

GeoVisual Analytics zur intuitiven Szenarioplanung im Kontext der geodatenbasierten Wärmeleitplanung

GeoVisual Analytics for Intuitive Scenario Planning in the Context of Geodata Based Thermal Energy Planning

Moritz Elbeshausen¹, Marvin Schnabel¹, Sascha Koch¹

¹Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG), Jade Hochschule, Oldenburg · moritz.elbeshausen@jade-hs.de

Zusammenfassung: Mit der Überarbeitung des Klimaschutzgesetzes gibt die Bundesregierung die Richtung für die zukünftigen Anstrengungen im Bereich der klimaneutralen Wärmeversorgung vor. Das gesetzte Ziel der Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 steht für ganz Deutschland fest. Die Wärmeleitplanung hat die zentrale Aufgabe, die Wärmewendestrategie auf kommunaler Ebene umzusetzen und so eine nachhaltige Transformation zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung zu ermöglichen. Die Planung von Szenarien ist dabei ein zentraler Aspekt in der strategischen Zukunftsplanung. In diesem Beitrag wird daher ein auf GeoVisual Analytics basierender Ansatz zur intuitiven Szenarioplanung in der Wärmeleitplanung konzipiert. Mit einem GeoVisual-Analytics-Prototyp wird das Konzept evaluiert und gezeigt, dass Akteur_innen der Wärmeleitplanung bei der intuitiven Szenarioplanung unterstützt werden können.

Schlüsselwörter: Wärmeleitplanung, GeoVisual Analytics, intuitive Szenarioplanung

Abstract: *With the revision of the Climate Protection Act, the German government is setting the direction for future efforts in the area of climate-neutral heat supply. The set target of climate neutrality by the year 2045 is fixed for the whole of Germany. Thermal energy planning has the central task of implementing the heat transition strategy at the municipal level and thus enabling a sustainable transformation to a climate-neutral heat supply. Scenario planning is a central aspect of strategic future planning. In this paper, therefore, a GeoVisual Analytics-based approach for intuitive scenario planning in thermal energy planning is designed. The concept is evaluated with a GeoVisual Analytics prototype and it is shown that actors in thermal energy planning can be supported in intuitive scenario planning.*

Keywords: *Thermal energy planning, GeoVisual Analytics, intuitive scenario planning*

1 Problemstellung und Zielsetzung

Infolge der Überarbeitung des Klimaschutzgesetzes strebt Deutschland die Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 an. Bis 2030 sollen zudem bereits 65 % aller Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Jahr 1990 eingespart werden (BMWK, 2022a). Die Wärmewende ist dabei ein wichtiger Baustein, um die Treibhausgasneutralität in Deutschland zu erreichen. Unter Wärmewende kann „[...] die politische Aufgabe verstanden werden, den Wärmebereich schrittweise klimaneutral zu gestalten, um so die klimapolitischen Ziele Deutschlands zu erreichen“ (Schäfer-Stradowsky, 2021, p. 17). Die Bereitstellung von Wärme macht aktuell etwa die Hälfte des Endenergiebedarfes in Deutschland aus (BMWK, 2022 b).

Die Wärmeleitplanung ist ein Multiakteursprozess (Riechel & Walter, 2021) zur flächendeckenden Planung der Wärmeversorgung. Dieser kann genutzt werden, um die Wärmewende planerisch zu unterstützen. Die Wärmeleitplanung kann durch geodatenbasierte Methoden

unterstützt werden (Erdmann et al., 2021; Schnabel et al., 2022). Sie kann zur Umsetzung der Kommunalen Wärmeplanung genutzt werden. Diese hat das Ziel die Wärmeversorgung vollständig zu dekarbonisieren (Kienzler & Peters, 2022). Die Kommunale Wärmeplanung ist in Baden-Württemberg bereits verpflichtend (Riechel & Walter, 2021) und wird zukünftig in Niedersachsen für Mittel- und Oberzentren verpflichtend (Nds. GVBl. Nr. 21/2022, p. 391). Kommunen sollen auf Basis einer Bestands- und Potenzialanalyse sowie der Ermittlung von Zielszenarien eine Wärmewendestrategie vorlegen (BMWK, 2022b). Szenarien, welche die zukünftige Wärmeversorgung von Kommunen beschreiben, sind somit zentraler Aspekt der strategischen Zukunftsplanung von Kommunen. Szenarien können dabei als wissenschaftliches Ergebnis einer Zukunftsplanung entstehen (acatech, 2012). Die Szenarioplanung ist durch eine hohe Komplexität gekennzeichnet, da ihr Verlauf durch die bestehenden Entwicklungen in Kombination mit vielschichtigen Wechselwirkungen teils unvorhersehbar ist (Loßner et al., 2015). In der fachlichen Auseinandersetzung mit Szenarien finden sich dabei drei häufige Formen der Szenarioentwicklung – intuitive Erstellung von Szenarien, mathematische Formalisierung von Szenarien und methodische Szenariotechniken (Masini & Vasquez, 2000).

Ziel dieses Beitrags ist daher ein Konzept zur intuitiven Szenarioplanung im Kontext der Wärmeleitplanung. Intuitive Szenarioplanung wird dabei nicht durch Modelle, sondern durch die intuitive Planung von möglichen Maßnahmen durch Akteur_innen gesteuert. Dieses Ziel wird gestützt durch GeoVisual Analytics, welche eine breite Palette an Konzepten und Methoden aus den Bereichen der Geovisualisierung, der räumlichen Entscheidungsunterstützung sowie der Geoinformationswissenschaften bieten (Andrienko et al., 2007). Es finden sowohl Methoden der computergestützten Analyse von Geodaten sowie Data Mining und Statistische Methoden Anwendung (Andrienko et al., 2007). Die GeoVisual Analytics haben sich aus dem Bereich der Visual Analytics, welche die Fähigkeiten des Menschen, Muster zu erkennen und zu interpretieren nutzt, um Informationen zu verarbeiten, sowie der Geovisualisierung entwickelt und erweitern dazu das Konzept der Visual Analytics um eine räumliche Dimension (Robinson, 2017). Dazu benötigt es eine Visualisierungsebene, welche die Möglichkeit bietet mit den gezeigten Informationen in Interaktion zu treten (Dransch et al., 2019). GeoVisual Analytics hat dabei die Aufgabe „den Analyseprozess der Nutzer_innen mithilfe von raumzeitlichen Geodaten zu unterstützen“ (Dransch et al., 2019, p. 26). Hierfür sollen interaktive Visualisierungsmöglichkeiten und Analysemethoden aus dem Bereich der GeoVisual Analytics adaptiert werden, um den inhärenten Raumbezug der Wärmeleitplanung zu berücksichtigen (Mauthner et al., 2018) und die räumliche und zeitliche Verortung von Szenarioschritten zu ermöglichen. Szenarioschritte werden dabei als Maßnahmen im Rahmen der Szenarioplanung angelegt und durch berechnete CO₂-Einsparpotenziale ergänzt. Das methodische Vorgehen des Beitrags ist aus Dransch et al. 2019 abgeleitet. Kapitel 2 beschreibt das GeoVisual-Analytics-Konzept. In Kapitel 3 wird der entwickelte Prototyp vorgestellt und das Konzept am Beispiel der Stadt Oldenburg damit bewertet.

2 Konzeption einer GeoVisual-Analytics-Anwendung zur intuitiven Szenarioplanung

2.1 Maßnahmenkonzept

Zentrale Bestandteile der intuitiv zu entwickelnden Szenariopläne sind die Maßnahmen-schritte, die zur Transformation der Wärmeversorgung ergriffen werden können. Zu den

Maßnahmen, die in der Wärmeleitplanung Anwendung finden, gehören zum Beispiel der Einsatz von Anlagen zur klimaneutralen Wärmeerzeugung, effizienzsteigernde Maßnahmen sowie der Aufbau von Infrastrukturen zur Verteilung der Wärme (BMWK, 2022b). Maßnahmen werden somit als konkrete Handlungsvorschläge für ausgewählte Betrachtungsräume, wie zum Beispiel identifizierte Quartiere oder Stadtteile, definiert. Eine Maßnahme beinhaltet eine Technologie oder einen Prozess, welcher sich durch einen quantifizierbaren Einfluss auf die CO₂-Emissionen im ausgewählten Betrachtungsgebiet auszeichnet. So sind z. B. die zu deckenden Wärmebedarfe sowie die räumliche Lage von Verbrauchern und Versorgern verwendbare Anhaltspunkte, um eine Maßnahmenentscheidung treffen zu können. Davon ausgehend können Akteur_innen sich jeweils für eine leitungsgebundene Lösung oder eine leitungsungebundene Lösung entscheiden (KEA-BW, 2020). Zu den leitungsgebundenen Maßnahmen zählt z. B. der Anschluss an Wärmenetze. Ein Wärmenetz kann dabei räumlich begrenzte und häufig wenige Gebäude oder nur Teile eines Quartiers umspannen oder eine große Anzahl an Gebäuden und Haushalten versorgen (BEE et al., 2020). In urbanen Räumen ist die leitungsgebundene Wärme aus erneuerbaren Energien, wie z. B. Großwärmepumpen, ein wichtiger Wärmelieferant zur Deckung der Bedarfe (Roth et al., 2022). Als nicht leitungsgebundene Maßnahmen wird insbesondere der Ausbau von Wärmepumpen in Privathaushalten mit Umweltwärmekollektoren sowie Dach-Solarthermie mit Wärmespeichern betrachtet. Die beiden Maßnahmen sollen dabei unterschiedliche räumliche Bedarfe decken. So ist der Ausbau von Wärmepumpen eine für Ein- und Zweifamilienhäuser geeignete Methode (Roth et al., 2022), bei denen im besten Fall eine geeignete Freifläche für die Wärmegewinnung aus Umweltwärme vorhanden ist. Der Austausch von Gasheizungen durch Wärmepumpen senkt den Gasverbrauch. Die Nutzung einer Wärmepumpe geht jedoch auch mit erhöhtem Stromverbrauch einher, welcher dann ebenfalls klimaneutral gedeckt werden muss (Roth et al., 2022). Als Ergänzungstechnologie kann solare Wärmegewinnung auf Dachflächen umgesetzt werden, um die Versorgung zu unterstützen sofern diese nicht in Konkurrenz zu Dach-Photovoltaikanlagen steht, welche für den Betrieb einer Wärmepumpe gebraucht wird (FfE GmbH & Öko-Institut e. V, 2021).

2.2 Festlegung des Szenariorahmens

Die Szenarioplanung soll in Form einer räumlichen und zeitlichen Planung der Maßnahmen-schritte erfolgen. Die räumliche Ebene bildet hier die bestehende Siedlungsstruktur ab. Die zeitliche Ebene ergibt sich aus dem Zeithorizont und den Zwischenzielen der Klimaschutzgesetzgebung. Darauf aufbauend werden Maßnahmen im zeitlichen Verlauf geplant und mit dem Trendzielszenario verglichen.

Das Nutzen von Szenarien zur Entscheidungsfindung erfordert eine Einschätzung über die Wirkung der geplanten Szenarien. Bezogen auf die Wärmeleitplanung bedeutet dies, dass die Wirkung von Maßnahmen auf CO₂-Emissionen quantifiziert werden muss. Aus diesen Vorüberlegungen kann der verwendete Szenariorahmen abgeleitet werden um so den Szenario-kontext und -typ zu beschreiben (siehe Abb. 1) (Mietzner, 2009). Da die Entwicklung der Szenarien für die Wärmeleitplanung aus der aktuellen Bestandssituation heraus geschieht, handelt es sich beim Ausgangspunkt der Szenarioentwicklung um explorative Szenarien. Die Richtung der Szenarioentwicklung lässt sich als induktiv angeben, da die GeoVisual Analytics gestützte Szenarioplanung eine Form der Zukunftsforschung anhand von alternativen Entwicklungsmöglichkeiten basierend auf der Kombination verschiedener Schlüsselfaktoren darstellt (Ködding & Dumitrescu, 2022). Szenarien orientieren sich z. B. an gesetzten politischen Zielen in der Wärmeleitplanung und werden nach diesen Zielvorstellungen entwickelt.

Daher handelt es sich um eine präskriptive Szenarioentwicklung, welche die Ziel-Mittel-Beziehungen zwischen zu erreichenden Klimaschutzzielen und den dafür nötigen Mitteln, in Form von Maßnahmen, betrachtet. Die Komplexität der Szenarioentwicklung für das Methodenkonzzept wurde als intuitiv identifiziert, da nicht die modellgestützte Entwicklung anhand von Algorithmen, sondern die intuitive Planung der Szenarien anhand von Bewertungen durch Akteur_innen der Wärmeleitplanung im Fokus stehen soll (Mietzner, 2009).

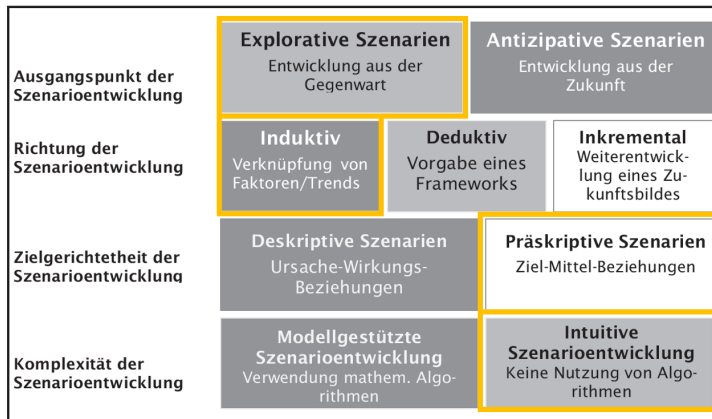


Abb. 1: Verwendeter Szenariorahmen nach Mietzner 2009, p. 114

2.3 Berechnung des CO₂-Einsparpotenzials von Maßnahmen

Eine Kenngröße für die Szenarioplanung ist das CO₂-Einsparpotenzial. Typischerweise werden zusätzlich zu Kohlendioxid (CO₂) auch weitere Treibhausgase wie Methan und Distickstoffoxid angegeben und als CO₂-Äquivalent bezeichnet (Stadt Oldenburg, 2018). Zur Ermittlung des Einsparpotenzials werden zunächst die CO₂-Emissionen der bestehenden Versorgungstechnologie ermittelt. Dafür stehen die Wärmebedarfe auf Gebäudeebene zur Verfügung. Zudem müssen Jahresnutzungsgrade und spezifische Emissionsfaktoren der verwendeten Energieträger einbezogen werden. Das Einsparpotenzial einer Maßnahme ergibt sich aus der Differenz der Emissionen, die durch die Deckung des Wärmebedarfs durch die aktuelle Technologie erzeugt werden und den Emissionen, die durch den Einsatz der neuen Versorgungstechnologie zu erwarten sind. Zur Berechnung der Emissionen wurden die Emissionsfaktoren nach (BAFA, 2020) verwendet.

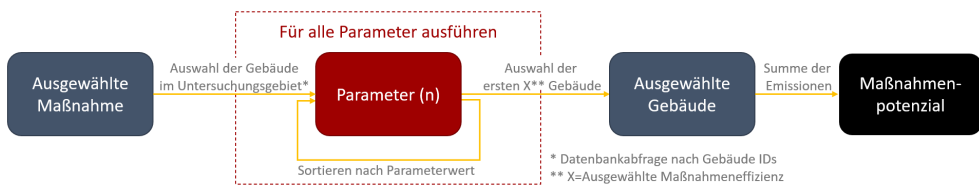
2.4 Parametergesteuerte Berechnung des Maßnahmenpotenzials

Das Konzept der intuitiven, maßnahmenbasierten Szenarioplanung basiert auf der Auswahl verschiedener Maßnahmen, welche abhängig von gewählten Parametern gebäudescharf auf eine Anzahl an Haushalte angewendet werden. Der Szenarioprozess beinhaltet die Auswahl der Maßnahmen anhand der dargestellten Bedarfssituation, der visualisierten Potenziale sowie der Berechnung des Einflusses einer Maßnahme auf die CO₂-Einsparung. Je nach gewählter Maßnahme werden unterschiedliche Parameter für die Berechnungen herangezogen (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Beispielmaßnahmen und Berechnungsparameter mit Priorisierung

Maßnahme	Parameter & Priorisierung
Wärmepumpen	1. Dezentralität, 2. CO ₂ -Emissionen, 3. Solarpotenzial
Wärmenetze	1. CO ₂ -Emissionen, 2. Dezentralität, 3. Trassenlänge
Solarthermie	1. Eignung Solarthermie, 2. Dezentralität, 3. CO ₂ -Emissionen

Damit Akteur_innen den Einfluss einer Maßnahme definieren können, kann die Anzahl der zu berücksichtigenden Gebäude (z. B. für den Anschluss an ein Wärmenetz) festgelegt werden. Die Berechnung der CO₂-Einsparungen erfolgt dann durch die Priorisierung der Gebäude anhand der verknüpften Auswahlparameter. Alle im Untersuchungsgebiet vorkommenden Gebäude werden zur Berechnung herangezogen und nach den gezeigten Parametern sortiert. Dann werden die am besten geeigneten Gebäude mit dem höchsten individuellen Potenzial in dieser Liste herausgefiltert und anschließend zur Berechnung des Einsparpotenzials genutzt (siehe Abb. 2). Die Priorisierung der Parameter kann hierbei so angepasst werden, wie es die jeweilige Maßnahme erfordert.

**Abb. 2:** Auswahl zu berücksichtigender Potenzialgebäude anhand priorisierter Parameter

2.5 Anwendungskonzept basierend auf GeoVisual Analytics

Während klassische Anwendungen zur Visualisierung von Daten und Visual Analytics Werkzeuge eher den einzelnen Benutzer bei der Konzeption der Anwendungsbestandteile adressieren (Isenberg, 2011), wird für die Entwicklung einer GeoVisual-Analytics-Anwendung im Kontext der Wärmeleitplanung ein, auf verschiedene Akteur_innen zurechtgeschnittenes, Konzept angestrebt. Da es sich bei der Wärmeleitplanung um einen Themenkomplex handelt, welcher ein breites Spektrum an Expertise, Fachwissen und Handlungsfähigkeit erfordert und an dem verschiedene Akteur_innen beteiligt sind, wird ein kooperatives Konzept begünstigt (Isenberg, 2011).

Die Darstellung von erstellten Szenarioplänen soll durch die grafische Aufbereitung der Szenarioverläufe und die berechneten Potenziale der Maßnahmen erfolgen, um bei der Szenariobewertung zu helfen. Diagramme bieten die Möglichkeit, die erstellten Szenariopläne in das Gesamtbild der Trendszenarien einzuordnen, welche zuvor aus den Klimaschutzziele abgeleitet werden. Interaktive Funktionen, wie z. B. das Ein- und Ausblenden von Kartenelementen oder Datenreihen in den Diagrammen, dienen zur Steigerung der intuitiven Bearbeitung. Abb. 3 stellt das Anwendungskonzept zusammenfassend dar.



Abb. 3: Anwendungskonzept für den Erkenntnisgewinn nach Lundblad & Jern 2013, p. 265

3 Prototypische Realisierung und Evaluation

3.1 Softwarearchitektur und verwendete Technologien

Die Wärmeleitplanung ist eine kommunale Aufgabe, die mit deren spezifischen Daten, aber nach einer einheitlichen Methode realisiert werden kann. Für eine möglichst einfache Bereitstellung dieser Methode, bietet sich eine Webanwendung an, welche für Anwender_innen ohne Installationsaufwand genutzt werden kann. Demzufolge wird auch die intuitive Szenarioplanung prototypisch als Webanwendung realisiert, wobei die Softwarearchitektur in Datenbank, Backend und Frontend unterteilt ist. Für alle drei Ebenen wurde die Entwicklung mit Open-Source-Technologien angestrebt. Dazu wurde die Programmiersprache C# in Kombination mit dem Framework ASP.NET CORE Web Applications genutzt. Gängige Web-Technologien wie HTML und JavaScript, inklusive einiger Bibliotheken wie Leaflet und Chart.js, liefern die nötigen Funktionen zur Implementierung der Seitenelemente, Kartenfunktionalitäten und visualisierten Diagramme. Die Datenbank basiert auf PostgreSQL und PostGIS für verschiedene Geofunktionalitäten.

3.2 Anwendungsoberfläche und Interaktionsmöglichkeiten

Die initiale Übersichtsseite zeigt auf einer Karte den auf Siedlungsstrukturen aggregierten Wärmebedarf im Untersuchungsgebiet sowie eine Liste von zuvor erstellten Szenarioplänen (siehe Abb. 4). Diese Liste zeigt Titel, Ersteller_in, Erstellungsdatum und Navigationselemente an. Die „Details“-Schaltfläche navigiert den die Akteur_in zur detaillierten Ansicht und lädt die zugehörigen Daten. Über eine Schaltfläche unter den Szenarioplänen kann zur Erstellungsseite gewechselt werden. Auf dieser Seite können Titel des Szenarios, der Namen der Ersteller_in sowie die einzelnen Maßnahmenschritte erfasst werden. Für jeden erstellten Szenarioschritt gibt es eine Reihe von Parametern, welche durch interaktive Seitenelemente einstellbar sind. Dazu gehört die Maßnahme, die Anzahl der zu berücksichtigten Gebäude, Beginn und Ende des Maßnahmenzeitraums, die ungefähre Verteilung der CO₂-Einsparung über die Zeit sowie ein Kommentarfeld zur freien Texteingabe. Die CO₂-Einsparung, wird dabei im Hintergrund errechnet. Sie beschreibt das Maßnahmenpotenzial, welches über einen zeitlichen Verlauf angewendet werden soll.

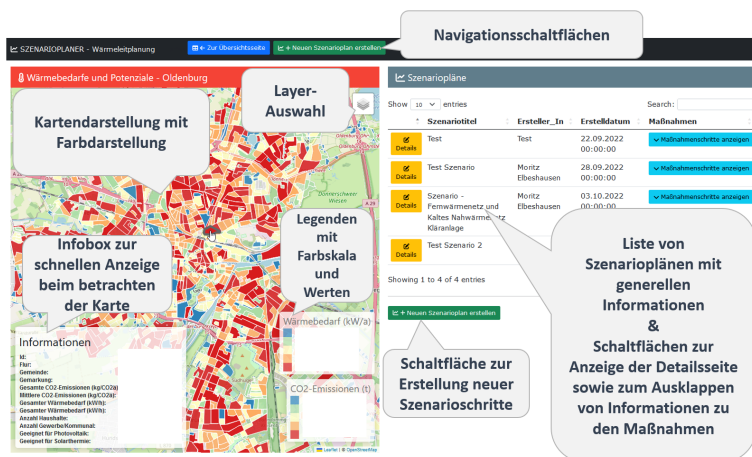


Abb. 4: Übersichtsseite mit Kartendarstellung und Liste von Szenarioplänen

Zur Darstellung der Auswirkungen des Plans wird die Detailsseite genutzt (siehe Abb. 5). Sie liefert Informationen darüber, wie der erstellte Plan sich räumlich und zeitlich auf die Wärmeleitplanung auswirkt. Die Kartendarstellung der Detailsseite beinhaltet verschiedenen Ebenen, zwischen denen gewechselt werden kann. Dazu gehört die Ebene der Wärmebedarfe für die gesamte Stadt sowie die Ebene der Szenariodaten. Auf dieser Ebene wird nur das geplante Gebiet mit dem Wärmebedarf angezeigt. Die Auswahl der Kartenebene bietet die Möglichkeit, den Szenarioplan in den räumlichen Kontext einordnen zu können. Zusätzlich wird der zeitliche Verlauf der Maßnahmenauswirkungen angezeigt. Für den Gesamtverlauf des Szenarioplans wird ein von der jeweiligen Kommune erstellter Verlaufsplan der Einsparungen von CO₂-Emissionen als Trendszenario angezeigt. Die einzelnen Maßnahmen des Maßnahmen szenarios werden für die geplanten Zeiträume aufsummiert und auf das Trendszenario angerechnet. Die so entstehende Kurve wird als Liniendiagramm zusammen mit dem Trendszenario angezeigt, um einen Vergleich zwischen den Szenarien zu schaffen.

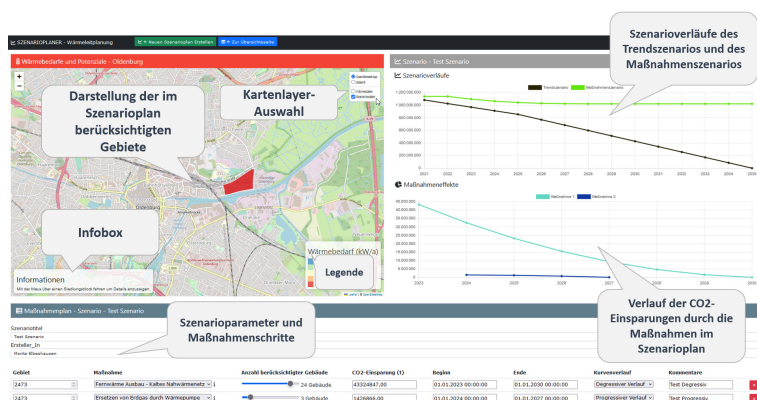


Abb. 5: Detaillierte Darstellung eines Szenarios

Zusätzlich zum Maßnahmenszenario werden die einzelnen Maßnahmeneffekte visualisiert, um die einzelnen Verläufe von CO₂-Einsparungen anzuzeigen und Aufschluss über die zu erwartenden Effekte der einzelnen Maßnahmen und deren zeitlichen Verlauf zu liefern.

3.3 Evaluation am Beispiel der Stadt Oldenburg

Die Einbeziehung und Befragung von Proband_innen soll die Eignung des Konzepts feststellen und kurzfristig Nachbesserungen erlauben (Dransch et al., 2019). Dabei war das Ziel ein erstes lauffähiges Artefakt einer Anwendung, zur Darstellung der Nutzbarkeit entsprechend einem Prototypmuster zu erstellen (Sonnenberg & vom Brocke, 2012, p. 82). Um den Prototyp zu bewerten haben zwei Proband_innen an einer Evaluation teilgenommen, welche die Praktikabilität der Software prüfen soll um zu untersuchen wie die GeoVisual Analytics Anwendung in einer Aufgabenstellung mit realen Testpersonen abschneidet. Dabei soll unter anderem die Fähigkeit zur Lösung eines gestellten Problems mithilfe des Prototyps analysiert werden (Sonnenberg & vom Brocke, 2012, p. 82). Das Ziel dieses Evaluationsschrittes ist es, Probleme zu identifizieren, welche im nächsten Entwicklungsschritt gelöst werden müssen. (Sonnenberg & vom Brocke, 2012). Die Stadt Oldenburg ist als Oberzentrum zukünftig verpflichtet, eine kommunale Wärmeplanung durchzuführen (Nds. GVBl. Nr. 21/2022, p. 391), und eignet sich daher als Evaluationsgebiet für den Prototyp. Die Proband_innen waren Mitarbeiter des Klimaschutzmanagements der Stadt, die als Akteur innerhalb der Wärmeleitplanung auftreten. Die Oberfläche und Funktionalitäten wurden als intuitiv bedienbar, nicht zu überladen und mit nachvollziehbarem Umfang beschrieben. Die räumliche Orientierung und Aufbereitung der Parameter wie Wärmebedarfen durch die Kartendarstellung ist sehr positiv aufgefallen und war laut der Proband_innen ein zentraler Bestandteil, der zum Verständnis des Prototyps beitrug. Problematisch gesehen wurde die hohe Einstiegsschwelle für Anwender_innen ohne großes Expert_innenwissen beschrieben, die nicht ausreichend mit der Wärmeleitplanung vertraut sind, da es den Proband_innen an Beispielmaßnahmen mit möglichen Zeithorizonten und Ausprägungen fehlte. Besonders positiv wurde die Veränderbarkeit der Maßnahmen und Szenariopläne bewertet. Der Fokus des Prototyps auf die Maßnahmenauswahl wurde von den Proband_innen sehr positiv eingeschätzt. Er bietet laut der Proband_innen eine gute Diskussionsgrundlage für die Entwicklung konkreter Zielvorstellungen. Dabei wurde vor allem das berechnete technische Potenzial zur CO₂-Einsparung als interessanter Parameter genannt. Es wurde außerdem die Notwendigkeit der Diskussion der Szenariopläne mit weiteren Expert_innen im Rahmen des Multiakteursprozesses aufgeworfen. Insgesamt wurde das realisierte Konzept positiv aufgenommen und großes Interesse an der Entwicklung von Werkzeugen zur Entscheidungsunterstützung in der Wärmeleitplanung bekundet. Zudem wurde die Möglichkeit der Einflussnahme auf die Szenarioplanung im Kontext der Wärmeleitplanung sehr positiv wahrgenommen. Laut Sonnenberg & vom Brocke 2012 lässt sich daher sagen, dass der Prototyp entsprechend des Evaluationsmusters für die vorgesehene Aufgabe als zweckmäßig bewertet werden kann, jedoch Verbesserungsbedarf im Hinblick auf den Umfang der visualisierten Inhalte sowie der Unterstützung des Multiakteursprozesses aufweist. Für die weitere Evaluation in folgenden Iterationen sollte dies genutzt werden, um die Aussagen mit weiteren Probanden und neuen Inhalten zu validieren.

4 Fazit und Ausblick

Für die erfolgreiche Umsetzung der Wärmewende müssen Wärmewendestrategien für Kommunen entwickelt und mit konkreten Maßnahmen umgesetzt werden. Es konnte gezeigt werden, dass eine geodatenbasierte intuitive Szenarioplanung ein hilfreiches Instrument in diesem Prozess sein kann, da damit eine Diskussionsgrundlage geschaffen wird, mit der Akteure innen der Wärmeleitplanung konkrete Zielvorstellungen entwickeln können. Zudem wurden konkrete Verbesserungspotenziale identifiziert. Wesentlich für die Nutzbarkeit sind noch zu hinterlegende Beispielsmaßnahmen, was auch vor dem Hintergrund der aktuellen Gesetzgebung zur Kommunalen Wärmeplanung relevant ist, die die Formulierung konkreter Maßnahmen erfordert (BMWK, 2022 b). Zudem wurde die Anforderung identifiziert, die im Rahmen der Wärmeleitplanung erforderlichen Diskussionsprozesse noch umfassender abzubilden, um den zentralen Gedanken der Wärmeleitplanung als Multiakteursprozess zu forcieren (Riechel & Walter, 2021).

Danksagung

Die Inhalte sind im vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 03SF0624J geförderten Projekt „Wärmewende Nordwest: Digitalisierung zur Umsetzung von Wärmewende- und Mehrwertanwendungen für Gebäude, Campus, Quartiere und Kommunen im Nordwesten“ entstanden.

Literatur

- acatech (Ed.) (2012). *Technikzukunft. Vorausdenken – Erstellen – Bewerten* (acatech IMPULS). Heidelberg u. a.: Springer. Retrieved from doi:10.1007/978-3-642-34607-1.
- Andrienko, G., Andrienko, P., Jankowski, P., Keim, D., Kraak, M., MacEachren, A., & Wrobel, S. (2007). Geovisual analytics for spatial decision support: Setting the research agenda. *International Journal of Geographical Information Science*, 21, 839–887. Retrieved from doi: 10.1080/13658810701349011.
- BAFA – Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2020). *Modul 4 – Energiebezogene Optimierung von Anlagen und Prozessen – Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss, Versionsnummer 1.4*.
- BMWK (2022a). *Neues Klimaschutzgesetz Bundesregierung setzt sich ambitioniertere Ziele, Wirtschaftspolitik*. Retrieved Oct 6, 2022, from https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Infografiken/Schlaglichter/2021/10/neues-klimaschutzgesetz-download.pdf?__blob=publicationFile&v=6.
- BMWK (2022b). *Diskussionspapier des BMWK: Konzept für die Umsetzung einer flächendeckenden kommunalen Wärmeplanung als zentrales Koordinierungsinstrument für lokale, effiziente Wärmenutzung*. Retrieved Jan 2023, from https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/diskussionspapier-waermeplanung.pdf?__blob=publicationFile&v=4.
- Dransch D., Sips M., & Unger A. (2019). GeoVisual Analytics. In: M. Sester (Ed.), *Geoinformatik. Handbuch der Geodäsie*, W. Freeden & R. Rummel (Eds.) (pp. 21–44). Heidelberg: Springer Spektrum. Retrieved Jan 2023, from doi:10.1007/978-3-662-47096-1.

- Erdmann, S., Belkot, T., Friebe, F., Gravenhorst, T., & Koch, S. (2021). GIS-Analysen für eine kleinräumige multikriterielle Wärmeleitplanung. *AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik*, (7), 228–238. Retrieved from doi:10.14627/537707_024.
- Isenberg, P., Elmqvist, N., Scholtz, J., Cernea, D., Ma, K., & Hagen, H. (2011). Collaborative Visualization: Definition, Challenges, and Research Agenda. *Information Visualization*, July 29, 2011, 310–326. Retrieved from doi:10.1177/1473871611412817.
- KEA-BW – KEA Klimaschutz und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH (Ed.) (2020). *Kommunale Wärmeplanung – Handlungsleitfaden*. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg von der KEA – Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH (KEA-BW). Stuttgart.
- Kienzler, V., & Peters, M. (2022). Kommunale Wärmeplanung als Beitrag zur systematischen Erschließung von Klimaschutz im Wärmemarkt. In: U. Sahling (Ed.), *Klimaschutz und Energiewende in Deutschland* (pp. 215 – 225). Heidelberg: Springer Spektrum.
- Ködding, P., & Dumitrescu, R. (2022). Szenario-Technik mit digitalen Technologien. In: E. A. Hartmann (Ed.), *Digitalisierung souverän gestalten II*. Berlin/Heidelberg: Springer Vieweg. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-662-64408-9_10.
- Loßner, M., Böttger, D., & Bruckner, T. (2015). Wirtschaftliches Potential virtueller Kraftwerke im zukünftigen Energiemarkt – Eine szenariobasierte und modellgestützte Analyse. *Zeitschrift Für Energiewirtschaft*, 39(2), 115–132. Retrieved from doi:10.1007/s12398-015-0153-4.
- Lundblad P., & Jern M. (2013). Geovisual Analytics and Storytelling Using HTML5. In: *17th International Conference on Information Visualisation* (pp. 263–271). Retrieved from doi:10.1109/IV.2013.35.
- Masini, E., & Vasquez, J. (2000). Scenarios as Seen from a Human and Social Perspective. *Technological Forecasting & Social Change*, 65(1), 49–66.
- Mauthner, F., Leusbrock, I., Heimrath, R., Nageler, P., Biberacher, M., & Schardinger, I. (2018). Räumliche Energieplanung in Städten und Kommunen. *Transforming Cities*, (1), 44–48.
- Riechel, R., & Walter, J. (2021). *Kurzgutachten Kommunale Wärmeplanung*. Retrieved Jan 2023, from https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_12-2022_kurzgutachten_kommunale_waermeplanung.pdf.
- Roth, A., Gaete M., Carlos D., Guéret, A., Kirchem, D., Kittel, M., & Schill, W. (2022). Wärmepumpen statt Erdgasheizungen: Umstieg durch Ausbau der Solarenergie unterstützen. *DIW-Wochenbericht*, (22), 311–320.
- Schnabel, M., Gravenhorst, T., Belkot, T., Friebe, F., Erdmann, S., & Koch, S. (2022): Visual Data Discovery im Kontext der geodatenbasierten Wärmeleitplanung. *gis.Science*, (2).
- Sonnenberg, C., & vom Brocke, J. (2012). Evaluation Patterns for Design Science Research Artefacts. In: M. Helfert & B. Donnellan (Eds.), *Proceedings of the European Design Science Symposium (EDSS) 2011* (Vol. 286, pp. 71–83). Berlin/Heidelberg: Springer.
- Stadt Oldenburg (2018). *Entwicklung von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen der Stadt Oldenburg von 1990 bis 2015 (4. Fortschreibung)* – Bericht 2018. Oldenburg: Amt für Umweltschutz und Bauordnung Fachdienst Umweltmanagement.