der Übertragungsverlust in den untersuchten Systemen liegt bei ca. 25-35%. Die Netzwerke, bei denen dieser hohe Verlust auftritt, sind genau die Netze mit einer hohen Vor- und Rücklauftemperatur (70-90°C). Das Netzwerk, bei dem der Übertragungsverlust 10% beträgt, ist zugleich das Netzwerk, in dem eine relativ niedrige Temperatur von maximal 52°C herrscht. Die Temperatur des Netzes bestimmt in hohem Maße den Übertragungsverlust. Außerdem gibt es noch andere Ursachen, wie Leitungen, die nahe der Erdoberfläche liegen, wodurch sie stärker von der Außentemperatur beeinflusst werden. Auch die Länge der Leitungsnetzwerke spielt

Neben der Nachhaltigkeit der Netze ist für die Nachhaltigkeit des Heizens in einem Gebiet auch die Bauweise von Bedeutung. Je näher Wohneinheiten aneinander gebaut sind, desto kürzer können die Leitungen sein und desto weniger Verluste gibt es. Auch Wohneinheiten, die an- oder übereinander gebaut sind, sind vorteilhafter, weil es weniger Außenmauern gibt. Indem die Wärmenachfrage so gering wie möglich gehalten wird, wird der erste Schritt hin zu mehr Nachhaltigkeit gemacht.

## Schlussfolgerung

Die folgenden Aspekte spielen bei einer nachhaltigen Wärmeversorgung eine Rolle. Die genannten Punkte stehen in willkürlicher Reihenfolge:

Die vorliegende Studie hat gezeigt, dass ein Netzwerk mit einem kollektiven Wärmenetz, das mit einem Hackhschnitzelkessel geheizt wird, in Bezug auf die Nachhaltigkeit am besten abschneidet. In diesem Wärmenetz ist der Deckungsgrad des Hackhschnitzelkessels hoch, wodurch die zusätzlichen Gaskessel nur selten genutzt werden müssen. Es ist jedoch nicht möglich, diese Installation in jedem bebauten Gebiet anzuschließen. Manchmal fehlen Genehmigungen oder die Transportwege für die Holzzufuhr sind für das entsprechende Gebiet zu weit.

Thomas Hordijk,  
 Marieke Janssen,  
 Nick Kuipers,  
 Ir. Sandra I. Wijnant-Timmerman,  
 Saxion Hogeschool

# Wärmewendemodell zur nachhaltigen Energieversorgung von Wohngebieten

Im Rahmen des WiEfm-Projekts wurde ein Modell entwickelt, mit dem Systemoptionen für eine nachhaltige Energieversorgung von Wohngebieten berechnet werden können. Das Modell geht von einer maximalen Eigenutzung von lokal gewonnener, nachhaltiger Energie durch Wohneinheiten und einer minimalen Nutzung des Elektrizitäts- und Erdgasnetzes aus. Es beinhaltet Energiesteueralgorithmen zur Priorisierung lokaler Energiegewinnung und Energiespeicherung und wurde in einem Fall angewendet, in dem vier nachhaltige Energiesystemkonzepte mit einem Referenzsystem verglichen wurden. Mithilfe des Modells werden optimale Kapazitäten mit einem Minimum an operationellen Kosten als Kriterium inklusive eines Zuschlags für CO<sub>2</sub>-Produktion berechnet. Zudem wird die Attraktivität dieser Konzepte in Relation zu Kosten, Umweltbelastung und Anwendbarkeit im Kontext der niederländischen Energiewende besprochen.

Für bebaute Gebiete ist die Wärmewende innerhalb der Energiewende eine dominierende und komplexe Frage. Um bei der Wärmefrage Nachhaltigkeit zu ermöglichen, werden innerhalb des WiEfm-Projekts nachhaltige Wege erforscht, z.B. Wärmepumpen oder nachhaltige Wärmenetze. Da die meisten Gebäude in den Niederlanden mit Erdgas beheizt werden, gibt es noch relativ wenige nachhaltige Wärmenetze oder Möglichkeiten, bestehende Gebiete an bestehende Wärmenetze anzuschließen. Darum gibt es Chancen für neue Konzepte und für kleine, lokale Wärmenetze. Die Herausforderung solcher Konzepte, und zugleich das Ziel dieser Forschung, ist die 100%-ige Integration nachhaltiger Energie, so dass Angebot und Nachfrage in einem positiven Busi-

ness Case jederzeit im Gleichgewicht sind. Die Fragestellung hinter dieser Studie lautet: Wie kann ein Wärmewendemodell entwickelt werden, das Einblick in die Integration nachhaltiger Energie, das momentane Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage und den Business Case bietet? Außerdem: Was bedeuten die Ergebnisse dieses Modells bei der Anwendung im konkreten Fall? Der konkrete Fall ist hier das Neubaugebiet Nieuwveenslanden in Meppel [1], doch die Ergebnisse sind für viele bestehende und neue Wohngebiete in den Niederlanden, mit oder ohne kollektiver Wärmeversorgung, relevant.

## Wärmewendemodell

Gesucht wurde ein Modell, mit dem die Nachhaltigkeit niederländischer

Wohngebiete in Relation zur Balance lokaler Wärmenetze untersucht werden kann. Das Modell muss folgende Kriterien erfüllen: (1) zugänglich ohne Kosten, am besten eine Open Source, (2) eine anpassbare Priorisierung von Erzeugern und Speichern (elektrisch und thermisch), (3) eine einfache Definition von Inputs (Produktions- und Verbrauchsprofile) und (4) eine einfache Skalierung (von Wohneinheit zu Gebiet zu Region). Die „Rechenmodelle Energiewende“ [2] bieten eine Übersicht über die verfügbaren niederländischen Modelle. Ein Großteil dieser Modelle konnte nicht untersucht werden, weil sie nicht kostenlos zugänglich waren. Das Energie-Wärme-Modell (EWM, auf Niederländisch ETM: „Energie Transitie Model“) entspricht einiger Bedingungen, wodurch die-

.....

ses Modell sich für eine globale Gebietsstudie anbietet. Um jedoch die Priorisierung von Erzeugern und Speichern anzupassen, ist eine Anpassung des EWM notwendig. Zudem beinhaltet die Übersicht [2] Handwerkszeug, um Energieverbrauchsprofile zu berechnen. Es wurde jedoch beschlossen, derartige Profile selbst auf Basis bekannter mathematischer Vergleiche und Modellparameter aus dem konkreten Fall aufzustellen. Neben den niederländischen Modellen muss das „energyPLAN“-Modell [3] erwähnt werden. Dieses Tool wurde an der Universität Aalborg entwickelt und entspricht den meisten der zuvor genannten Kriterien, mit Ausnahme der Anpassung an die Priorisierungsregeln. Idealerweise müsste man die Priorisierung durch eine intelligente Optimierung automatisch bestimmen lassen. Es ist aber auch möglich, hierzu selbst eine Priorisierungslogik zu entwickeln, was deutlich einfacher und schneller ist in Bezug auf die Rechenzeiten. Unsere Wahl fiel daher auf die zweite Möglichkeit, indem wir selbst ein Modell in Excel entwickelt haben. In einem späteren Stadium können die Ergebnisse mit den Ergebnissen von z. B. energyPLAN und EWM/ETM verglichen werden. Der Aufbau des Modells ist in Abb. 1 dargestellt. Die Priorisierung wurde im Block „Energy Scheduling Model“ aufgenommen. Hierzu benötigt man die folgenden Inputs: Energieverbrauchsprofile (Nachfrage Wärme, Elektrizität und Kühlung), Produktionsprofile skalierbarer, nachhaltiger Erzeuger und nicht-nachhaltiger Erzeuger (sofern so konfiguriert). Die Skalierbarkeitsfaktoren stammen aus dem Opti-

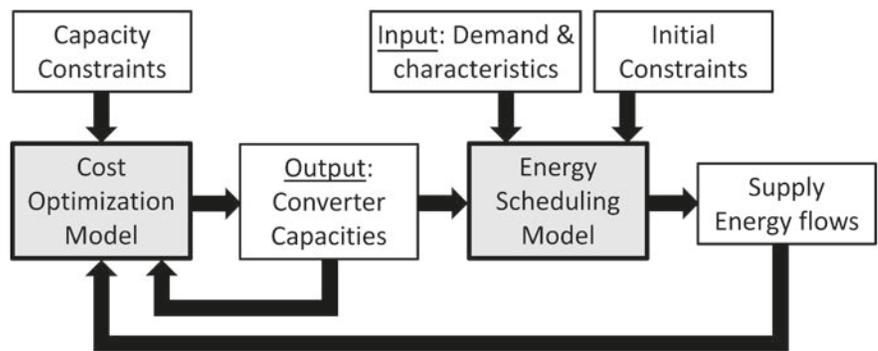


Abbildung 1: Modellaufbau

mierungsmodell „Cost Optimization Model“, das die Jahreskosten eines Energiesystems minimalisiert. Indem bestimmten Kosten (z. B. CO<sub>2</sub>) ein Multiplikationsfaktor zugewiesen wird, kann das Ziel der Optimierung beeinflusst werden. Dieses Modell beinhaltet die Kosten pro Einheit (CAPEX und OPEX) aller im Modell aufgenommenen Erzeugungs- und Speichermethoden. Unten auf Abb. 1 sind Iterationsschleifen dargestellt. Diese sind notwendig, um das Optimum für ein konfiguriertes Energiesystem zu bestimmen. Eine detailliertere Erklärung des Modells und der Priorisierungsalgorithmen findet sich in der Publikation

[4] und als Ergebnis der Dissertation [5]. Das Modell wurde in Excel erstellt und umfasst verschiedene Blätter für die Systemkonfiguration, Kostenparameter, Energieverbrauchsprofile, nachhaltige Energieproduktionsprofile, Priorisierungsalgorithmen und Ergebnisse (Daten und Grafiken). Das Energiemodell, das zur Priorisierung verwendet wurde, ist in Abb. 2 dargestellt. Links sehen Sie die Energieproduktion (P=Produktion), in der Mitte die Umsetzung, Verteilung und Speicherung von Energie und rechts den Energieverbrauch (D=Verbrauch, H=Wärme, E=Elektrizität, C= Kühlung). eine detaillierte Erklärung dieses Schema finden Sie in der Publikation [4].

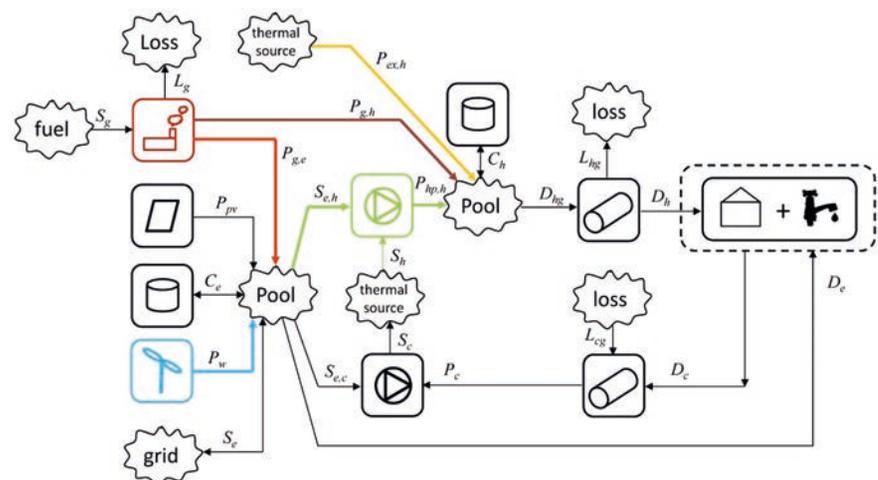


Abbildung 2: Energieschema

## Der Fall Meppel

Das Neubaugebiet Nieuwveenselanden in Meppel ist Anfang 2017 bis auf 200 Wohneinheiten gewachsen. In dem Gebiet wurde ein kollektives Wärme- und Kältenetz angelegt. Der wichtigste Grund hierfür ist der Wunsch, lokal verfügbare Quellen für Wärme (Biogas-KWK und/oder Hackschnitzelkessel und/oder Wärmepumpen pro Wohneinheit) und für Kühlung (unterirdische Aquifer) zu nutzen, wobei sich ein kollektives System als besser geeignet als individuelle Systeme pro Wohneinheit erwies. Die Bebauungsdichte und spezifische Wärme- und Kältenachfrage erwiesen sich als hoch genug, um die Investition in ein kollektives System wirtschaftlich zu rechtfertigen. Wegen der Baukrise, die 2016 ein Ende fand und die für ein langsames Bautempo als erwartet sorgte, wurde ein kurzfristiges Energiesystem installiert, das aus Erdgaskesseln und elektrischer Kompressionskühlung (Referenzkonzept) bestand. Außerdem geriet das ursprüngliche Energiekonzept unter Druck, da die Verfügbarkeit von Biogas entfiel und die (größeren) Wohneinheiten mit einer Wärmepumpe nicht verkauft wurden. Für das kurzfristige Energiesystem wird also eine wirtschaftlich machbare, nachhaltige Alternative gesucht.

Für die Erstellung von Konzepten ist es wichtig, dass sowohl die thermische als auch die elektrische Nachfrage der Wohneinheiten so gut wie möglich zu jeder Zeit mit nachhaltiger Energie gestillt werden kann. Geht man von einem „hybriden“ Energiesystem aus, geht man einen Schritt weiter als vergleichbare Projekte, bei denen es entweder nur um die thermische oder nur um die



Figuur 3: Plattegrond van de nieuwbouwwijk Meppel Nieuwveenselanden

elektrische Nachfrage geht. Daneben bieten viele „all-electric“-Projekte mit Solarmodulen oder Windenergie und Wärmepumpen zu diesem Zeitpunkt noch keine Lösung für das Ungleichgewicht zwischen der Erzeugung (im Sommer viel Solarenergie) und der Nachfrage (im Winter hohe thermische und auch elektrische Nachfrage durch Wärmepumpen). Interessant ist in dieser Studie gerade sowohl die Erforschung der komplementären Versorgung und der Funktion thermischer und elektrischer Speicher als auch die der Kapazitäten und des Einflusses auf den Business Case.

Die folgenden vier nachhaltigen Energiekonzepte wurden untersucht:

1. Bio-Wärme: Holzkessel, Solarmodule, Windenergie, thermische und elektrische Energiespeicherung, natürliche Kühlquellen (Sandgewinnungssee).
2. All-electric: Solarmodule, Windenergie, Wärmepumpe, Aquifer-Wärme-/Kältespeicher, thermische und elektrische Energiespeicherung.
3. Gemischt: Biogas-KWK, Solarmodule, Windenergie, Wärmepumpe, Aquifer-Wärme-/Kältespeicher, thermische und elektrische Energiespeicherung.
4. Fast energieautonom: gleiches Konzept wie 3, weiter umgesetzt in Richtung autarker Energieversorgung auf Gebietsniveau.

## Ergebnisse

Nachfolgend werden die Kapazitäten besprochen (Möglichkeiten zur Erzeugung und Speicherung von Energie), die durch das Modell mittels Optimierung berechnet wurden, dann die totalen, jährlichen Energieströme und die Qualität der momentanen Energiebilanz. Zuletzt wird der Business Case der Energiesysteme verglichen.

In Tabelle 1 wurden die Kapazitäten dargestellt, erst des Referenzsystems und anschließend die der nachhaltigen Systemkonzepte. Die Spalte „External heat“ beinhaltet immer einen Erdgaskessel. Im Referenzsystem ist das der einzige Wärmeerzeuger, in den nachhaltigen Konzepten wird dieser nur zu Stoßzeiten benötigt. Die Spalte „Biofuel/CHP thermal“ umfasst entweder die Wärme eines Biogaskessels oder einer Biogas-KWK, aber nicht von beiden zusammen. Im Falle einer KWK steht in der Spalte „CHP electric“ ebenfalls ein Wert. In der Spalte „Thermal storage“ steht die Speicherkapazität eines Warmwasserpufferspeichers in kWh, idem in der Spalte „Electrical storage“. In der Spalte „Objective function“ wird das Ergebnis für die jährlichen Kosten dargestellt; dies ist zugleich das Ziel der mathematischen Minimalisierung. Hierbei geht es um die CAPEX oder OPEX der Erzeugungs- und Speichersysteme sowie um die Energielasten gegenüber aktueller Handelspreise. Außerdem wurden relativ hohe CO<sub>2</sub>-Kosten von 60€/Tonne mit eingerechnet, da die Referenz sonst immer als Optimum erscheinen würde. Dieser CO<sub>2</sub>-Preis ist deutlich höher als der heutige Handelspreis, aber umgerechnet wiederum geringer als die heutigen Energiesteuern auf Erdgas für Abnehmer in den Niederlanden.

Die Zahlen in Tabelle 1 sind zwar interessant, um einen Eindruck von den Möglichkeiten und Speicherkapazitäten zu bekommen, müssen aber in Relation zu den Ergebnissen bezüglich der Nachhaltigkeit und des Business Case betrachtet werden. Für die Nachhaltigkeit ist zunächst die jährliche Energieneutralität interessant. In Bezug auf die elektrische Energie kann diese in Tabelle 2 und 3 abgelesen werden, in Bezug auf die thermische Energie in Tabelle 4. Beim elektrischen Teil fällt auf, dass bei Konzept 2 (all-electric) relativ viel „Grid import“ benötigt wird. Dies liegt an dem höheren Elektrizitätsverbrauch und einem Mangel an Solar- und Windenergie in den Momenten, in denen die Produktion gerade in den Wintermonaten wichtig ist. Konzepte, bei denen Bio-Ener-

gie zur Wärmeproduktion verwendet wird (Konzepte 1, 3 und 4) sind weniger abhängig vom nationalen Elektrizitätsnetz.

Geht es um die Nachhaltigkeit der Deckung der Wärmenachfrage, gibt es wenig Unterschiede zwischen den Konzepten 1, 3 und 4, obwohl Konzept 3 schlussendlich am wenigsten Erdgas benötigt. Alle Konzepte wären mit größeren Erzeugungskapazitäten technisch dazu in der Lage, die Nachfrage vollständig lokal und nachhaltig zu befriedigen, doch dann wären deutlich größere Kapazitäten von nachhaltigen Erzeugern notwendig, das Energiesystem würde teurer und das Ungleichgewicht (Import und Export von elektrischer Energie) nähme stark zu. Am einfachsten ließe sich das realisieren,

Tabelle 1: Kapazitäten für Energieerzeugungs- und Energiespeichersysteme

Concept	External heat supply kW	Heat pump kW	Biofuel boiler CHP thermal kW	CHP electric kW	Solar PV m <sup>2</sup>	Thermal storage kWh	Electric storage kWh	Objective function €/y
Reference	752							161.073
1	511		241		1570	250	200	146.861
2	532	500			2140	0	180	143.613
3	501	161	90	48	1400	150	0	141.982
Near autonomous	265	169	309	164	2004	1410	1220	172.134

Tabelle 2: Jährliche elektrische Energietotale: Nachfrage (-) und Produktion (+)

Concept	Household electric demand	Cooling electric demand	Wind turbine production	Solar PV production	Direct power to heat	CHP electric production	Heat pump consumption
Reference	-576.449	-61.519					
1	-576.449	-7.690	186.618	351.110			
2	-576.449	-7.690	274.345	345.004			-360.222
3	-576.449	-7.690	183.643	225.704		283.039	-251.986
Near autonomous	-576.449	-7.690	5.647	323.039	-47.658	571.720	-195.416

Tabelle 3: Jährlicher Import (+) und Export (-) von elektrischer Energie

Concept	Grid import (kWh/y)	Grid export (kWh/y)	Peak import (kW)	Peak export (kW)
Reference	637.968		212	0
1	211.821	-67.511	173	-173
2	420.264	-95.342	231	-231
3	209.861	-66.123	167	-167
Near autonomous	2.182	-75.314	142	-164

Tabelle 4: Jährliche thermische Energietotale: Nachfrage (-) und Produktion (+)

Concept	Heat grid demand	Biofuel boiler or CHP production	Heat pump production	Direct power to heat	External heat production
Reference	-1.867.817				1.867.817
1	-1.867.817	1.464.052			403.641
2	-1.867.817		1.368.845		498.973
3	-1.867.817	531.771	957.546		378.452
Near autonomous	-1.867.817	1.074.140	742.582	47.658	3.080

indem Konzept 3 weiter in Richtung eines fast autonomen Konzepts (near autonomous) optimiert würde. Die letzte Tabellenzeile zeigt, wie gut es mit diesem Konzept gelingt, die Wärmenachfrage vollständig lokal und nachhaltig zu stillen. Bei diesem Konzept wurde eine intelligente, elektrische Energiesteuerung eingeführt, bei der elektrische Überschüsse, wenn nötig in Wärme umgewandelt werden können (direct power to heat). Dies führt dazu, dass fast keine elektrische Energie importiert werden muss und sehr wenig Erdgas verbraucht wird. Wenn dies in der Praxis noch intelligenter gesteuert würde, z. B. durch Nachfragesteuerung (demand side management) oder Energiespeichersteuerung, wäre beides vermutlich ganz zu vermeiden. Dann bliebe nur noch ein relativ geringer jährlicher elektrischer Energieüberschuss. In Tabelle 1

ist jedoch erkennbar, dass dies bei dem fast autonomen Konzept ca. 18% teurer ist als bei den anderen nachhaltigen Konzepten.

Der Business Case-Vergleich ist in Abb. 4 dargestellt. Der verschiedenen Kostenbeiträge wurden für jedes Konzept einzeln aufgeführt. Diese beinhalten: OPEX und CAPEX der Erzeuger, Brennstoffkosten (Fuel costs) für Erdgas und Biogas, Import regional verfügbarer Windenergie (Wind energy), die jährliche Kostenbilanz des Imports und Exports elektrischer Energie (Grid balance) und CO<sub>2</sub>-Kosten (60 €/Tonne). Die Kosten für Windenergie sind nicht via OPEX und CAPEX einkalkuliert. Stattdessen wird diese zum Standardstrompreis eingekauft. Die 200 Wohneinheiten werden bei der Produktion einer regionalen großen Windturbine bevorzugt. Wenn für die CO<sub>2</sub>-Kosten der heutige, deutlich geringe

Handelspreis genommen wird, ist die Referenzsituation in jedem Fall das günstigste Konzept, gefolgt von Konzept 2. Dies entspricht der Erwartung, dass all-electric-Konzepte oftmals als relativ günstiger Ersatz für die heutige Wärmeversorgung betrachtet werden. Konzept 2 wird noch etwas besser, wenn die externe Stromversorgung (wegen des benötigten Imports) „grüner“ wird, so dass die CO<sub>2</sub>-Kosten des Konzepts sinken. Auffällig ist der relativ hohe Preis für das fast autonome Konzept, jedoch fehlen in diesem Konzept die CO<sub>2</sub>-Kosten. Aus Sicht der Nachhaltigkeitsambitionen ist dieses Konzept unter heutigen Bedingungen zu bevorzugen.

Ein interessanter Teil der Ergebnisse ist zudem die Möglichkeit, alle Energieströme pro Stunde anzeigen zu lassen, um damit einen Einblick in die Qualität der Energiebilanz des

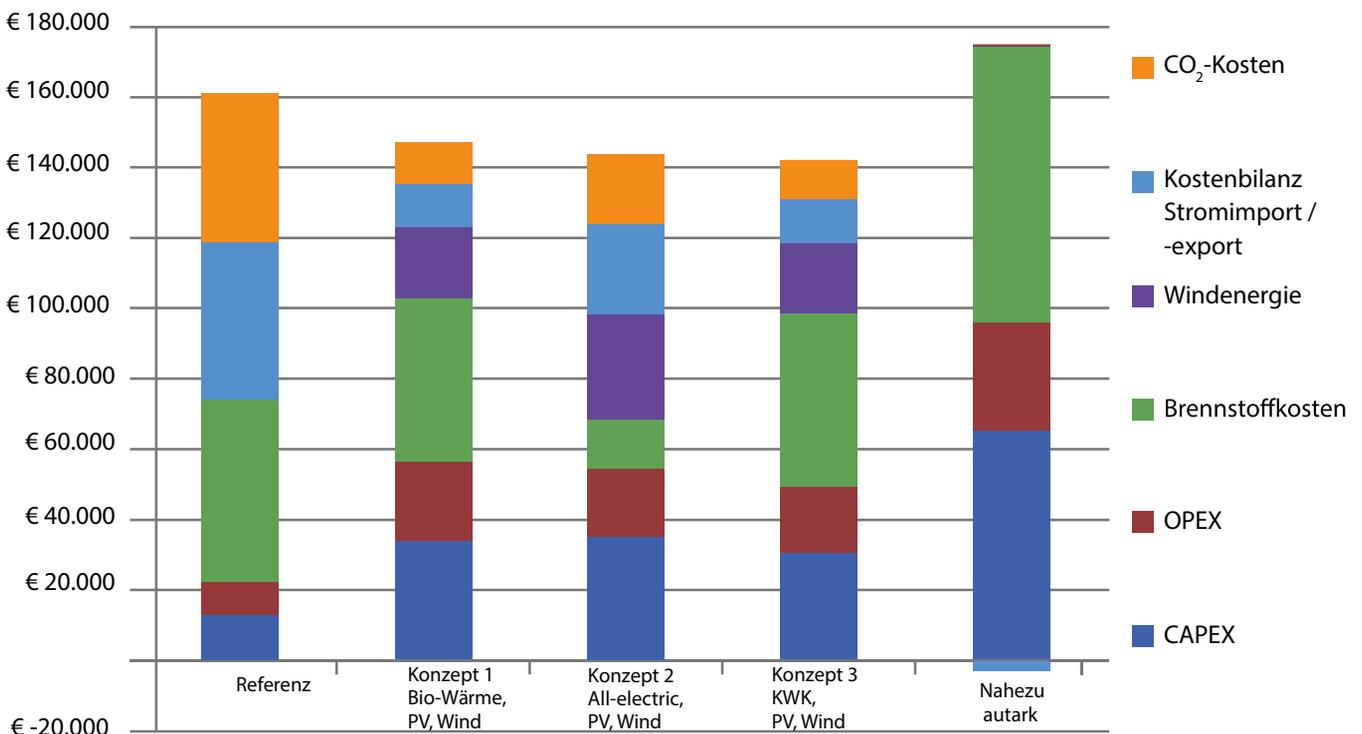


Abbildung 4: Vergleich der Business Cases

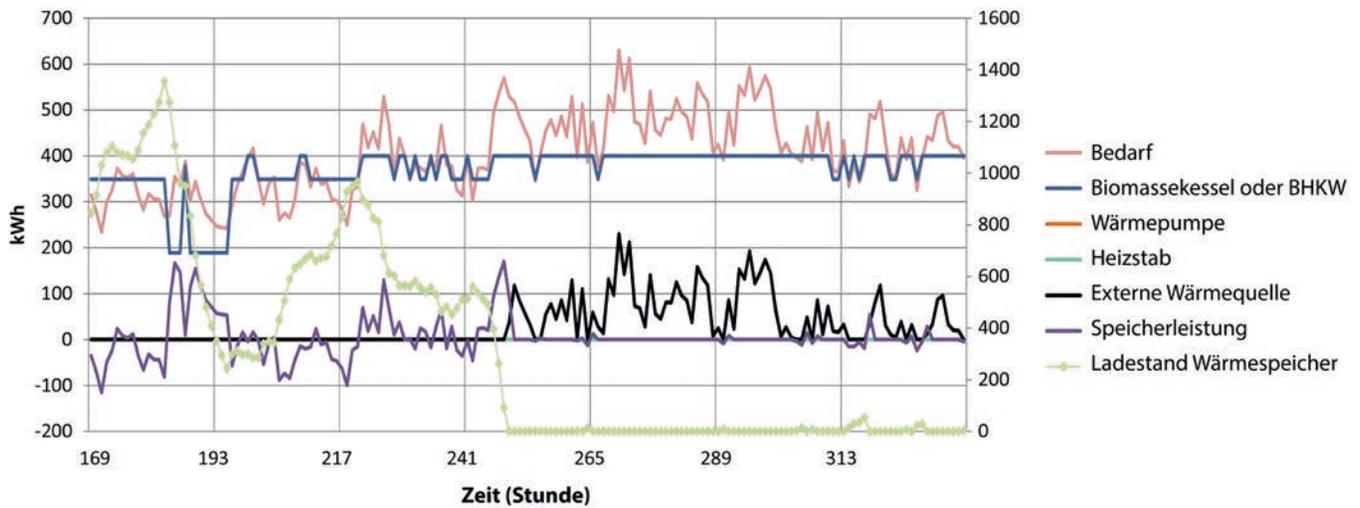


Abbildung 5: Leistungsdiagramm der thermischen Energie in einer kalten Woche. In dem Modell wurden ein Biomassekessel, Wärmespeicher und ein Gaskessel (extern) als die Wärmequellen gewählt. Das Modell berechnet die optimale Kapazität und den optimalen Einsatz.

lokalen Energienetzes zu gewinnen. Nähere Informationen hierzu, u.a. Grafiken für die Situationen im Winter und Sommer, finden sich in Publikation [4].

### Schlussfolgerungen

In diesem Artikel wurden die wichtigsten Hintergründe und Möglichkeiten des innerhalb des WiEfm-Projekts entwickelten Wärmewendemodells dargestellt. Das Modell wurde in der Praxis angewendet (Meppel-Nieuwveenselanden), um vier verschiedene Konzepte für eine nachhaltige Energieversorgung im Hinblick auf Nachhaltigkeit, jährliche und momentane Energiebilanz und den Business Case hin

zu untersuchen. Das Modell kann für vergleichbare Umgebungsstudien eingesetzt werden, bei denen es um elektrische oder thermische Nachfrage und verschiedene Formen nachhaltiger Erzeugungs- und Speicherkapazitäten geht. Im Falle von noch nicht aufgenommenen Erzeugern, wie thermische Systeme, muss das Modell ausgeweitet werden. Im weiteren Verlauf werden die Ergebnisse dieses Modells mit anderen Modellen, wie energyPLAN und EWM/ETM (Energie-Wende-Modell), verglichen.

Der Fall Meppel zeigt, dass ein all-electric-Modell mit relativ geringen Mehrkosten die Referenzsitu-

ation ersetzen kann, doch hierfür wird ein relativ hoher Stromimport benötigt, vor allem in den Wintermonaten. Solange das Stromnetz nur bedingt nachhaltig ist, sind die CO<sub>2</sub>-Kosten noch relativ hoch, doch dies verbessert sich schnell, wenn die Nachhaltigkeit des Netzes zunimmt. Die beste lokale Energiebilanz im Jahresverlauf wird mit einem fast autonomen Konzept erreicht, das aus einer Biogas-KWK, Wärmepumpe, Solarmodulen, Windenergie und elektrischen und thermischen Speicherkapazitäten besteht. Dieses Konzept ist zu fast 100% nachhaltig und jederzeit ins Gleichgewicht zu bringen, verursacht jedoch hohe Kosten.

**Dr. Ir. Richard van Leeuwen,**  
Saxion Hogeschool

### Quellen

- [1] "Meppel heats new housing development with biogas," RVO, 2012, [Online], <https://www.rvo.nl/sites/default/files/Meppel%20heats%20new%20housing%20development%20with%20biogas.pdf>
- [2] "Energietransitie rekenmodellen", Netbeheer Nederland, [Online], [https://www.netbeheernederland.nl/\\_upload/Files/Rekenmodellen\\_21\\_120f7d4ef3.pdf](https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Rekenmodellen_21_120f7d4ef3.pdf)
- [3] "Energyplan advanced energy system analysis computer model," University of Aalborg, 2016, [Online], <http://www.energyplan.eu/training/documentation/>
- [4] R.P. van Leeuwen, J.B. de Wit, en G.J.M. Smit, „Energy scheduling model to optimize transition routes towards 100% renewable urban districts," International Journal of Sustainable Energy Planning and Management 13 (2017): 19-46.
- [5] R. P. van Leeuwen, "Towards 100% renewable energy supply for urban areas and the role of smart control", 2017, proefschrift, Universiteit Twente, DOI: 10.3990/1.9789036543460



