

# GIS-Analysen für eine kleinräumige multikriterielle Wärmeleitplanung

## *GIS Analyses for Small-scale Multi-criteria Thermal Energy Planning*

Sebastian Erdmann<sup>1</sup>, Tabea Belkot<sup>1</sup>, Felix Friebe<sup>1</sup>, Theresa Gravenhorst<sup>1</sup>, Sascha Koch<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IAPG, Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth · sebastian.erdmann@jade-hs.de

**Zusammenfassung:** Vor dem Hintergrund der Klimaschutzziele muss die Wärmeversorgung in Kommunen transformiert werden. Fossile Heizungssysteme sind zukünftig z. B. durch grüne Fernwärmenetze oder Wärmepumpen zu ersetzen. Bestehende Ansätze zur Wärmeleitplanung basieren bisher meist auf wenigen auf Fernwärmenetze zugeschnittenen Kriterien wie der Wärmeverbrauchsdichte. Eine weitergehende multikriterielle Wärmeleitplanung würde hingegen ein systematisches und technologieoffenes Vorgehen ermöglichen mit dem Ziel, die vorhandenen Wärmeversorgungsoptionen in einem Planungsgebiet möglichst optimal zu verteilen. Hierfür werden verschiedene weitere Kriterien wie die Dezentralität von Gebäuden oder die auf Trassenlängen basierende Wärmelinien-dichte benötigt. In diesem Beitrag wird gezeigt, wie für diese Kriterien GIS-Analysen genutzt werden können, sodass die Ergebnisse in eine umfassende multikriterielle Wärmeleitplanung einfließen können.

**Schlüsselwörter:** Wärmeleitplanung, Energiewende, Wärmewende, GIS-Analyse

**Abstract:** *The heat supply in municipalities must be transformed when considering the background of climate protection goals. In the future, fossil heating systems have to be replaced by green district heating networks or heat pumps, for example. Existing approaches to thermal energy planning are mostly based on a few criteria tailored to district heating networks, such as heat consumption density. A more far-reaching multi-criteria thermal energy planning would enable a systematic and technology-open approach with the aim of optimally distributing the existing heat supply options in planning areas. Various other criteria are required for this, such as the decentralisation of buildings or the heat line density based on heat grid length. This article shows how GIS analyses can be used for these criteria so that they can be incorporated into a comprehensive multi-criteria thermal energy planning.*

**Keywords:** *Thermal energy planning, energy turnaround, thermal energy turnaround, GIS analysis*

## 1 Problemstellung und Zielsetzung

Der Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung strebt einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand bis 2050 an. Da Gebäude besonders langlebig sind, müssen frühzeitig Maßnahmen ergriffen werden, um dieses übergeordnete Ziel zu erreichen. Fossile Heizungssysteme müssen ersetzt werden und bei Neubauten generell vermieden werden, um die für Gebäude bis 2030 angestrebte Minderung der Treibhausgasemissionen in Höhe von 66-67 % gegenüber 1990 zu erreichen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2016, p. 33).

Während die Transformation des Stromsektors bereits weiter vorangeschritten ist, lag der Anteil Erneuerbarer Energien (EE) in der Wärmeversorgung von Deutschland 2019 bei lediglich 14,5 % (Umweltbundesamt, 2020, p. 11). Für das Gelingen einer sozial gerechten und möglichst wirtschaftlichen Wärmewende ist eine Wärmeleitplanung als Entscheidungswerk-

zeug für Kommunen und Energieversorger hilfreich. Die Aktualität dieser Thematik zeigt sich z. B. in der Novelle des Klimaschutzgesetzes des Landes Baden-Württemberg, die seit dem 24. Oktober 2020 in Kraft ist und die Erstellung einer kommunalen Wärmeleitplanung für kreisfreie Städte und große Kreisstädte bis zum 31.12.2023 verpflichtend macht (§7d KSG BW). Daraus wird ersichtlich, dass sich aktuell ein hoher Bedarf im Bereich der Wärmeleitplanung entwickelt.

Wärmeleitplanung umfasst insbesondere die Planung von Fernwärmenetzen. Allerdings stehen mittlerweile auch andere potenziell nachhaltige Wärmeversorgungsoptionen wie z. B. dezentrale Wärmepumpen, dezentrale Biomasseheizungen und erneuerbare Gase zur Verfügung, die in eine Wärmeleitplanung einbezogen werden müssen. Für ein Gelingen der Wärmewende ist es wichtig, diese verschiedenen Technologien und deren individuellen Anteil an der Wärmebereitstellung zu ermitteln. Dabei sind insbesondere die effiziente Nutzung der begrenzten Potenziale für Fernwärme und der optimale Einsatz der begrenzten Ressource Biomasse zu berücksichtigen.

Relevante Planungsebenen der Wärmeleitplanung sind die Gebäudeebene und die Rasterebene. Auf Gebäudeebene kann beispielsweise ermittelt werden, ob ein Gebäude idealerweise dezentral mit Wärme versorgt werden kann (z. B. Wärmepumpe oder Biomasse). Bei der Planung von Wärmenetzen werden hingegen mehrere Gebäude einbezogen, wozu eine geeignete Rasterebene benötigt wird.

Während einige für die Wärmeleitplanung relevante Kriterien wie z. B. das Alter von Heizungsanlagen von Datendienstleistern bezogen werden können, müssen andere für die Wärmeleitplanung benötigte Kriterien wie z. B. die Dezentralität von Gebäuden oder die auf der Trassenlänge potenzieller Wärmenetze basierende Wärmelinien-dichte zunächst berechnet werden. Ziel des vorliegenden Beitrags ist daher, GIS-Analysen für diese Kriterien zu konzipieren.

Dazu werden in Kapitel 2 zunächst die relevanten Wärmeversorgungsoptionen und das Vorgehen bei der Wärmeleitplanung beschrieben. In Kapitel 3 werden die beiden relevanten Planungsebenen betrachtet und die vorab genannten Kriterien in den Kontext einer umfassenden multikriteriellen Wärmeleitplanung eingeordnet. Auf dieser Grundlage können in Kapitel 4 GIS-Analysen für Wärmeleitplanungskriterien konzipiert werden.

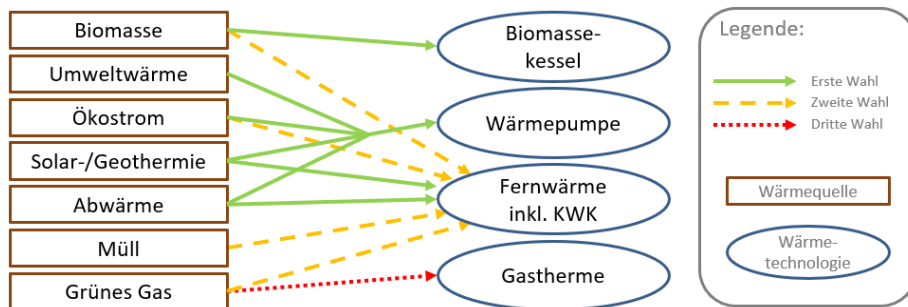
## 2 Wärmeleitplanung

### 2.1 Wärmeversorgungsoptionen vor dem Hintergrund der Klimaschutzziele

Bisher wird im Bereich der Wärmeleitplanung i. d. R. der aktuelle Verbrauch betrachtet und dieser mit vorhandenen Wärmequellen abgeglichen. Dabei werden als Kriterien die Wärmeverbrauchs-dichte ( $\text{kWh}/\text{Fläche} \cdot \text{a}$ ) und die Wärmelinien-dichte ( $\text{kWh}/\text{m} \cdot \text{a}$ ) verwendet (Reckzühl, 2019, p. 40 ff). Diese Werte sind insbesondere relevant für Fernwärmenetze, da hier kurze Transportwege der Energie wichtig sind um die Wärmeverluste im Netz zu minimieren. Darüber hinaus ist die Investition in das Rohrnetz pro verkaufte Kilowattstunde geringer, wenn eine hohe Wärmelinien-dichte vorliegt. Oft entsteht daher der Eindruck, dass Wärmeleitplanung mit der Fernwärmenetzplanung gleichgesetzt wird. Andere potenziell nachhaltige Wärmeversorgungsoptionen werden bei der Wärmeleitplanung häufig nicht betrachtet. Darüber hinaus werden aufseiten der Wärmepotenziale für Fernwärmesysteme teilweise nicht

nachhaltige Wärmepotenziale als mögliche Wärmequellen aufgeführt, z. B. Kohlekraftwerke oder fossil befeuerte Industrie (Heat Road Map, 2021).

Die größtenteils Fossil-basierte Wärmeversorgung muss zur Einhaltung der oben erwähnten Klimaschutzziele dekarbonisiert werden, wobei die Sektorenkopplung berücksichtigt werden muss, weil zukünftig elektrische Energie im Wärmesektor durch den vermehrten Einsatz von Wärmepumpen mehr Gewicht bekommen wird (Prognos, 2020, p. 10). Dazu muss im Zuge der Planung der Wärmeversorgungstechnologie betrachtet werden, inwieweit sich die Wärmeverbräuche durch eine energetische Sanierung reduzieren lassen. Nutzbare Energiepotenziale müssen ermittelt und dann möglichst effizient verteilt werden. Abbildung 1 zeigt die möglichen Energiequellen für eine nachhaltige Wärmeversorgung, deren Potenziale je nach Region variieren.



**Abb. 1:** Verteilung von Energiequellen auf mögliche Wärmetechnologien

Vom Feld „Grünes Gas“ (Biogas und Wasserstoff aus EE-Strom) führt kein Pfeil erster Wahl zu einem der aufgeführten Verbraucher, weil grüne Gase primär in den Sektoren Industrie und Schwerlastverkehr zum Einsatz kommen werden (Prognos, 2020, p. 27). Die zweite Wahl fällt auf die Fernwärme, weil hier in Zeiten der „kalten Dunkelflaute“ – also Zeiten, zu denen wenig Strom aus Wind- und Solarenergie erzeugt wird – das Stromnetz gestützt werden kann, indem größere Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) Strom und Wärme aus dem Speichermedium Gas erzeugen. Bei der Quelle Müll ist nur ein Pfeil der zweiten Wahl vorhanden, da Müll nur bedingt als nachhaltige Quelle betrachtet werden kann (insbesondere wegen Erdöl-basierter Kunststoffe) und Müll zunächst vermieden und recycelt werden muss. Im Bereich der Biomasse ist zukünftig ggf. zunächst eine stoffliche Nutzung z. B. in Form von Einwegverpackungen sinnvoll, was bei der Potenzialabschätzung zu berücksichtigen ist. Nach der stofflichen Nutzung der Biomasse kann dann die energetische Verwertung stehen und so Müll dekarbonisiert werden. Anzumerken ist außerdem, dass Abwärme, Solar- und Geothermie bei ausreichend hoher Temperatur direkt und damit ohne den Einsatz einer Wärmepumpe genutzt werden können. Bei der Nutzung von Abwärme ist die genaue Herkunft der Wärme zu identifizieren. Stammt die Abwärme aus einer fossil betriebenen Industrieproduktion, dann eignet sich die Wärmequelle nicht für die Wärmeversorgung, da zunächst eine Umstellung der Energieversorgung des Unternehmens erforderlich ist. Es wird deutlich, wie begrenzt viele Potenziale sind und dies unterstreicht die Notwendigkeit einer umfassenden Wärmeleitplanung, um die vorhandenen Potenziale bestmöglich zu nutzen.

## 2.2 Vorgehen bei der multikriteriellen Wärmeleitplanung

Ziel der Wärmeleitplanung ist es die vorhandenen Potenziale in einem Planungsgebiet (z. B. Kommune oder Stadtteil) effizient auf die Gebäude zu verteilen. Dabei eignen sich die vier Wärmetechnologien aus Abbildung 1 in Abhängigkeit von der Lage und den individuellen Eigenschaften des Planungsgebietes und der Gebäude unterschiedlich gut. Benötigt wird daher eine gewichtete Bewertung für jede Heiztechnologie und jedes Gebäude, die datenbasiert in mehreren Schritten ermittelt wird (vgl. Abb. 2).



**Abb. 2:** Vorgehensmodell der multikriteriellen Wärmeleitplanung auf Gebäudeebene

Im ersten Schritt werden zunächst gebäudespezifische Informationen in einer Datenbank zusammenggeführt, um daraus später für jedes Gebäude die geeignetste Wärmetechnologie zu bestimmen. Key-Attribut sind die amtlichen Adressen (PLZ, Straße, Hausnummer, Hausnummernzusatz, Geokoordinaten). Den amtlichen Adressen werden Datensätze aus verschiedenen Quellen zugeordnet, die für die Wärmeleitplanung von besonderem Interesse sind: Wohnfläche [m<sup>2</sup>], Dachfläche [m<sup>2</sup>], Dachausrichtung [°], Autarkiepotenzial [Dachfläche · (Dachausrichtung · Bewertungsfaktor)/Wärmeverbrauch], Wärmeverbrauch [kWh/a], Wärmeverbrauch/Wohnfläche [kWh/m<sup>2</sup> · a], Alter der Heizungsanlage [in Klassen] und Denkmalschutz [ja/nein].

Ein Teil dieser Daten kann bei entsprechenden Anbietern eingekauft werden (z. B. Wärmeverbrauchsdaten) andere Daten wie z. B. zum Denkmalschutz stammen von Behörden. Führen Netzbetreiber solche Planungen durch, dann stehen diesen genauere Daten (Zählerdaten) und Informationen zum vorhandenen Netz (z. B. Alter, Kapazität oder Netzbereich) zur Verfügung, die mit in die Wärmeplanung einfließen können.

Auf Grundlage dieses umfassenden, gebäudebezogenen Datenbestands können Kriterien für die Wärmeleitplanung gebildet werden. Aus dem Datenpool werden Kriterien ausgewählt, sodass die einzelnen Technologien anhand dieser Kriterien gewichtet werden können. Für jedes Gebäude wird die Erfüllung der Kriterien bewertet und anhand der Gewichtung ergibt sich ein Eignungswert für die jeweilige Heiztechnologie bezogen auf das Gebäude.

Für die Heiztechnologien wird ein entsprechender Ablauf auf Rasterebene durchgeführt, bei dem dezentral liegende Gebäude für die Betrachtung der Eignung des Rasters für eine netzgebundene Versorgung unbeachtet bleiben. So ergibt sich für jedes Rasterfeld eine Eignung für die Wärmeversorgungstechnologie und es kann ein entsprechender Netzausbau geplant werden. Bei Rastergebieten, die sich gut für Fernwärme eignen, kann in der Detailplanung auf die zuvor erstellte Gebäudeebene zurückgegriffen werden, indem einzelne, für Fernwärme eher ungeeignete Gebäude, bei der Fernwärmeplanung ausgeklammert werden und Trassenverläufe so weiter optimiert werden.

### 3 Räumliche Betrachtungsebenen und Bewertungskriterien der Wärmeleitplanung

#### 3.1 Bewertungskriterien auf Gebäudeebene

Die Gebäudeebene ist eine relevante räumliche Betrachtungsebene, da gebäudespezifische Eigenschaften wie die Lage oder der Wärmebedarf die Eignung von Wärmeversorgungsoptionen beeinflussen. Für jedes Gebäude bzw. jede amtliche Adresse im Betrachtungsraum ist daher in einem GIS-Layer ein Punkt enthalten, an den gebäudespezifische Attribute geknüpft sind, die für die Wärmeleitplanung verwendet werden können. Auf Gebäudeebene werden folgende fünf Kriterien betrachtet, deren Auswahl auf den fachlichen Anforderungen der Wärmeleitplanung und der verfügbaren Datengrundlage basiert:

- **G1 – Autarkiepotenzial (solares Aufdachpotenzial / Wärmebedarf):** Hat ein Gebäude eine große, gut ausgerichtete Dachfläche und einen eher geringen Wärmebedarf, dann eignet sich das Gebäude für den Einsatz einer Wärmepumpe, die den selbsterzeugten Photovoltaikstrom nutzt. Alternativ bietet sich auch eine Solarthermieanlage mit einem größeren Wärmespeicher an oder eine Kombination der Varianten. Den Anschluss an eine netzgebundene Wärmeversorgung mittels Fernwärme oder erneuerbare Gase ist eher zu empfehlen, wenn das Solarpotenzial gering und der Wärmebedarf des Gebäudes hoch ist.
- **G2 – Heizungsalter:** Aus Gründen der Akzeptanz, Wirtschaftlichkeit und Effizienz ist es weniger sinnvoll, Gebäude mit neuen Heiztechnologien auszustatten, wenn bereits vergleichsweise neue Heizungsanlagen verbaut wurden.
- **G3 – Wärmeverbrauch / Wohnfläche:** Je nach spezifischen Wärmebedarf eignen sich verschiedene Heiztechnologien. Bei geringen Wärmebedarfen eignet sich eine Versorgung über eine Wärmepumpe. Bei hohen Verbräuchen lohnt sich die Versorgung über ein separates Netz (Gas oder Wärme). Für eine Fernwärmeversorgung sollte der Wärmebedarf mindestens  $70 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$  betragen (Nussbaumer et al., 2018, p. 110).
- **G4 – Denkmalschutz:** Denkmalgeschützte Gebäude haben zum einen oft keine Möglichkeit Solaranlagen zu installieren und zum anderen stellt der Denkmalschutz oft eine Restriktion bei der Fassadendämmung dar (Bürger et al., 2016, p. 27). Damit ist sowohl die Energieeigenproduktion als auch die Reduzierung des Wärmebedarfs gehemmt. Dies sorgt dafür, dass in Gebieten mit hohem Denkmalschutzanteil eine höhere Planungssicherheit für eine netzgebundene Wärmeversorgung besteht.
- **G5 – Dezentrales Gebäude:** Je lockerer eine Bebauung ist, desto weniger lohnt sich die Versorgung über ein Gas- oder Wärmenetz, da der Umsatz pro Rohrleitungsmeter immer weiter abnimmt und bei der Fernwärme zudem die Wärmeverluste steigen. Dezentrale Gebäude (hier definiert über „kein Nachbar im Umkreis von 100 m“) sollten daher entweder über Biomasse oder bei gutem solaren Aufdachpotenzial / Wärmebedarf (Kriterium G1) über Solarenergie versorgt werden (ggf. beides zusammen).

In Abhängigkeit dieser Kriterien ergibt sich für jedes Gebäude für jede Wärmeversorgungsoption eine Eignung. Je nach Datenlage und eventuell vorgegebenen Rahmenbedingungen (z. B. unternehmerischer Natur) kann die Kriterienauswahl sowie die Gewichtung variiert werden.

### 3.2 Bewertungskriterien auf Rasterebene

Auf Gebäudeebene kann das Ergebnis bzgl. der geeignetsten Wärmeversorgungstechnologie für ein Gebäude Fernwärme lauten. Der Aufbau eines Fernwärmenetzes ist allerdings nur wirtschaftlich, wenn es zu einer räumlichen Konzentration von fernwärmegeeigneten Gebäuden kommt. Daher ist eine Betrachtung auf einer weiteren Ebene sinnvoll, in der mehrere Gebäude zusammengefasst betrachtet werden. Um solche Gebiete zu lokalisieren wird ein Raster ( $500\text{ m} \times 500\text{ m}$ ) über das zu beplanende Gebiet gelegt. Die Rastergröße wurde so gewählt, dass eine gewisse Mindestgröße für ein Fernwärmenetz abgebildet werden kann und viele kleine Fernwärme-Inseln vermieden werden. Je mehr Gebäude an einem Wärmenetz angeschlossen sind, desto niedriger sind der Gleichzeitigkeitsfaktor und die Investitionskosten (Nussbaumer et al., 2018, p. 107).

Für die Betrachtung auf Rasterebene wurden auf Grundlage der fachlichen Anforderungen und der verfügbaren Datengrundlage die folgenden vier Kriterien definiert, die sich zum Großteil aus den Gebäudeeigenschaften ergeben:

- **R1 – Wärmelinienichte:** Die Wärmelinienichte [ $\text{kWh}/\text{m} \cdot \text{a}$ ] ist ein typisches Kriterium für die Fernwärmenetzplanung und ist definiert als Quotient des Fernwärmeabsatzes in einem Gebiet [ $\text{kWh}/\text{a}$ ] geteilt durch die für die Versorgung benötigte Trassenlänge [ $\text{m}$ ]. Je höher der Wert, desto wirtschaftlicher stellt sich der Bau und Betrieb des Netzes dar (Wolff & Jagnow, 2011, p. 20). Das gilt für Gasnetze wie für Fernwärmenetze. Da bei Wärmenetzen der Aufwand höher ist (Vorlauf- und Rücklaufleitung) und die Wärmeverluste mit jedem Rohrmeter ansteigen, ist bei Wärmenetzen dieser Wert von größerer Bedeutung. Bei den Eingangsgrößen der Wärmelinienichte werden Hausanschlussleitungen von dezentral gelegenen Gebäuden und deren Wärmebedarf nicht berücksichtigt. Außerdem wird der Wärmebedarf von Gebäuden mit aktuell hohem Wärmebedarfen ( $> 200\text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ) nur zu 40 % betrachtet, weil bei diesen Gebäuden eine Sanierung oder ein Abriss wahrscheinlich ist.
- **R2 – Durchschnittliches Heizungsalter:** Aus Gründen der Akzeptanz, Wirtschaftlichkeit und Effizienz ist es – wie auch auf Gebäudeebene (G2) – zunächst nicht sinnvoll, Rasterfelder mit neuen Heiztechnologien auszustatten, wenn das durchschnittliche Heizungsalter in dem Raster gering ist.
- **R3 – Anteil Denkmalschutz:** Rasterfelder mit einem hohen Anteil an denkmalgeschützten Gebäuden sind für eine netzgebundene Wärmeversorgung zu bevorzugen (vgl. Kriterium G4).
- **R4 – Anteil dezentral zu versorgender Gebäude:** Befinden sich in einem Rasterfeld viele Gebäude, die sich für eine dezentrale Versorgung gut eignen, sodass viele Wärmepumpen zum Einsatz kommen, dann ist in den Bereichen kein separates Wärmenetz vorzusehen und ggf. zu prüfen, ob das Stromnetz ausgebaut werden muss. Durch einen gebietsweisen starken Zubau der Variante Photovoltaik plus Wärmepumpe kann es im Sommer zum einen zu hohen Einspeisungen durch die Photovoltaik und im Winter zu hohen Lastspitzen durch Wärmepumpenbetrieb bei Dunkelheit kommen. Einzelne Gebäude in dem Gebiet, die sich eigentlich gut für Fernwärme oder Gas eignen würden, haben dann einen Nachteil.

Diese Kriterien werden dazu genutzt, die Eignung verschiedener Wärmeversorgungsoptionen für jede Rasterzelle zu bewerten. Das Vorgehen ist somit analog zur Gebäudeebene (vgl. Abb. 2), basiert aber auf Rasterebene auf anderen Kriterien.

## 4 GIS-Analysen für Wärmeleitplanungskriterien

### 4.1 GIS-basierte Ermittlung des Anteils dezentral zu versorgender Gebäude

Um den Anteil dezentral zu versorgender Gebäude auf Rasterebene (Kriterium R5) ermitteln zu können, muss zunächst für einzelne Gebäude entschieden werden, ob diese dezentral, eventuell dezentral oder zentral versorgt werden können. Bei der dezentralen Versorgung auf Gebäudeebene spielt zum einen das Autarkiepotenzial (G1) eine Rolle und zum anderen die dezentrale Lage (G5). Für die Lageentscheidung wird ermittelt, ob sich im Umkreis von 100 m um ein Gebäude kein anderes Gebäude befindet. Solche alleinstehenden Gebäude eignen sich in der Regel nicht für eine leitungsgebundene Wärmeversorgung. Hier bleiben dann die Optionen der Biomasseversorgung oder der Verwendung von Wärmepumpen.

Um dies zu realisieren, wird um jedes Gebäude ein 50-m-Puffer gelegt. Die Größe des Puffers kann z. B. bei der Netzplanung von Netzbetreibern an die jeweiligen wirtschaftlichen und strategischen internen Vorgaben angepasst werden. Für Strom-, Gas- und Fernwärmenetzausbauabetrachtungen können verschiedene Radien festgelegt werden. Bei Überschneidung werden die Puffer verschmolzen. Diejenigen Puffer, die nicht verschmolzen werden und einen Flächeninhalt von  $\pi \cdot 50^2 \text{ m}^2$  aufweisen, werden ausgewählt und deren Gebäude werden als dezentral markiert (vgl. Abb. 3). Rot dargestellt Gebäudepunkte kommen für eine dezentrale Versorgung durch Biomasse nicht infrage.



**Abb. 3:** Entscheidung über Dezentralität durch Pufferung

Eine Ausnahme stellen hierbei große Gebäude dar (z. B. Krankenhaus oder Universität), denen wegen der Größe nach diesem Vorgehen ein dezentraler Status zugeschrieben werden könnte. Daher wird Gebäuden, die als dezentral bewertet werden, aber eine Grundfläche von  $\geq 1.000 \text{ m}^2$  haben, der Status „eventuell dezentral“ zugewiesen.

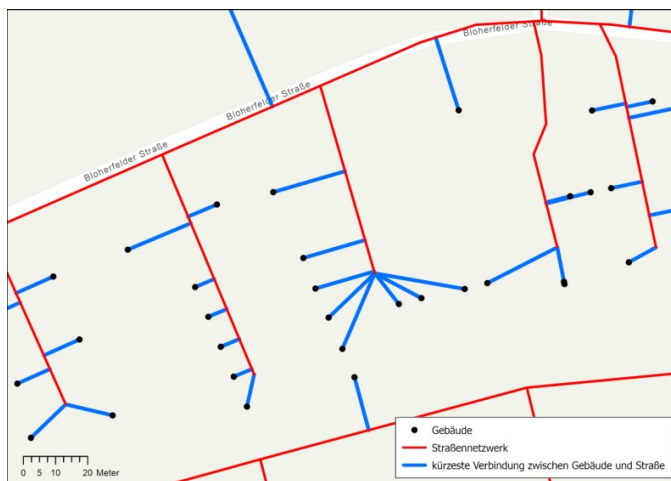
Ein zweiter Schritt, um Gebäude, die für eine dezentrale Versorgung infrage kommen, identifizieren zu können, besteht darin, das Autarkiepotenzial (G1) zu bewerten, welches sich aus

dem Verhältnis vom Solarpotenzial zum Wärmebedarf ergibt. Je höher das Autarkiepotenzial ausfällt, umso eher eignet sich das Gebäude für eine dezentrale Wärmeversorgung, da der Wärmebedarf zu einem guten Anteil aus Solarenergie gedeckt werden kann. Hier eignet sich dann z. B. eine Kombination aus Solarkollektoren, die Wärme und Strom erzeugen, mit Erdwärmespeicher und Wärmepumpe.

## 4.2 GIS-basierte Antizipation der Trassenlänge von Wärmenetzen

Für die Berechnung des Kriteriums der Wärmelinienichte (R1) wird neben dem Wärmebedarf auch die Trassenlänge des potenziellen Wärmenetzes in jeder Rasterzelle benötigt. Da hierzu keine Daten öffentlich verfügbar sind, werden diese Trassen GIS-basiert generiert. Grundlage hierbei sind Straßendaten der betrachteten Kommune aus OpenStreetMap (OSM), da Wärmenetze gewöhnlich entlang bzw. in bestehenden Straßen oder Wegen verlegt werden, von denen sich die Hausanschlussleitungen abzweigen (Esch et al., 2011, p. 12).

In einem ersten Schritt werden alle Straßentypen aus der Betrachtung herausgenommen, die für das Wärmenetz nicht infrage kommen. Darunter fallen vor allem Autobahnen, Bund-, Landes- und Kreisstraßen. Für die übrig gebliebenen Straßen wird nun deren Nachbarschaft mit den Gebäudepunkten betrachtet. Ziel ist es, die kürzeste Verbindung eines Gebäudes zur Straße zu ermitteln, die dann später als Leitung zwischen Straßentrasse und Hausanschluss genutzt werden kann. Unter Eingabe des Gebäudepunkte-Layers und des Straßennetzwerkes wird für jeden Gebäudepunkt jeweils die kürzeste Distanz zur Straße ermittelt. Diese Informationen über die kürzeste Distanz, sowie die Koordinaten des nächstgelegenen Punktes werden in die Attributtabelle der Gebäudepunkte geschrieben. Mit diesen Koordinaten lassen sich nun diese Punkte erzeugen, woraus sich dann wiederum Linien zu ihren nächstgelegenen Gebäudepunkten erzeugen lassen (vgl. Abb. 4).

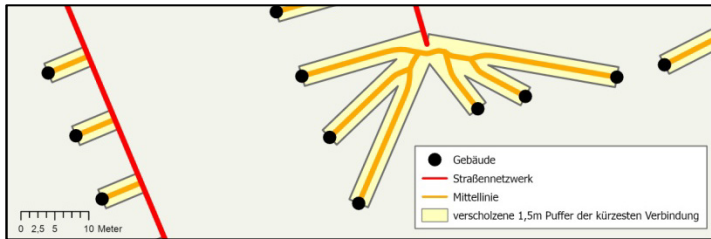


**Abb. 4:**  
Erzeugung der  
kürzesten Verbindung  
zwischen Straßennetz  
und Gebäudepunkt

In Abbildung 4 ist zu erkennen, dass sich durch diese Vorgehensweise auch eine Vielzahl an nah beieinanderliegenden Leitungen ergeben, die so nicht der Realität entsprechen. Deutlich wird dies insbesondere bei von der Straße aus betrachtet hintereinanderliegenden Gebäuden, die eine Leitung teilweise gemeinsam nutzen können. Es können aber auch Häusergruppen betroffen sein, wie im folgenden Beispiel beschrieben.



Derart nah beieinanderliegende Leitungen müssen somit weiter aggregiert werden. Deswegen werden für alle erzeugten Linien (blaue Linien) Puffer erzeugt, die mehrere Leitungen umfassen, sodass aus mehreren Leitungen eine Leitung erzeugt werden kann. Für die Pufferung wird ein Wert von 1,5 m gewählt, mit dem ein Großteil aller nah beieinanderliegenden Leitungen erfasst wird. Diejenigen Puffer, die sich überschneiden, werden miteinander verschmolzen. Aus diesen verschmolzenen Polygonen können Mittellinien berechnet werden, die fortan als Leitung für alle sich in diesem Gebiet (verschmolzene Puffer) befindlichen Gebäude dient (vgl. Abb. 5).



**Abb. 5:** Mittellinienextraktion für verschmolzene Puffer

Nach dieser Operation liegen nicht für alle extrahierten Mittellinien Verbindungen zu den Gebäudepunkten und Straßen vor, da diese Beziehungen dabei noch nicht eingeflossen sind. Dies tritt auf, wenn mehrere Leitungen zu einer Mittellinie werden, wie z. B. in Abbildung 5 bei der Straße, an deren Ende sechs einzelne Hausleitungen abzweigen, die zu einer Mittellinie werden. Dadurch verlieren die Leitungen die direkte Verbindung zum Straßenende. Dieses Problem wird wie folgt gelöst: Zunächst wird die kürzeste Distanz zwischen Straße und Mittellinie berechnet. Dann werden die daraus resultierenden Punkte erzeugt und aus diesen dann das Linienelement. Gleiches gilt für fehlende Verbindungen zwischen Mittellinie und Gebäudepunkt. Am Ende werden alle Linienelemente mit den Straßen zum Trassenetzwerk vereinigt (vgl. Abb. 6).



**Abb. 6:** Ausschnitt des erzeugten Trassenetzwerkes

Zur Ermittlung der Trassenlänge in einer Rasterzelle wird das Trassennetzwerk mit dem Raster verschnitten, sodass das Netzwerk immer beim Kreuzen mit dem Rastergitter geteilt wird. Dadurch entstehen in jeder Rasterzelle eigenständige Netzwerke, deren Längen sich im GIS ermitteln lassen. Diese Trassenlänge pro Rasterzelle kann dann in die Berechnung des Bewertungskriteriums der Wärmelinien-dichte (R1) einfließen. Dafür werden die Wärmebedarfe in einer Rasterzelle aufsummiert und durch die dazugehörige ermittelte Trassenlänge geteilt.

## 5 Fazit und Ausblick

Bei der Wärmeleitplanung stehen verschiedene Wärmeversorgungsoptionen zur Verfügung, die auf Gebäudeebene und Rasterebene bewertet werden müssen. Dabei können verschiedene Kriterien einbezogen werden, wobei für einige Kriterien GIS-Analysen erforderlich sind.

In diesem Beitrag wurde gezeigt, wie einzelne Gebäude GIS-basiert hinsichtlich der Dezentralität bewertet werden können, sodass auf der übergeordneten Rasterebene der Anteil dezentral mit Wärme zu versorgender Gebäude ermittelt werden kann. Für die Berechnung der Wärmelinien-dichte wurde gezeigt, wie die dafür benötigte Trassenlänge in einem abgegrenzten räumlichen Gebiet wie z. B. einem Raster GIS-basiert antizipiert werden kann.

Die Ergebnisse dieser GIS-Analysen fließen in eine umfassende multikriterielle Wärmeleitplanung ein, mit der die aus Sicht des Analysierenden am besten geeignete Wärmeversorgungsoption für die einzelnen Gebäude und Rasterzellen ermittelt werden kann. Netzbetreiber haben zusätzlich die Möglichkeit, das Vorgehen auf weiteren räumlichen Betrachtungsebenen anzuwenden, die auf bestehenden Netzstrukturen aufbauen. Insgesamt kann vor dem Hintergrund der Klimaschutzziele mit einer derartigen multikriteriellen Wärmeleitplanung ein Handlungsrahmen für die Transformation der Wärmeversorgung von Stadtteilen und Quartieren abgesteckt werden.

## Acknowledgement

Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Förderkennzeichen: 03SBE111S.

## Literatur

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau. und Reaktorsicherheit (2016). *Klimaschutzplan 2050*.
- Bürger, V. et al. (2016). *Klimaneutraler Gebäudebestand 2050*. Umweltbundesamt.
- Esch, T., Geiß, C., & Heldens, W. (2011). *Potenzialanalyse zum Aufbau von Wärmenetzen unter Auswertung siedlungsstruktureller Merkmale*. Oberpfaffenhofen: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.
- Gesetz zur Weiterentwicklung des Klimaschutzes in Baden-Württemberg, idF vom 14.10.2020 (KSG, 16/8993).
- Heat Road Map (2021). Retrieved Jan 12, 2021, from <https://heatroadmap.eu/peta4/>.
- Nussbaumer, T. et al. (2018). *Planungshandbuch Fernwärme*. Bundesamt für Energie, Bern.

- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2020): *Klimaneutrales Deutschland*. Zusammenfassung im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität.
- Reckzügel, M. et al. (2019). Wärmekompass – Ein richtungsweisendes Instrument für die Wärmenutzungsplanung. *BWK*, 71(11), 40–44.
- Umweltbundesamt (2020). *Erneuerbare Energien in Deutschland – Daten zur Entwicklung im Jahr 2019*. Dessau-Roßlau.
- Wolff, D., & Jagnow, K. (2011). *Überlegungen zu Einsatzgrenzen und zur Gestaltung einer zukünftigen Fern- und Nahwärmeversorgung*.