

Wärmewende in einer Großstadt

Entwicklung und Anwendung eines zentralen Planungs- und Steuerungsinstruments


Maik Günther ^{1,2} und Guido Bayard³

Abstract: Der Wärmesektor hat in Deutschland einen signifikanten Anteil an den Treibhausgasemissionen. Bis spätestens 2045 sollen Heizwärme und Warmwasser ausschließlich aus erneuerbaren Energien und aus unvermeidbarer Abwärme erzeugt werden. Den Kommunen und ihren Stadtwerken kommt bei der Umsetzung und Gestaltung der Wärmewende eine entscheidende Rolle zu. Hierfür benötigen sie jedoch zentrale Entscheidungsunterstützungssysteme. Daher haben die Stadtwerke München im Rahmen ihrer Digitalisierungsstrategie mit dem Modell München ein gebäudescharfes Geoinformationssystem entwickelt, um die Wärmewende spartenübergreifend zu planen und umzusetzen. Zudem wurde ein Multiagentensystem für die Simulation von Zukunftsszenarien integriert. Inzwischen wird das Modell München nicht nur bei den Stadtwerken München für zahlreiche Anwendungsfälle eingesetzt, sondern auch von der Landeshauptstadt München für die kommunale Wärmeplanung.

Keywords: digitaler Zwilling, Entscheidungsunterstützungssystem, Geoinformationssystem, kommunale Wärmeplanung, Modell München, Multiagentensystem, Wärmewende

1 Einleitung

Dass die Energiewende nicht nur die Stromerzeugung und -verteilung betrifft, sondern auch den Wärmesektor mit Heizwärme- und Warmwassererzeugung, ist nicht zuletzt durch die Debatten rund um das Gebäudeenergiegesetz (GEG) und das Gesetz zur Wärmeplanung deutlich geworden. Die Transformation des Wärmesektors bis 2045 hin zum ausschließlichen Einsatz erneuerbarer Energien und unvermeidbarer Abwärme kann als Kraftakt bezeichnet werden. Denn laut Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) werden in Deutschland noch überwiegend Erdgas und Heizöl in Heizungen eingesetzt [BD23]. Zudem sind die Investitionszyklen im Gebäudebereich relativ lang und es fehlt an Geld, an Material, an Planern sowie an Handwerkern.

¹ IU Internationale Hochschule, Juri-Gagarin-Ring 152, 99084 Erfurt, Deutschland, maik.guenther@iu.org 
<https://orcid.org/0000-0002-3926-4383>

² Stadtwerke München GmbH, Emmy-Noether-Str. 2, 80992 München, Deutschland, guenther.maik@swm.de

³ IU Internationale Hochschule, Juri-Gagarin-Ring 152, 99084 Erfurt, Deutschland, guido.bayard@iu.org

Den Kommunen und ihren Stadtwerken kommt bei der Umsetzung und Gestaltung der Wärmewende eine zentrale Rolle zu. So betreiben die Stadtwerke München (SWM) zahlreiche Netze für die Wärmeversorgung in und um München: Erdgas, Fernwärme und Strom. Außerdem verfügen sie über einen Anlagenpark zur Erzeugung von Fernwärme und Strom, wobei perspektivisch der Großteil der Fernwärme durch Tiefengeothermie bereitgestellt werden soll. Im Zuge der Wärmewende sind in Zukunft signifikante Veränderungen bei den jeweiligen Netzen und Anlagen zu erwarten, die vorausschauend und spartenübergreifend geplant werden müssen. Denn eine Änderung in einer Sparte, beispielsweise der Ausbau der Fernwärme in einem Gebiet, kann Auswirkungen auf andere Sparten haben. Im genannten Beispiel ist mit einem Rückgang des Gasabsatzes im betreffenden Gebiet zu rechnen. Zudem dürfte dort der zukünftige Anteil der Wärmepumpen eher gering ausfallen, was wiederum das Stromnetz in geringerem Ausmaß zusätzlich belastet und daher ggf. nur eine moderate Netzverstärkung erfordert.

Für die Umsetzung und Gestaltung der Wärmewende in München bedarf es wegen der zuvor genannten Wechselwirkungen zwischen den Sparten eines zentralen Entscheidungsunterstützungssystems. Zudem kann mit Karten in Papierform, Medienbrüchen, verteilten Datensilos, Datenlücken, Datenfehlern und Inkonsistenzen, fehlenden Schnittstellen und Berechtigungskonzepten, unterschiedlichen Arbeitsständen sowie unscharfen Zukunftsprojektionen mittels MS EXCEL (u.a. zur langfristigen Entwicklung der Sanierungsaktivitäten, der Treibhausgasemissionen, der Kosten und der Endenergie je Energieträger) die Komplexität bei der Planung und Steuerung der Wärmewende nicht beherrscht werden. Vielmehr sollten IT-Technologien unter dem Stichwort der intelligenten Digitalisierung angewendet werden, zu denen laut John [Jo22] u.a. die IT-basierte Prozessautomatisierung, die Künstliche Intelligenz, aber auch die Einbeziehung von Cloud-Computing zählen. Dabei unterstreicht John im Kontext der intelligenten Digitalisierung, dass Unternehmen, um erfolgreich zu sein, ihre Prozesse und Strukturen effizient gestalten und auf die gesteckten Zielen ausrichten müssen. So haben die SWM aufgrund der Bedeutung der Digitalisierung und der digitalen Transformation eine eigene Strategie im Jahr 2019 entwickelt. Als Teil der SWM-Digitalisierungsstrategie wurde beschlossen, das "Modell München" zu erstellen. Dieses zentrale Steuerungsinstrument soll u.a. eine einheitliche, aktuelle und konsistente Datenbasis inkl. Visualisierungskomponenten bereitstellen, sodass Änderungen spartenübergreifend und auf Basis eines Berechtigungskonzeptes (wg. Datenschutz, Unbundling⁴, Betriebsgeheimnis, kritische Infrastruktur) bekannt sind und zeitnah sowie ganzheitlich reagiert werden kann. Des Weiteren soll dieses Modell zur Planung der Wärmewende in München eingesetzt werden, indem Zukunftsprojektionen mittels Simulationen in einem Multiagentensystem (MAS) angestellt werden.

Der Aufbau dieses Beitrags gestaltet sich wie folgt: Das Modell München dient als Beispiel für ein gelungenes Projekt zur intelligenten Digitalisierung. Zunächst wird daher auf die Rahmenbedingungen für seine Entwicklung eingegangen. Daraufhin wird sein Einsatz

⁴ Gesetzlich vorgeschriebene Entflechtung des Netzbetreibers von anderen Geschäftsfeldern eines Energieversorgungsunternehmens, z.B. Trennung des Stromnetzbetreibers vom Stromlieferanten. Dies umfasst auch die Nutzung von Daten.

bei der kommunalen Wärmeplanung veranschaulicht, mit der die Umstellung des Wärme-sektors auf erneuerbare Energien und unvermeidbare Abwärme ganzheitlich geplant wird. Mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick endet dieser Beitrag.

2 Rahmenbedingungen für die Entwicklung beim Modell München

Ende 2019 wurde begonnen, das Modell München zu erstellen. Hierfür wurden über einen Zeitraum von drei Jahren zunächst zwei Personen einer Abteilung eingesetzt (anfangs in Summe ein Vollzeitäquivalent). Dabei gab es eine klare Rollenverteilung nach dem Vorgehensmodell für Data-Science-Projekte DASC-PM [Sc22]: Eine Person hatte die Rollen Data Scientist und Data Engineer inne und die andere Person die Rollen Projektmanager sowie Domänenexperte. Inzwischen sind vier Vollzeitäquivalente im dem Thema aktiv. Der Zuwachs wurde möglich, da das Modell München rasch seinen Nutzen für die SWM unter Beweis gestellt hat. Die ergänzenden Rollen Compliance Support und Technical Support aus DASC-PM werden nicht innerhalb der Abteilung besetzt. Vielmehr werden für diese Rollen jeweils Experten bedarfsorientiert aus den entsprechenden Fachbereichen der SWM hinzugezogen.

Aufgrund der anfangs begrenzten personellen Ressourcen wurden zunächst relativ einfache Anwendungsfälle mit einem attraktiven Nutzenpotenzial (Quick Wins) akquiriert und umgesetzt, wie beispielsweise die Analyse von Wasserverlusten oder die Ermittlung des Absatzpotenzials für Wallboxen. Hierdurch ließ sich schnell die Bekanntheit des Modells im Konzern steigern. Zudem wurde das Modell in zahlreichen Jours fixes der Fachabteilungen und auf einer hauseigenen Digitalisierungsmesse vorgestellt. Inzwischen wird das Modell München innerhalb der SWM u.a. auch für die folgenden Anwendungsfelder eingesetzt:

- Transformationsplan für die Fernwärme.
- Potenzial für Wasserstoff in der dezentralen Wärmeversorgung.
- Auswirkungen von Elektromobilität auf das Stromnetz im Projekt E-Motion-to-Grid (E2G) [Kr23].
- Auswirkungen von Wärmepumpen auf das Stromnetz im Projekt Grid-for-Electrification (G4E).
- Kopplung des Projekts Geo.KW [Zo22] für das thermische Grundwassermanagement mit dem Modell München.
- Potenzial für Tunnelthermie bei U-Bahnen.

Für die Aufbereitung und Integration aller Daten in das Modell München werden R und Python genutzt, wobei die Daten in einer PostGIS-Datenbank abgelegt sind. Alle umfangreichen Berechnungen, wie beispielsweise das Schließen von Datenlücken beim Baujahr mittels Machine Learning [Ca20], werden in der Cloud ausgeführt. Für die Visualisierung

wird im Modell München zumeist Tableau genutzt. Zudem kommt ein Tableau Server zum Einsatz. Dieser hat den Vorteil, dass Nutzer über einen Browser auf relevante Tableau-Dashboards zugreifen können – es muss somit keine Applikation beim Nutzer installiert werden. Des Weiteren unterstützt der Tableau Server das umfangreiche Berechtigungskonzept für das Modell München. Je nach Anwendungsfall werden neben Tableau auch QGIS sowie browserbasierte Portale wie die Integrationsplattform 360 (SWM) oder das Geo Info Web der Landeshauptstadt München (LHM) eingesetzt. Gelegentlich sind Nutzer aber auch nur an bestimmten Daten zur Weiterverarbeitung oder an einzelnen Kennzahlen interessiert, sodass dann ggf. Exporte in den gewünschten Datenformaten vorgenommen werden. Die folgende Abbildung 1 zeigt beispielhaft ein Dashboard in Tableau (die beiden Hintergrundkarten stammen von © OpenStreetMap). Auf der linken Seite sind in der Karte Gebäude visualisiert und auf der rechten Seite Baublöcke (ein von Straßen eingefasstes Gebiet). Im unteren Bereich des Dashboards besteht die Möglichkeit, mit Radiobuttons verschiedene Inhalte in den beiden Karten für die Visualisierung auszuwählen.



Abb. 1: Beispielhaftes Tableau-Dashboard im Modell München, welches u.a. zur Bestandsanalyse sowie zur Definition von Quartieren eingesetzt werden kann

Eine Besonderheit am Modell München ist die Integration eines MAS der Energy Economic Group an der TU Wien zur gebäudescharfen Simulation von Sanierungsaktivitäten und des Austauschs von Heizungssystemen. Dabei wird jedes beheizte Gebäude (in München ca. 180.000) mit seinen individuellen Merkmalen wie Grundfläche, Höhe, Baujahr, Heizungsart, Nutzungsart etc. durch einen Agenten repräsentiert. Sobald nun Bauteile des Gebäudes wie das Dach, die Fassade oder die Heizung altern und ersetzt werden müssen, trifft der jeweilige Agent eine Entscheidung: Hierzu stehen ihm verschiedene Sanie-

rungsoptionen zur Verfügung – bis hin zum Abriss und Neubau – wie auch etwaige Optionen für das Heizungssystem. Da das Modell München alle Gebäude räumlich verortet, kann für das individuelle Heizungssystem jedes Gebäudes hinterlegt werden, ob beispielsweise die Fernwärme verfügbar ist, das Potenzial für eine Grundwasser-Wärmepumpe ausreicht, sich gegenseitige Beeinflussungen durch Kältefahnen im Grundwasser ergeben und die Luft-Wärmepumpe hinsichtlich der zulässigen Schallemissionen noch gewählt werden kann. Bei den Entscheidungen im MAS können auch Förderungen, Kostenänderungen, Verbote und Fristen berücksichtigt werden. So lassen sich beispielsweise die Effekte von Anpassungen am GEG quantifizieren.

Zur Plausibilitätsprüfung von Gebäudedaten, Parametern und Modellergebnissen gibt es zahlreiche Aktivitäten. Diese sind u.a.:

- Manuelle Überprüfung von Eingangsdaten in Stichproben mittels Begehungen und anhand von Satellitenaufnahmen (z.B. Baujahr, Anzahl Stockwerke, Nutzungsart, Strukturtypen).
- Abgleich von Parametern mit Studienergebnissen und mit Erkenntnissen aus umgesetzten Praxisprojekten (z.B. Sanierungskosten).
- Visualisierung von Gebäudemerkmalen in Tableau zur Identifikation von Ausreißern sowie unplausiblen Daten und Ergebnissen.
- Berechnung historischer Jahre und Abgleich mit tatsächlichen Energielieferungen für Fernwärme, Gas und Strom je Gebäude.
- Bildung von Kennzahlen zur besseren Prüfung auf Plausibilität (z.B. Nutzenergie je m² beheizte Fläche, Sanierungskosten je m², Sanierungsrate pro Jahr).
- Vergleich von Ergebnissen anhand von sogenannten “Zwillingsgebäuden“ (Gebäude auf der gleichen Straßenseite, benachbarte Grundstücke, gleiches Baujahr, gleiche Heizungsart und gleiche Grundfläche).
- Workshops mit Experten von Hochschulen und kommerziell agierenden Instituten sowie von den SWM und der LHM.
- Vergleich der Modellergebnisse für München mit den Ergebnissen anderer Städte.

3 Modell München in der kommunalen Wärmeplanung

Die kommunale Wärmeplanung ist eng mit dem GEG verbunden und zeigt auf, wie die Klimaneutralität in der Wärmeversorgung bis spätestens 2045 erreicht wird. Damit soll zum einen das Problem- und Lösungsbewusstsein der regionalen Akteure gestärkt werden. Zudem dient die Wärmeplanung dazu, Planungs- und Investitionssicherheit für Bürger, Unternehmen sowie Netzbetreiber zu schaffen. Zur Erstellung der Wärmeplanung sind mehrere Schritte vorgesehen, die nachfolgend kurz erläutert werden [PSB20, Bu23]:

1. Bestandsanalyse: Zunächst wird sich ein Überblick über den regional aufgelösten Wärmeverbrauch, die Gebäudestrukturen sowie die eingesetzten Energieträger verschafft. In der Bestandsanalyse geht es zudem um die Standorte bestehender Wärmeerzeugungsanlagen und um die Verläufe bestehender Netze.
2. Potenzialanalyse: In diesem Schritt werden die regional aufgelösten Potenziale für erneuerbare Energien und unvermeidbare Abwärme erfasst. Dies können Fernwärmeverdichtungs- sowie Fernwärmeausbaubereiche sein, aber auch regionale Potenziale für Grundwasser-Wärmepumpen, Erdkollektoren, Luft-Wärmepumpen etc.
3. Zielszenario: Ausgehend von der Bestands- und Potenzialanalyse sowie unter Einbeziehung weiterer Parameter wie beispielsweise der Entwicklung des Wärmebedarfs, der Energiepreise, der Förderbedingungen etc. werden Szenarien erstellt, aus denen ein Zielszenario für das gesamte zu planende Gebiet ausgewählt wird.
4. Meilensteine: Für die Zeitpunkte⁵ t+2, t+5, t+10, 2035 sowie 2045 wird je Teilgebiet angegeben, welche Wärmeversorgungsart erwartet wird und wie sich diese im jeweiligen Teilgebiet voraussichtlich entwickeln wird.
5. Umsetzungsmaßnahmen: Die zum Zeitpunkt der Beitragserstellung in Deutschland eingeführten Maßnahmen sind nicht ausreichend, um bis 2045 Heizwärme und Warmwasser ausschließlich aus erneuerbaren Energien und aus unvermeidbarer Abwärme zu erzeugen. Im letzten Schritt sind daher zusätzliche Maßnahmen zu definieren, mit denen die Ziele der Wärmeplanung erreicht werden.

Zusätzlich zu den Einsatzfeldern bei den SWM wird das Modell München seit 2022 in der kommunalen Wärmeplanung eingesetzt, für die das Referat für Klima- und Umweltschutz (RKU) der LHM federführend zuständig ist. Dabei findet das Modell München in allen fünf zuvor genannten Schritten Anwendung. Für die Bestandsanalyse stehen zahlreiche Visualisierungsmöglichkeiten zur Verfügung, um die Vielzahl an integrierten Daten zu Gebäuden und deren Wärmeversorgung zu untersuchen. Zudem enthält das Modell München umfassende Daten zu den regional verfügbaren Versorgungspotenzialen, sodass auch der Schritt der Potenzialanalyse vollständig abgedeckt ist. Zur Aufstellung des Zielszenarios wird das in das Modell München integrierte MAS der Energy Economic Group eingesetzt. Hierbei werden u.a. die Effekte des GEG, eine erhöhte Sanierungsrate und -quote, ein Verbrennungsverbot fossiler Energieträger etc. untersucht. Auch bei den Auswertungen für die Beschreibung der Meilensteine findet das Modell München Anwendung – ebenso bei der Definition konkreter Umsetzungsmaßnahmen, da die Effekte möglicher Maßnahmen häufig mit dem MAS quantifiziert werden können (für Details zum MAS und der Anwendung im Modell München siehe [Mü15], [GM20] sowie [GM22]).

Ohne das Modell München würde man in der kommunalen Wärmeplanung der LHM, wie bereits in der Wärmestudie 2035 [K121], zumeist MS EXCEL statt eines MAS für die Szenarioerstellung nutzen. Zudem würde voraussichtlich QGIS statt Tableau inkl. Tableau

⁵ Wenn beispielsweise t für das Jahr 2023 steht, dann meint t+2 das Jahr 2025.

Server für die Visualisierung und Analyse eingesetzt werden. Aber auch bei der Datenqualität und dem Aggregationsniveau gäbe es Abstriche. So standen in der Wärmestudie 2035 historische Lieferenergiebedarfe je PLZ zur Verfügung – beim Modell München liegen sie je Gebäude vor.

Das Modell München beinhaltet derzeit Daten für das Stadtgebiet der LHM und auch die kommunale Wärmeplanung findet aktuell nur für dieses Gebiet statt. Da die SWM aber auch außerhalb Münchens aktiv sind und dort Netze betreiben, werden bis voraussichtliche Ende 2023 die Eingangsdaten für das Modell München bei Gebäuden und Flurstücken teilweise auf umliegende Landkreise erweitert. Darüber hinaus sind Erweiterungen nicht ohne Weiteres möglich – denn Daten liegen häufig in anderen Formaten und in anderer Qualität vor, sodass jeweils individuelle Anpassungen an den Algorithmen im Modell München erforderlich wären, was äußerst zeitintensiv ist. Zudem bestehen Einschränkungen durch das Kommunalrecht.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde das Modell München als Teil der SWM-Digitalisierungsstrategie vorgestellt. Dabei wurden u.a. die Rahmenbedingungen für dessen Entwicklung erläutert. Hier ist deutlich geworden, dass es bereits mit zwei Personen nach dem Rollenmodell von DASC-PM möglich ist, ein durchaus komplexes Entscheidungsunterstützungssystem für die Planung und Steuerung der Wärmewende zu erstellen. Mit dem Modell München wurde das Ziel erreicht, einen zentralen, konsistenten und um Datenlücken bereinigten Datensatz zu schaffen, der in einem Entscheidungsunterstützungssystem mit integriertem MAS bei zahlreichen Anwendungsfällen zum Einsatz kommt – einer dieser Anwendungsfälle ist die kommunale Wärmeplanung der LHM. Aufgrund dieses Erfolgs und wegen des Einsatzes von Cloud Computing, der Erstellung eines digitalen Zwillinges, der Anwendung von Machine Learning und von Multiagenten-Simulation sowie durch die IT-basierte Prozessautomatisierung (z.B. automatisierte Auskunft zu Versorgungsoptionen) kann das Modell München als Beispiel für ein gelungenes Projekt der intelligenten Digitalisierung bezeichnet werden.

Neben der kontinuierlichen Verbesserung der Algorithmen im Modell München (z.B. Zuweisung von Heizungsarten zu Gebäuden, Identifikation mitversorgter Gebäude, Zuweisung von Adressen zu Gebäuden, Bestimmung der Schallemissionen von Luft-Wärmepumpen, Ermittlung optimaler Trassenverläufe bei Wärmenetzen) sowie der Anbindung weiterer Datenquellen, steht derzeit das Thema Prozessexzellenz auf der Agenda. Denn bisher lag der Fokus eher auf der erfolgreichen Umsetzung von Anwendungsfällen, um das Modell München als leistungsfähiges Werkzeug zu positionieren. Mit dem eintretenden Erfolg sind Anfragen und Anwendungsfälle inzwischen so zahlreich, dass sich zur Verbesserung der Prozesse rund um das Modell München u.a. verstärkt dem Releasemanagement sowie dem Datenkatalog gewidmet werden muss – für Letzteres wird derzeit ein geeignetes Tool ausgewählt.

Literaturverzeichnis

- [BD23] BDEW: Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in Deutschland. Anteile der genutzten Energieträger, 2023. <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/beheizungsstrukturwohnungsbestand>, Abruf am: 02.07.2023.
- [Bu23] Bundesregierung: Referentenentwurf. Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze. Stand: Mai, 2023.
- [Ca20] Castell, C. et al.: Vergleich von Machine Learning Ansätzen zur Ermittlung des Alters der Gebäude in München. In: Simulation in den Umwelt- und Geowissenschaften. Shaker Verlag, S. 103-116, 2020.
- [GM22] Günther, M.; Müller, A.: Datenanalyse und Simulation zur gebäudescharfen Prognose von Wärmebedarfen und Heizungstechnologien in einer Großstadt. In: Simulation in den Umwelt- und Geowissenschaften. Shaker Verlag, S. 63-74, 2022.
- [GM20] Günther, M; Müller, A.: Ortsaufgelöste Transformation des Gebäudebestands in München zur Prognose der Fernwärmebedarfs. In: Simulation in den Umwelt- und Geowissenschaften. Shaker Verlag, S. 93-102, 2020.
- [Jo22] John, U.: Intelligentes Unternehmen, Intelligenter Staat, Intelligentes Europa – Was ist zu tun? In: INFORMATIK 2022, 14.Workshop KI-basiertes Management und Optimierung komplexer Systeme (MOC 2022), LNI P326, DOI = 10.18420/inf2022_145, S. 1695-1698, 2022.
- [Kl21] Kleinertz, B. et al.: Klimaneutrale Wärme München 2035. Mögliche Lösungspfade für eine klimaneutrale Wärmeversorgung in der Landeshauptstadt München. 2021.
- [Kr23] Kreutmayr, S. et al.: Auswirkungen von Elektrofahrzeugen auf städtische Niederspannungsnetze bei unterschiedlichen Ladestrategien. In: 13. Internationale Energiewirtschaftstagung (IEWT), 2023.
- [Mü15] Müller, A.: Energy Demand Assessment for Space Conditioning and Domestic Hot Water: A Case Study for the Austrian Building Stock. Dissertation, Technische Universität Wien, 2015.
- [PSB20] Peters, M.; Steidle, T.; Böhnisch, H.: Kommunale Wärmeplanung. Handlungsleitfaden, Stuttgart, 2020.
- [Sc22] Schulz, M. et al.: DASC-PM v1.1. A Process Model for Data Science Projects. Nordakademie, 2022.
- [Zo22] Zosseder, K.; et al.: Schlussbericht zum Verbundprojekt GEO-KW: Kopplung des geothermischen Speicherpotenzials mit den wechselnden Anforderungen des urbanen Energiebedarfs zur effizienten Nutzung der regenerativen Energiequelle Grundwasser für die dezentrale Kälte- und Wärmebereitstellung in der Stadt. DOI = 10.14459/2022md1692003, 2022.