

Fokusthema 6:

Planung integrierter Energiekonzepte

Klimaneutrale Quartiere und Areale zeichnen sich durch ein integriertes Energiekonzept aus, das die Kopplung der Sektoren Strom, Wärme, Kälte und Mobilität berücksichtigt. Dies ist die Voraussetzung für ein effizientes Energieversorgungssystem, das die Synergiepotenziale zwischen den Sektoren nutzt und einen hohen Anteil lokal erzeugter erneuerbarer Energiequellen am Energieverbrauch ermöglicht. Die Ziele dabei sind die weitgehende Erschließung der nachhaltigen lokalen Energiequellen des Quartiers und deren bestmögliche Integration in die Quartiersversorgung bei gleichzeitiger Minimierung der Belastungen für das übergeordnete Energiesystem. Dabei sollen die Energiekosten möglichst niedrig und eine hohe Versorgungssicherheit sich gewährleisten. Das erfordert eine integrierte Optimierung aller Sektoren statt der bisher üblichen isolierten sektorspezifischen Planung. Die Anforderungen an die Planung eines integrierten Quartiersenergiekonzepts werden im Folgenden erläutert und die notwendigen Entwicklungsschritte dargestellt. Die Vorgehensweise lässt sich sowohl auf die Entwicklung von Neubauquartieren als auch auf die Sanierung von Bestandsquartieren anwenden.

Dieses Factsheet beschreibt die optimierte Planung eines Energiekonzepts, bei dem die Energieversorgung des Quartiers oder Areals in der Nutzungsphase klimaneutral erfolgen soll. Alternativ dazu könnte auch der gesamte Lebenszyklus eines Quartiers bilanziert werden, das heißt zusätzlich auch die graue Energie erfasst werden, die für Errichtung, Instandhaltung, Renovierung, Abriss und Recycling oder Deponierung der Baustoffe benötigt wird. Da die Lebenszyklusbetrachtung bislang jedoch unüblich ist und bereits die integrierte Energiesystembetrachtung eine

Herausforderung für die Planer darstellt, wird auf die graue Energie im Weiteren nicht eingegangen.

Erhebung von Energiebedarfen

Grundlage für die Erstellung von Quartiersenergiekonzepten ist eine detaillierte Analyse der zu erwartenden Energiebedarfe. Sie umfasst die zu erwartenden Nutzenergiebedarfe für alle Bedarfssektoren im Endausbauzustand des Quartiers, die vom Energieversorgungssystem klimaneutral gedeckt werden müssen. Die Nutzenergie ist beispielsweise die Wärme zur Beheizung von Räumen, der Wärmeinhalt des Trinkwarmwassers, das Licht oder die mechanische Energie, die den Kompressor des Kühlschranks antreibt. Im Gegensatz dazu ist die Endenergie die Energie, die an die Endverbraucherinnen und -verbraucher geliefert wird, also beispielsweise Strom, Fernwärme, Biomasse oder Erdgas. Die Endenergie ist die Nutzenergie plus die Umwandlungs-, Verteil- und Speicherverluste zur Bereitstellung der Nutzenergie. Obwohl für eine Optimierung des Energiesystems üblicherweise nur die aggregierten Lastkurven für Strom, Wärme und Kälte erforderlich sind, ist es sinnvoll, die Nutzenergiebedarfe der einzelnen Sektoren nach Anwendungsfeldern (z. B. Privatbedarf und Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD), Industrie- oder Wohngebäude, gewerbliche Bauten, Mobilität) getrennt zu erheben und zu analysieren.

Relevant für das Design des klimaneutralen Quartiersenergiesystems ist nicht der aktuelle Energieverbrauch (soweit vorhanden), sondern der erwartete Energiebedarf nach dem Endausbau des Quartiers. Hierfür belastbare Annahmen zu treffen, ist eine Herausforderung, da üblicherweise Unsicherheiten bestehen bezüglich der erwarteten Nutzung des Quartiers (z. B. Anzahl Bewohnerinnen und Bewohner und Arbeitsplätze, Größe der Wohn-,

Dienstleistungs- und Industrieflächen, Anteile der Wohn-, GHD- und Industrienutzung, Anteile der Mobilität mit Elektrofahrzeugen und Fahrzeugen mit grünen Gasen) wie auch der real erreichbaren Effizienz und Suffizienz der verschiedenen technischen Systeme im Quartier (z. B. in Bezug auf Gebäudedämmung, Energiebedarf von GHD und Industrie, erwartetes Mobilitätsverhalten).

Bei der Planung wird das Energiesystem so konfiguriert, dass der ermittelte Energiebedarf klimaneutral gedeckt werden kann. Allerdings ist dabei zu bedenken, dass insbesondere bei der Wärmedämmung von Gebäuden das Maß der Gebäudeeffizienz auch von der Verfügbarkeit der klimaneutralen Energiequellen abhängen sollte. Wenn beispielsweise eine mögliche Erhöhung der Gebäudeeffizienz aufwendiger ist als eine verstärkte Nutzung von klimaneutralen Energiequellen (erneuerbare Energien oder Abwärme), ist eine Erhöhung der Gebäudeeffizienz über den gesetzlichen Mindeststandard hinaus möglicherweise nicht sinnvoll. Dabei geht es nicht darum, die Effizienz zu vernachlässigen, sondern um die Entscheidung, ob eine hohe oder eine sehr hohe Gebäudeeffizienz (z. B. der Passivhausstandard) realisiert wird. Voraussetzung ist allerdings, dass genügend klimaneutrale Energiequellen zur Verfügung stehen. Es ist deshalb ratsam, mehrere Energiebedarfsszenarien zu definieren, in denen die verschiedenen Parameter (z. B. Anzahl Bewohnerinnen und Bewohner, Effizienzstandards) variiert werden, was leicht möglich ist, wenn die Bedarfe nach Anwendungen differenziert erhoben werden.

Zeitliche Planung des Energiesystems – Lastprofile

Aufgrund der Fluktuation von Solar- und Windenergie, die künftig den größten Teil zur klimaneutralen Energieversorgung beitragen werden, da sie in Deutschland die größten Potenziale aufweisen, reicht es nicht aus, das Energiesystem auf Basis von Jahres- oder Monatswerten zu planen. Die hohe Variabilität der Erzeugung von Solar- und Windenergie im Tagesverlauf und im saisonalen Verlauf macht die Berechnung des Energiesystems in Stundenauflösung für ein ganzes Jahr erforderlich (also für alle 8.760 Stunden des Jahres). Dann können sowohl die typischen Tagesschwankungen der Solarenergie als auch die typischen jahreszeitlichen Schwankungen der Solar- und Windenergie berücksichtigt werden. Dabei ergänzen sich in Mitteleuropa die beiden Energiequellen gut, da der Schwerpunkt der Solarenergieerzeugung im Sommerhalbjahr und der der Windenergieerzeugung im Winterhalbjahr liegt. Eine zeitlich noch feinere Auflösung ist für die Energiesystemplanung nicht notwendig, da die Unsicherheiten in der Prognose von Bedarf und Erzeugung keine genaueren Ergebnisse zulassen würden und die Integration von Batterien und Wärmespeichern in das Energiesystem künftig Schwankungen im Stundenmaßstab (bis zum Tagesmaßstab) ausgleichen wird.

Bei der Ermittlung der künftig zu erwartenden Strombedarfe wird typischerweise auf Standardlastprofile zurückgegriffen. Dabei werden die Lastprofile entsprechend den Nutzungsarten der Gebäude (Wohnen, GHD, Industrie), dem Einsatz von Elektromobilität und gegebenenfalls sonstigen Bedarfen wie Straßenbeleuchtung ermittelt und entsprechend kombiniert. Die Skalierung der einzelnen Profile erfolgt meist ausgehend von heutigen spezifischen Bedarfen pro Person oder pro Quadratmeter Nutz- oder Wohnfläche unter Berücksichtigung der erwarteten Effizienzsteigerung in diesem Sektor bzw. der Anwendung.

Die Lastzeitreihen für die Wärmebedarfe für Raumwärme hängen von der erwarteten Gebäudeeffizienz und dem Klima am jeweiligen Standort ab. Sie lassen sich mit entsprechender Software bei Kenntnis der Gebäudekubatur und der Gebäudeparameter berechnen. Der Trinkwarmwasserbedarf hängt von der Nutzung der Gebäude und der Zahl der Nutzerinnen und Nutzer ab. Für reine Wohnquartiere sind die Prognosen der Wärmebedarfe relativ gut berechenbar, bei Gewerbe- und Industriegebieten bzw. Mischgebieten gibt es üblicherweise eine große Unsicherheit, da der Prozesswärmebedarf stark von den künftig ansässigen Branchen und ihren wirtschaftlichen Tätigkeiten abhängt. Welche Unternehmen sich in einem Quartier ansiedeln und wie ihre wirtschaftliche Entwicklung und damit verbunden der Prozesswärmebedarf aussehen werden, lässt sich sehr schwer prognostizieren, da dieser stark auch von Produktionsveränderungen und Effizienzsteigerungen abhängt. Somit können nur grobe Annahmen getroffen und es kann nur auf typische Lastprofile zurückgegriffen werden, die entsprechend anzupassen sind.

Die Wärmelastprofile sind zusätzlich noch nach Temperaturniveaus zu unterscheiden. So reicht in Neubauten mit Flächenheizungen eine Vorlauftemperatur für die Raumheizung von 40 °C üblicherweise aus. Bei dieser Temperatur arbeitet eine Wärmepumpe deutlich effizienter als zum Beispiel bei 60 °C Vorlauftemperatur und auch die Bereitstellung von Wärme aus erneuerbaren Energien wie der Solarthermie kann wesentlich effizienter erfolgen. Außerdem stehen bei niedrigeren Temperaturen meist mehr Abwärmequellen zur Verfügung. Von den Temperaturniveaus hängen die möglichen Wärmequellen und die Wärmeinfrastrukturvarianten ab, die entsprechend zu untersuchen und zu vergleichen sind. So kann ein Nahwärmenetz entweder mit üblicher Vorlauftemperatur von etwa 70 °C bis 90 °C, als Niedertemperaturnetz mit ca. 40 °C oder als sogenanntes kaltes Wärmenetz mit Vorlauftemperaturen zwischen 10 °C und 20 °C betrieben werden, wobei in den beiden letzteren Fällen dezentrale Wärmepumpen erforderlich sind, um die notwendigen Temperaturniveaus für das Trinkwarmwasser und im letzten Fall auch für die Raumwärme zur Verfügung zu stellen.

Bei der Sanierung von Bestandsgebäuden kann oftmals nicht das gleiche Effizienzniveau wie bei Neubauten erreicht werden und vielfach weisen die Gebäude in diesen Quartieren dann auch unterschiedliche Effizienzen und somit heterogene Temperaturanforderungen auf, die im Energiekonzept jeweils adressiert werden müssen. Folglich ist bei der Erhebung der Energiebedarfe eine Klassifizierung der Gebäude nach Art bzw. Charakteristik der Energiebedarfe (z. B. notwendige Vorlauftemperaturen) vorzunehmen. Bei dieser Klassifizierung können neben thermischen Unterscheidungen auch weitere Unterteilungen bezüglich anderer Energiearten (z. B. Elektrizität) notwendig werden (beispielsweise aufgrund unterschiedlicher Stromlastprofile und damit einhergehender Spitzenlasten verschiedener Gebäudegruppen), die es im Einzelfall zu analysieren und umzusetzen gilt.

Die Ermittlung der Stromlastzeitreihen für die Beladung von Elektrofahrzeugen bedarf der Abschätzung der Anzahl der im Quartier erwarteten E-Fahrzeuge, ihrer Fahrleistungen, der Ladeinfrastruktur und des Ladeverhaltens. Zu berücksichtigen ist dabei, dass E-Fahrzeuge künftig möglicherweise durch kontrolliertes Laden oder durch bidirektionales Laden, bei dem die angeschlossenen Fahrzeuge einen Teil ihrer Batterieladung bei Bedarf auch dem Stromnetz zur Verfügung stellen können, sehr

flexible Lastprofile aufweisen werden. Die Prognosen der verschiedenen Parameter weisen zwar große Unsicherheiten auf, allerdings kann davon ausgegangen werden, dass Unsicherheiten in Bezug auf die zeitliche Verteilung des Strombedarfs im Zeitmaßstab von wenigen Stunden künftig durch den zunehmenden Einsatz von dezentralen Speichern ausgeglichen werden und somit für das Design des Energiesystems unproblematisch sind. Kritisch ist hier also nicht das Profil der Lastkurven, sondern eine belastbare Abschätzung des Tagesenergiebedarfs.

Weitere Lastzeitreihen, etwa Klimakälte, insofern sie nicht bereits im Strombedarf aufgrund der Nutzung von Kompressionskältemaschinen enthalten ist, sowie zum Beispiel für Wasserstoff zur Betankung von Wasserstofffahrzeugen stellen Spezialfälle dar und müssen jeweils für den spezifischen Fall ermittelt werden.

Üblicherweise werden die Nutzenergiebedarfe (z. B. Raumwärme und der Wärmeinhalt des Trinkwarmwassers) ermittelt. Ist dies nicht möglich, können auch die Endenergiebedarfe erfasst werden. Allerdings können dann möglicherweise technische Lösungen in der Systemoptimierung nicht mehr berücksichtigt und verglichen werden. Wichtig ist dabei, dass die Umwandlungs-, Verteil- und Speicherverluste in die Systembetrachtung eingehen.

Abbildung 1 stellt beispielhaft das Ergebnis der Erhebung der Nutzenergiebedarfe des Konversionsgebiets Patrick-Henry-

Village in Heidelberg dar, für das ein Masterplan erarbeitet wurde. In einem kleineren Teil der ehemaligen Kaserne sind noch Bestandsbauten vorhanden, die saniert werden, der Großteil des Geländes wird allerdings neu bebaut. Da in der Region auch die Bereitstellung von Wasserstoff für die Industrie vorgesehen ist, ist Wasserstoff auch im Mobilitätssektor eingeplant (auch wenn die wasserstoffbasierte Mobilität teurer ist als die Elektromobilität). Die Jahresenergiebedarfe sind nach Sektoren und Energieträger sowie nach Neubauten und Bestandsbauten aufgeteilt. Eine detailliertere Unterteilung war nicht erforderlich. Da in diesem Projekt in der Bilanzierung der Klimaneutralität auch die graue Energie zur Erstellung bzw. Sanierung der Gebäude berücksichtigt wurde, ist die graue Energie für die gewählte Ausführung (60 Prozent der Neubauten im Stahlbeton-Massivbau und 40 Prozent im Holzbau sowie die graue Energie zur Sanierung der Bestandsgebäude) ebenfalls dargestellt. Um einen Vergleich der grauen Energie mit der Betriebsenergie in der Nutzungsphase zu ermöglichen, wurde die graue Energie durch die Nutzungsdauer der Gebäude geteilt, sodass auch die Angaben für die graue Energie Jahreswerte darstellen. Da die Unsicherheiten bei der Quantifizierung der Energiebedarfe signifikant sein und einen deutlichen Einfluss auf das Energieversorgungskonzept haben können, empfiehlt sich die Abschätzung der Unsicherheiten der einzelnen Annahmen und deren Abbildung in mehreren Energiebedarfsszenarien. Ein üblicher Ansatz stellt die Definition von drei Szenarien mit mittleren, minimalen und maximalen Energiebedarfen dar



Abbildung 1: Erwartete jährliche Energiebedarfe des Heidelberger Quartiers Patrick-Henry-Village¹, Angabe der Bedarfswerte in der Nutzungsphase differenziert nach Energiesektoren und Bestands- und Neubauten sowie der auf Jahresscheiben heruntergerechneten grauen Energie, die in den Gebäuden gebunden ist (Quelle: KCAP Architects&Planners et al. (2019): Dynamischer Masterplan PHVision mit vertiefenden Studien (Energieplanung: Fraunhofer ISE), Heidelberg)

Ermittlung der verfügbaren klimaneutralen Energiequellen

Im zweiten Schritt sind die verfügbaren klimaneutralen Energiequellen zu ermitteln, auf jeden Fall diejenigen innerhalb des Quartiersgeländes und abhängig davon, wie die Klimaneutralität definiert ist, auch beispielsweise die Wind- und Biomassepotenziale aus der Region oder dem Bundesland. Diese grundlegende Entscheidung kann einen großen Einfluss darauf haben, ob das Ziel der Klimaneutralität überhaupt erreicht werden kann, da bei urbanen Quartieren mit einer hohen Energiebedarfsdichte die lokal vorhandenen Erneuerbare-Energien-Potenziale üblicherweise nicht zur Vollversorgung ausreichen. Weiter kann diese Festlegung auch einen großen Einfluss auf die Struktur des Energiesystems haben. Denn wenn nur interne Energiequellen genutzt werden können, die in den meisten Fällen hauptsächlich aus Solarenergie bestehen, ergeben sich tagsüber im Sommerhalbjahr hohe Erzeugungsspitzen, die exportiert werden müssen, und im Winterhalbjahr ein hoher Importbedarf, insbesondere im kalten Kernwinter mit einem hohen Wärmebedarf. Da dies eine große Belastung für das übergelagerte Energiesystem darstellt,

wird ein Energiesystem, das auch Wind- und Biomassepotenziale aus der Region mit berücksichtigt, eine Verteilung auf die verschiedenen Energiequellen anstreben und die Belastung für das übergelagerte Energiesystem reduzieren.

Für die Ermittlung der Solarpotenziale ist eine detaillierte Analyse der Dach- und Fassadenflächen auf und an den Gebäuden sowie der Freiflächen erforderlich. Dabei sind neben dem Abzug von ungeeigneten Flächen zum Beispiel für technische Aufbauten oder Gauben auch andere Dachnutzungen wie Dachterrassen und Gründächer zu berücksichtigen. Bei Gründächern, die zunehmend von Kommunen wegen ihrer Retentionsfunktion vorgeschrieben werden, um die Entwässerungssysteme bei Starkregenereignissen zu entlasten, schließt sich die Kombination mit Solaranlagen allerdings nicht aus. In Kaiserslautern wurde beispielsweise im Bebauungsplan für das Konversionsgelände Pfaff-Quartier eine Pflicht zur Installation von Solarstromanlagen in Kombination mit externen Gründächern aufgenommen.¹ Allerdings können auf einer Gründachfläche weniger Solarmodule installiert werden als auf einem sonstigen Flachdach. Weiter ist zu berücksichtigen, dass alternativ zur Solarstromerzeugung auf

¹ <https://www.nachrichten-kl.de/2020/05/29/enstadtppaff-innovatives-energie-und-mobilitaetskonzept-mit-bundesweiter-strahlkraft/>

einem Teil der Flächen auch Solarwärmanlagen installiert werden können.

Erneuerbare-Energien-Potenziale im urbanen Raum

Potenziale an Biomasse, Wasserkraft und Windkraft sind üblicherweise in Quartieren nur in geringem Umfang oder gar nicht vorhanden. Kleinwindkraftanlagen können zwar auf Gebäuden installiert werden, doch zeigt die Praxis, dass üblicherweise die Windgeschwindigkeit in den Städten nicht ausreicht, um nennenswerte Beiträge zur Stromerzeugung zu liefern, außerdem sind die Stromgestehungskosten dieser Anlagen relativ hoch.

Die Geothermie hat ein großes Potenzial in urbanen Räumen, es ist allerdings schwer bewertbar. Zu unterscheiden ist die oberflächennahe Geothermie bis zu 400 Metern Tiefe, die vor allem als Primärenergiequelle für Wärmepumpen dient, und die Tiefengeothermie von mehr als 400 Metern Tiefe, bei der warmes oder heißes Wasser aus Schichten von mehreren Tausend Metern Tiefe gefördert wird, das für Heizzwecke oder zur Stromerzeugung genutzt werden kann. Die Herausforderungen liegen einerseits im Bohrrisiko, da für die Bohrung relativ hohe Kosten anfallen und es keine Sicherheit gibt, was gefunden wird, das heißt die möglichen Fördermengen und Temperaturen. Weiter gibt es vielfach Akzeptanzprobleme, da in manchen Projekten leichte Erdbeben durch Geothermie-Bohrungen ausgelöst wurden. Allerdings zeigen die Stadtwerke München mit dem systematischen Ausbau der Geothermie-Nutzung, dass sie einen wichtigen Beitrag zu einer klimaneutralen Energieversorgung von Kommunen leisten kann.²

Auch die Abwärme von Industrie- oder Gewerbebetrieben kann einen wichtigen Beitrag zur klimaneutralen Energieversorgung liefern. Hierzu sind die Potenziale zu ermitteln, wobei insbesondere die lieferbaren Wärmemengen, die vorhandenen Temperaturniveaus, die Bereitstellungsprofile (fällt die Abwärme nur an Werktagen und tagsüber oder auch an Wochenenden und nachts an) und die langfristige Verfügbarkeit zu prüfen sind. Vom Temperaturniveau hängen dann auch die möglichen technischen Lösungen ab. Bei über 40 °C reicht das Temperaturniveau beispielsweise aus, um die Raumwärme bereitzustellen, bei niedrigeren Temperaturen dient die Abwärme als Primärenergiequelle für die Wärmepumpen.

Potenziale in Region und Bundesland

Werden entsprechend der Definition der Klimaneutralität auch erneuerbare Energien aus der Region oder dem Bundesland bezogen, sind auch diese Potenziale zu ermitteln. Es empfiehlt sich hierbei, nur die Potenziale zu berücksichtigen, die nicht möglicherweise schon von anderen Nutzern belegt sind. Dies kann beispielsweise erfolgen, indem nur Wind- und Biomassepotenziale betrachtet werden, die ja vornehmlich in ländlichen Regionen vorhanden sind, in denen es keine direkte Nutzungsmöglichkeit vor Ort gibt. Die Wind- und Biomassepotenziale aus einer bestimmten Region oder dem Bundesland, in dem sich das Quartier befindet, können somit den Kommunen bzw. Quartieren in der Region bzw. dem Bundesland zugeordnet werden. Dabei könnte eine bevölkerungsproportionale Aufteilung eine Mit diesen Eingangsdaten berechnet KomMod die Kombination von Energiequellen, Erzeugungs- und Umwandlungsanlagen,

faire Lösung sein, das heißt, wenn in dem geplanten Quartier zum Beispiel 1,3 Prozent der Bevölkerung der Region wohnen, dann könnten dem Quartier 1,3 Prozent des Windpotenzials dieser Region zugeordnet werden.

Planung integrierter, sektorgekoppelter Energiesysteme

Alle Studien zeigen, dass eine klimaneutrale Energieversorgung nur erreichbar ist, wenn sowohl die Wärmeversorgung als auch die Mobilität künftig hauptsächlich strombasiert erfolgen. Dabei ist das Ziel nicht eine vollständige Elektrifizierung, sondern ein optimaler Anteil, der je nach Quartier unterschiedlich hoch sein kann. Vor diesem Hintergrund ist eine gekoppelte Betrachtung der Sektoren Strom, Wärme, Kälte und Mobilität bei der Planung eines klimaneutralen Energiesystems unerlässlich.

Neue Planungswerkzeuge sind gefragt

In einem Quartiersenergiesystem werden nicht alle Energiequellen und Komponenten zur Umwandlung und Speicherung von Energie genutzt, sondern in der Planung wird die optimale Kombination von Energiequellen und Komponenten unter den gegebenen Rahmenbedingungen berechnet. Die fundierte Energiesystemoptimierung muss somit nicht nur zeitlich hochaufgelöst in Stundenschritten, sondern auch sektorgekoppelt erfolgen. Das heißt, dass beispielsweise die Optimierung der Wärmeversorgung gekoppelt mit der Optimierung der Stromversorgung stattfindet, da der Einsatz von Blockheizkraftwerken, Wärmepumpen, Solarstrom- oder Solarwärmanlagen sowie Strom- oder Wärmespeichern jeweils Einfluss auf beide Sektoren hat. Für diese Optimierungsrechnungen werden neue Planungswerkzeuge benötigt. Solche Werkzeuge wurden in mehreren Forschungsinstituten entwickelt, stehen den Fachplanern bislang jedoch noch nicht zur Verfügung, da ihr Einsatz eine entsprechende Softwareumgebung und ihre Bedienung Expertenwissen erfordert. Allerdings bieten Forschungsinstitute die Energiekonzepterstellung für Städte und Quartiere damit an. Beispielsweise wurde am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE ein Werkzeug mit dem Namen KomMod³ entwickelt, das seit dem Jahr 2015 bei der Energiesystemoptimierung von klimaneutralen Energiesystemen von Kommunen und Quartieren in mehr als 20 Projekten in Deutschland und Europa sowie weltweit eingesetzt wurde.

Zur Energiesystemoptimierung mit KomMod werden zuerst die Energiebedarfe als stündlich aufgelöste Lastkurven für ein Jahr differenziert nach den Sektoren Strom, Wärme und Kälte sowie gegebenenfalls stofflichen Energieträgern (z. B. Wasserstoff) für den heutigen Bedarf recherchiert und daraus wird der künftige Bedarf prognostiziert. Dann werden die Energieerzeugungspotenziale im Quartier und gegebenenfalls außerhalb ermittelt, die als direkte Versorgungsquellen dem Quartier zur Verfügung stehen. Die verfügbaren Umwandlungsanlagen und Speicher werden mit Kosten, technischen Parametern und maximalen Kapazitäten hinterlegt und die verschiedenen Energieströme gekoppelt. Abschließend wird noch definiert, ob bzw. in welchem Umfang und zu welchen Preisen Strom, Wärme und stoffliche Energieträger importiert und exportiert werden können.

Energiespeichern und Energieimporten, mit denen die Klimaneutralität am kostengünstigsten im Gesamtsystem erreicht

² <https://www.swm.de/energiewende/oekostrom-erzeugung>

³ Siehe Buchkapitel „Klimaneutrale kommunale Energiesysteme mit dem Modell KomMod optimieren“ in: Coors, V. (Hrsg.) (2021): Urbane Energiesysteme und

Ressourceneffizienz – Ensource, Fraunhofer Verlag, Stuttgart, <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-621593.html> KomMod steht für „Kommunales Energiesystemmodell“.

werden kann. Dabei ist für jede Stunde im Jahr die Energieversorgung durch das Energiesystem gesichert. Die Optimierung umfasst sowohl die Energieversorgungsstrukturen als auch den Betrieb der Anlagen. Als Ergebnis werden die notwendigen Kapazitäten der verschiedenen Anlagen und die Energiemengen ausgegeben, die diese jeweils erzeugen, umwandeln oder speichern. Weiter werden die Energiemengen und die Maximalleistungen für Energieimporte und -exporte bereitgestellt. Alle Energiemengen der einzelnen Energieträger stehen als Jahresprofile in Stundenaufösung zur Verfügung, sodass der Betrieb und die Wechselwirkungen der Komponenten und Sektoren nachvollzogen werden können. Abschließend werden die Gesamtkosten wie auch die Gestehungskosten für Strom, Wärme und die anderen Energieträger bereitgestellt.

Das empfohlene Energiesystem basiert auf der Berechnung mehrerer Energieszenarien für verschiedene Bedarfsprofile und Annahmen in Bezug auf den Energieimport sowie Variationen in Bezug auf die Anteile von Photovoltaik- und Solarwärme-Anlagen.

Abbildung 2 zeigt das Ergebnis der Energiesystemoptimierung mit Berücksichtigung der Sektorkopplung am Beispiel von Frankfurt am Main. Das Ziel war die Ermittlung der Energiesystemstruktur, die eine Vollversorgung mit erneuerbaren Energien (inklusive Abfallverbrennung) möglichst unter Nutzung lokaler Ressourcen ermöglicht. Dabei wurden die Erneuerbare-Energien-Potenziale des Stadtgebiets und der Region Frankfurt-Rhein-Main wie auch Wind- und Biomassepotenziale aus dem Bundesland berücksichtigt. Zusätzlich wurde ein Import von 10 Prozent des Strombedarfs (der langfristig auch klimaneutral sein wird) zugelassen. Mit diesem Versorgungssystem kann der gesamte Energiebedarf der Stadt zu jeder Stunde des Jahres vollständig aus erneuerbaren Energien gedeckt werden.

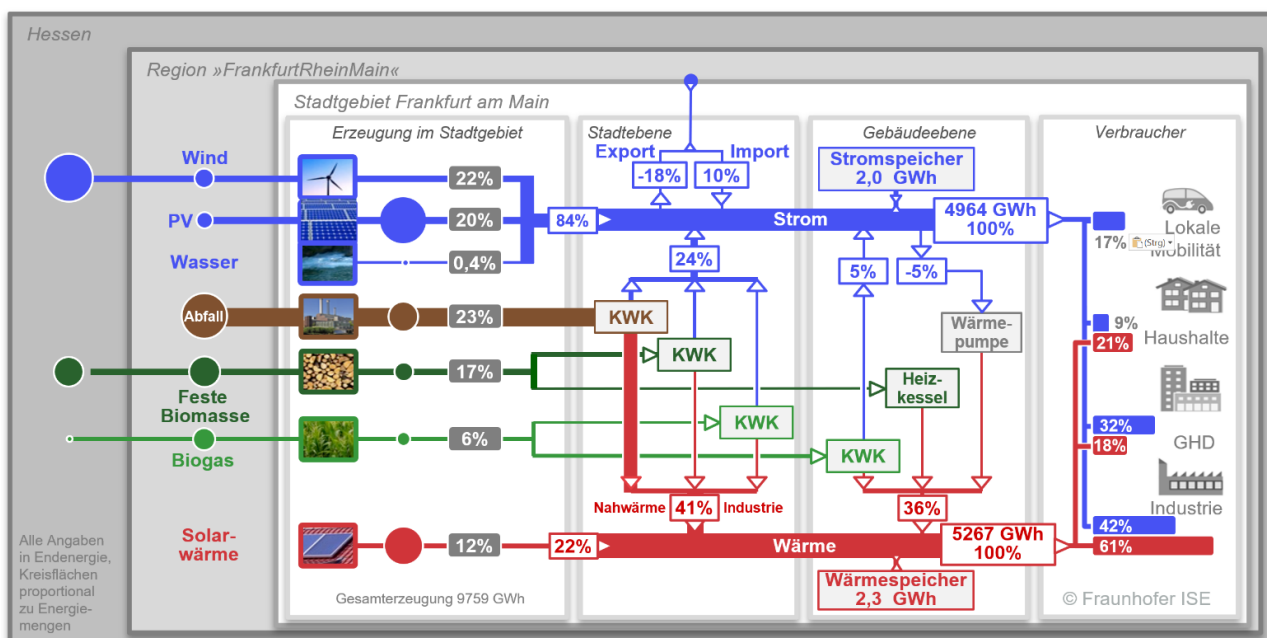


Abbildung 2: Beispielhafte Darstellung des Energieflussdiagramms eines Energiekonzepts des zukünftigen Energiesystems am Beispiel der Stadt Frankfurt am Main (Quelle: Schumacher, P. et al. (2015): Generalkonzept im Rahmen des Masterplans „100% Klimaschutz“ der Stadt Frankfurt am Main)

Fazit

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass für die Konzeption von klimaneutralen Quartiersenergiesystemen eine integrierte Planung unter Berücksichtigung der Sektorkopplung und der zeitlichen Dynamik des Energiesystems erforderlich ist, um nachhaltige und kosteneffiziente Lösungen zu finden und gleichzeitig eine hohe Versorgungssicherheit zu erreichen. Dabei ist der Einsatz von neuen Planungswerkzeugen notwendig, die den Akteuren vor Ort eine ganzheitliche Bewertung der künftigen klimaneutralen Energiesystemvarianten sowie die Berechnung von optimierten Lösungen ermöglichen.