

Schlussbericht

BMBF – Forschungsverbundvorhaben

Demonstrationsvorhaben Stadtquartier Jenfelder Au

**- Kopplung von regenerativer Energiegewinnung
mit innovativer Stadtentwässerung –**

Akronym „KREIS“

Teilprojekt: Energietechnik (Arbeitspaket 1)

Förderkennzeichen: 033L047D
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2011 bis 28.02.2015

Andrea Stübler, Dominik Bestenlehner, Harald Drück
Steinbeis Innovationszentrum Solar- und Wärmetechnik (SWT)
Pfaffenwaldring 6, 70550 Stuttgart
Tel. 0711/685-63553, Fax 0711/685-63503
E-Mail: drueck@swt-stuttgart.de

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen FKZ 033 L047 D durch den Projektträger Jülich (PTJ) gefördert. Die Autorin und die Autoren danken für diese Unterstützung und übernehmen die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Einleitung | 4 |
| 1.1 | Aufgabenstellung und Voraussetzungen des Vorhabens | 4 |
| 1.2 | Planung und Ablauf des Vorhabens..... | 6 |
| 1.3 | Stand der Wissenschaft und Technik zum Zeitpunkt der Antragstellung | 9 |
| 1.4 | Zusammenarbeit mit anderen Stellen | 9 |
| 2 | Verwendung der Zuwendung und Notwendigkeit der geleisteten Arbeit | 10 |
| 3 | Wissenschaftlich-technische Ergebnisse | 11 |
| 3.1 | Biogaserzeugung und- nutzung (TAP 1.1)..... | 11 |
| 3.2 | Wärmegewinnung aus Grundwasser (TAP 1.2)..... | 12 |
| 3.3 | Energieverbund – Konzeptentwicklung und Optimierung (TAP 1.3)..... | 14 |
| 3.3.1 | Methodik..... | 14 |
| 3.3.2 | Energiebedarf..... | 14 |
| 3.3.3 | Energieverteilung | 15 |
| 3.3.4 | Wärmerückgewinnungspotential aus Grauwasser | 15 |
| 3.3.5 | Aufbau Messstation..... | 16 |
| 3.4 | Entwicklung Betriebskonzept (TAP 1.4)..... | 17 |
| 3.4.1 | Beschreibung der untersuchten Systeme | 18 |
| 3.4.2 | Bewertung der Referenzsysteme..... | 25 |
| 3.4.3 | Optimierung Betriebsverhalten..... | 29 |
| 3.4.4 | Solarthermie-Nutzungsmodelle..... | 31 |
| 3.5 | Vernetzung der Energieinseln und Planungsempfehlungen (TAP 1.5)..... | 32 |
| 3.5.1 | Simulationsstudie Energieinseln | 32 |
| 3.5.2 | Identifikation von Energieinseln in der Jenfelder Au | 33 |
| 3.5.3 | Wärmeversorgung durch kalte Nahwärme und Solarthermie | 35 |
| 3.5.4 | Spitzenlast-Wärmeerzeuger..... | 36 |
| 3.5.5 | Vorversion Planungsempfehlungen | 36 |
| 4 | Anschlussfähigkeit und voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse | 38 |
| 5 | Projektmanagement, Zusammenarbeit und Veröffentlichungen | 39 |
| 5.1 | Projektmanagement, Federführung im AP1 | 39 |
| 5.1.1 | Berichtswesen..... | 39 |
| 5.1.2 | Projektadministration..... | 39 |
| 5.1.3 | Veröffentlichungen und Vorträge | 40 |
| 5.2 | Zusammenarbeit im Verbundprojekt | 42 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.2.1 | Projekttreffen..... | 42 |
| 5.2.2 | Veröffentlichungen | 44 |
| 6 | Zusammenfassung und Ausblick | 45 |
| 7 | Literatur..... | 47 |
| 8 | Anhang A: Vorversion Planungsempfehlungen | 50 |

1 Einleitung

Derzeit wird von der Freien und Hansestadt Hamburg auf einem ehemaligen Kasernengelände das neue Stadtquartier Jenfelder Au mit ca. 680 Wohneinheiten für etwa 2.000 Personen errichtet. Unter dem Motto „Versorgen durch Entsorgen“ wird dort ein innovatives und ganzheitliches Entwässerungs- und Energieversorgungskonzept umgesetzt. Entsprechend des stark unterschiedlichen Verschmutzungsgrades und Energieinhaltes der Abwasserteilströme Schwarzwasser, Grauwasser und Regenwasser sollen diese separat erfasst und weiterverwertet werden. Das Schwarzwasser wird mittels Vakuumtechnik konzentriert erfasst und in einer anaeroben Vergärungsanlage gemeinsam mit organischen Abfällen zu Biogas umgewandelt, aus dem anschließend mittels Kraft-Wärme-Kopplung elektrische und thermische Energie zur Versorgung des Wohngebiets erzeugt wird. Somit kann ein wesentlicher Beitrag zur Deckung des Energiebedarfs im Stadtquartier Jenfelder Au geleistet werden. Dieses Konzept, der sogenannte Hamburg Water Cycle® (HWC), wird in der Jenfelder Au zum ersten Mal in großem Maßstab umgesetzt und erprobt.

1.1 Aufgabenstellung und Voraussetzungen des Vorhabens

Das Gesamtvorhaben KREIS zielt darauf ab, in einem transdisziplinären Forschungsverbund ganzheitliche, innovative und zukunftsweisende Lösungen zu entwickeln, um die Aufgaben der Abwasserentsorgung mit der Energieversorgung optimal miteinander zu verbinden. Das Akronym KREIS steht für „Kopplung von regenerativer Energiegewinnung mit innovativer Stadtentwässerung“. Im Vorhaben KREIS wird u.a. die Strom- und Wärmeerzeugung aus Abwasser bzw. Biogas sowie die Nutzung weiterer erneuerbarer Energiequellen untersucht. Das hier beschriebene Vorhaben dient u.a. der Entwicklung innovativer Ver- und Entsorgungskonzepte und stellt die Vorbereitungsphase für die wissenschaftliche Begleitforschung des Betriebs der in der Jenfelder Au realisierten Anlagen dar.

Das Arbeitspaket 1 „Energietechnik“ nimmt im Gesamtvorhaben eine Schlüsselrolle ein, da es sich einerseits mit der Bereitstellung der im Stadtquartier Jenfelder Au benötigten elektrischen und thermischen Energie beschäftigt und andererseits den Aspekt der Entsorgung des erfassten Schwarzwassers behandelt. Die zentralen Ziele im Hinblick auf die in Zusammenhang mit dem Thema Energie zu bearbeitenden Fragestellungen sind die Entwicklung und Analyse von verschiedenen, primär auf erneuerbaren Energiequellen basierenden Energieversorgungskonzepten für Stadtquartiere. Des Weiteren sollen eine Bewertung und ein Vergleich der aus diesen Analysen resultierenden Ergebnisse mittels entsprechender Kenngrößen durchgeführt werden. Als Basis der Untersuchungen dient die Ermittlung und Zusammenstellung der erforderlichen Eingangsgrößen. Hierzu gehören beispielsweise Randbedingungen wie Wärme- und Strombedarf, da diese einen maßgeblichen Einfluss auf eine optimale Dimensionierung der verschiedenen Energiequellen haben.

Um im Hinblick auf ökologische und ökonomische Aspekte optimale Versorgungskonzepte entwickeln zu können, werden zunächst einzelne Energiequellen und Technologien analysiert. Anschließend wird mittels ausgewählter definierter Systeme untersucht, wie diese Energiequellen und Technologien in das Gesamtkonzept integriert werden können. Ein besonderer Schwerpunkt wird hierbei auf die Integration von lokal verfügbaren, erneuerbaren Energiequellen sowie lokal anfallender Reststoffe mit nutzbarem energetischen Potential gelegt. Die Untersuchungen gehen daher über den reinen Gedanken der Energieversorgung hinaus, denn sie dienen auch zur Lösungsfindung, um im Quartier anfallende Reststoffe, z.B. aus dem Entwässerungskonzept, optimal verwerten und damit auch größtenteils entsorgen zu können.

Die separate Erfassung von Abwasserteilströmen in der Jenfelder Au im Rahmen des HWC ermöglicht individuelle Verwertungswege der einzelnen Teilströme. Das erfasste Schwarzwasser enthält eine hohe Konzentration an organischen Stoffen, weshalb es sich zur Biogaserzeugung eignet. Zusätzlich wird das Vorkommen weiterer Reststoffe wie Fettwasser und Rasenschnitt ermittelt, sowie deren Eignung zur Biogaserzeugung analysiert.

Neben Schwarzwasser wird als weiterer Abwasserteilstrom Grauwasser erfasst, das nur eine geringe Konzentration an organischen Stoffen enthält, dafür jedoch eine deutlich höhere Temperatur aufweist. In diesem Zusammenhang werden daher verschiedene Systeme zur Wärmerückgewinnung aus Grauwasser untersucht, um auch auf diesem Wege Lösungen zur energetischen Effizienzsteigerung finden zu können.

Das Regenwasser wird im Gegensatz zur derzeit üblichen konventionellen Lösung nicht zentral entwässert, sondern oberflächennah versickert.

Zusätzlich bieten Grundwasservorkommen eine gute Möglichkeit, um in Verbindung mit Wärmepumpen zur Wärmeerzeugung genutzt zu werden. Hierzu werden für den Standort Jenfelder Au das Grundwasservorkommen und dessen Eignung zur Deckung des Wärmebedarfs ermittelt, sowie die hierfür erforderlichen Wärmepumpen dimensioniert.

Solarstrahlung kann entweder mittels Sonnenkollektoren zur Wärmeerzeugung oder mittels Photovoltaikmodulen direkt zur Stromerzeugung genutzt werden. Beide Technologien werden in den untersuchten Gesamtsystemen berücksichtigt und analysiert.

Die Erarbeitung von effizienten Konzepten für die Energieversorgung von ganzen Stadtquartieren erfordert zusätzlich zur Analyse einzelner Energiequellen die Optimierung der Effizienz der Wärmeverteilung. Eine äußerst interessante Option stellt in diesem Zusammenhang das Konzept der sogenannten „Kalten Nahwärmenetze“ dar. Es zielt durch eine deutliche Reduktion der Betriebstemperatur des Wärmenetzes darauf ab, die Wärmeverluste der zur Verteilung benötigten Rohrleitungen merklich zu verringern.

Befinden sich einzelne Gebäude oder Gebäudegruppen relativ weit von den zentralen Wärmequellen entfernt, so kann eine dezentrale Wärmeversorgung dieser dann zu einer sogenannten Energieinsel zusammengefassten Gebäude zu energetischen Vorteilen führen. Beide Konzepte zur Effizienzsteigerung der Wärmeverteilung werden in einem Modell abgebildet, mittels Simulationsrechnungen untersucht und energetisch bewertet.

Aufbauend auf den aus diesen Analysen resultierenden Ergebnissen werden verschiedene Systeme für die Energieversorgung mit unterschiedlichem Innovationsgrad definiert. Die Systeme werden hinsichtlich der Energieversorgung mittels transienten Simulationsrechnungen detailliert untersucht und die Ergebnisse bewertet. Hieraus werden Erkenntnisse abgeleitet, die in die Ausarbeitung der „Vorversion Planungsempfehlungen“, einer Planungshilfe für die effiziente und ressourcenschonende Wärmeversorgung von neu zu errichtenden Stadtquartieren, eingehen.

1.2 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Basis für die Planung des Ablaufs des Vorhabens stellt die Vorhabensbeschreibung in der Fassung vom 27.07.2011 dar. Im Folgenden wird der Stand zum Abschluss des Vorhabens mit den beschriebenen Planungen der Vorhabensbeschreibung verglichen.

Tabelle 1 zeigt den Zeitplan in der Fassung vom 27.07.2011. Grüne Haken in den Kästchen charakterisieren einen planmäßigen Verlauf des Projektes. Das rot umrandete Kästchen weist auf eine zeitliche Verzögerung des entsprechenden Unterarbeitspunkts hin.

Ein leichter Zeitverzug in TAP 1.1.2 (Festlegung der Eingangsgrößen) resultierte aus der Tatsache, dass entgegen der bei Antragsstellung bekannten Informationen, die Wärmeversorgung des Stadtquartiers Jenfelder Au in einem europaweiten Wettbewerb ausgeschrieben wurde. Dieser von der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BSU) der Stadt Hamburg durchgeführte Prozess führte zu starken Verzögerungen im Bauprojekt, wodurch auch Verzögerungen im Forschungsprojekt resultierten. Die Erteilung des Zuschlags erfolgte im 1. Halbjahr 2013 an den Magdeburger Energiedienstleister GETEC AG. Zusätzliche massive Verzögerungen im Bauprojekt resultierten aus der intensiven Kampfmittelräumung der Jenfelder Au. Als Folge dessen wurde der Bauzeitenplan der Bauprojekte angepasst, im dem ursprünglich die Inbetriebnahme der HWC-Infrastruktur sowie des Wärmenetzes für Anfang 2015 vorgesehen war. Dieser Umstand führte dazu, dass auch im AP1 nicht alle Teilarbeitspakete wie geplant bearbeitet werden konnten. Im Hinblick auf die Arbeiten von Solar- und Wärmetechnik Stuttgart (SWT) wirkt sich die ausgeprägte Verzögerung bei der Bebauung ausschließlich auf das TAP 1.3 (Energieverbund – Konzeptentwicklung und Optimierung) aus, da die geplante experimentelle Validierung von Rechenmodellen des Softwarepakets TRNSYS¹ für einzelne Subsysteme aufgrund noch nicht verfügbarer Messdaten nicht durchgeführt werden konnte. Ebenso kann die Optimierung der Betriebsstrategie nur theoretisch erfolgen. Es ist daher geplant, diese Arbeiten im Vorhaben KREIS(2) während der Betriebsphase durchzuführen. Die durch die Verzögerung bei SWT freigewordenen Personalressourcen wurden für zusätzliche, intensivere theoretische Untersuchungen genutzt. So erfolgte zum Beispiel entgegen den ursprünglichen Planungen eine detaillierte Simulationsstudie

¹ TRNSYS: (TRaNsient SYstem Simulation) in der Version 17 (www.transsolar.com)

zum Wärmerückgewinnungspotential aus Grauwasser (Kapitel 3.3.4). Zudem wurde ergänzend zu den ursprünglichen Planungen im Verlauf des Verbundprojekts ein umfangreicher F&E-Katalog (Fragen- & Ergebniskatalog) erstellt, der zur Strukturierung, Vernetzung und Bündelung der erforderlichen Arbeiten im Projekt KREIS dient (Kapitel 5.2.2). Im Zuge der Projektlaufzeit wurden diese Fragen bearbeitet und die Ergebnisse mit den anderen Projektpartnern diskutiert und abschließend dokumentiert. Von SWT wurden insgesamt 18 der 78 Fragen bearbeitet und die entsprechenden Antworten dokumentiert

Die im Rahmen des Projekts KREIS durchgeführte sogenannte Vorbereitungsphase sollte ursprünglich zum 31.10.2014 enden. Aufgrund von diversen externen, d.h. nicht durch das KREIS-Projektkonsortium beeinflussbaren Faktoren wie z.B. der politische Wechsel in Hamburg, Personalveränderungen in der Bezirksverwaltung, Kampfmittelräumung und Nachverdichtung in der Bebauung, kam es im Projektverlauf zu einem deutlichen Zeitverzug der zu realisierenden Bauvorhaben. Die ersten Anwohner im Stadtquartier Jenfelder Au werden nun erst zum Ende des Jahres 2015 erwartet. Die meisten wissenschaftlichen Fragestellungen zur „Betriebsphase“ können somit erst ab diesem Zeitpunkt tiefgründiger bearbeitet werden. Vor diesem Hintergrund erschien es nicht sinnvoll, mit dem Anschlussvorhaben bereits im November 2014 zu beginnen. Stattdessen strebt der Verbund eine Fortführung der wissenschaftlichen Begleitforschung des Betriebs ab Ende 2015 an. Es wurde daher ein entsprechender Antrag auf eine kostenneutrale Laufzeitverlängerung um vier Monate, d.h. bis zum 28.02.2015, im Juni 2014 beim Projektträger Jülich (PTJ) eingereicht und im November 2014 bewilligt. Durch die Laufzeitverlängerung war es für SWT möglich, die Inbetriebnahme der Messtechnik vor Ort in der Jenfelder Au in Hamburg durchzuführen sowie deren Betrieb für einige Monate zu erproben. Durch die gewährte kostenneutrale Laufzeitverlängerung konnten sämtliche, auch ursprünglich nicht geplante Arbeiten zu detaillierten energetischen Untersuchungen unterschiedlicher Wärmeversorgungskonzepte wie das der „kalten Nahwärme“, eine detaillierte Simulationsstudie zum Wärmerückgewinnungspotential aus Grauwasser, die Bearbeitung des umfangreichen Fragen des Fragen- und Ergebniskatalogs sowie die Ausarbeitung der „Vorversion Planungsempfehlungen“ vollumfänglich und innerhalb der Laufzeit des Projekts KREIS abgeschlossen werden.

Tabelle 1: Vergleich zwischen ursprünglich geplantem und tatsächlichem zeitlichem Projektverlauf

| Teilarbeitspakete | '11 | 2012 | | | | 2013 | | | | 2014 | | | | '15 | Q1 2015 – Q1 2018 |
|--|-----|------|----|-----|----|------|----|-----|----|------|----|-----|----|-----|--|
| | IV | I | II | III | IV | I | II | III | IV | I | II | III | IV | I | voraussichtl. Anschlussvorhaben KREIS(2) |
| TAP 1.1 Biogaserzeugung | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1.1 Aufbau TNSYS Rechenmodell | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | |
| 1.1.2 Festlegung Eingangsgrößen | | | ✓ | | | | | | | | | | | | |
| 1.1.3 Durchführung Systemsimulationen | | | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | |
| 1.1.4 Dimensionierung BHKW | | | | ✓ | | | | | | | | | | | |
| TAP 1.2 Wärmeengewinnung aus Grundwasser | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.2.1 Wärmetechn. Messungen UEE-Versuchsanlage | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | | |
| 1.2.2 Durchführung Systemsimulationen | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | |
| 1.2.3 Analyse Betriebskonzepte Wärmepumpen | | | | | | ✓ | | | | | | | | | |
| TAP 1.3 Energieverbund - Konzeptentwicklung und Optimierung | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.3.1 Festlegung Eingangsgrößen | | | | | ✓ | | | | | | | | | | |
| 1.3.2 Durchführung Systemsimulationen | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | |
| 1.3.3 Erarbeitung Betriebsstrategie | | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | |
| 1.3.4 Validierung von Subsystemen | | | | | | | | | | | - | - | | | Verschiebung der Arbeiten in KREIS(2) |
| 1.3.5 Optimierung Betriebsstrategie | | | | | | | | | | | | | | | Durchführung der Arbeiten in KREIS(2) |
| TAP 1.4 Entwicklung Betriebskonzept | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.4.1 Konzept „Solarthermie-Einspeisevergüt.Modell“ | | | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| 1.4.2 Entwicklung Betriebskonzept | | | | | | | | | | ✓ | ✓ | | | | |
| TAP 1.5 Vernetzung Energieinseln und Planungsempfehlungen | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.5.1 Vernetzungskonzept Energieinseln | | | | | | | | | | | ✓ | | | | |
| 1.5.2 Erarbeitung Vorversion Planungsempfehlungen | | | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Projektmanagement (PM) | | | | | | | | | | | | | | | |
| PM 1 Projektsteuerung | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | |
| PM 2 Berichtswesen | | ✓ | | | | ✓ | | | | | ✓ | | ✓ | ✓ | |
| PM 3 Projektadministration | | ✓ | | | | ✓ | | | | | ✓ | | ✓ | ✓ | |
| PM 4 Öffentlichkeitsarbeit | | | | | | ✓ | | | | | ✓ | | ✓ | ✓ | |

| | |
|---|------------------------------|
| | Ursprüngliche Planung |
| ✓ | In Bearbeitung bzw. erledigt |
| | Verschiebung |

1.3 Stand der Wissenschaft und Technik zum Zeitpunkt der Antragstellung

Es existiert bereits eine Vielzahl an realisierten Beispielen für die Integration von erneuerbaren Energiequellen wie z.B. Geothermie, Wind- und Sonnenenergie in Energiekonzepte für Stadtquartiere sowie für die Steigerung der Energieeffizienz durch Wärmerückgewinnungs- und andere Optimierungsmaßnahmen. Das in der Jenfelder Au erstmals zur großtechnischen Umsetzung vorgesehene Konzept des Hamburg Water Cycle® wurde bereits in kleinerem Maßstab realisiert (EXPO-Projekt in Lübeck-Flintenbreite, 47 mittels Unterdruckentwässerung entsorgte Wohneinheiten (Oldenburg 2008); Forschungsprojekt KOMPLETT (Schmitt 2009), 8 mittels Unterdruckentwässerung entsorgte Wohneinheiten). Das hier beschriebene Vorhaben unterscheidet sich jedoch deutlich von den bereits durchgeführten Vorhaben. Dieses geschieht zum einen durch seine umfangreiche Größe (~680 Wohneinheiten), und zum anderen durch die Kombination einer Vielzahl an Energiequellen und Optimierungsmaßnahmen, die gemeinsam ein äußerst zukunftsweisendes und innovatives Gesamtkonzept ergeben. Umfangreiche Informationen zum Stand der Wissenschaft und Technik zum Zeitpunkt der Antragstellung sind bereits in der Vorhabensbeschreibung (Stand 27.07.2011) dokumentiert und werden daher hier nicht nochmals dargelegt.

1.4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die ursprünglich nicht geplante Ausschreibung der Wärmeversorgung der Jenfelder Au beeinflusst den Verlauf des Projekts KREIS sowie den des geplanten Folgeprojekts KREIS(2) maßgeblich. Daher wurde unmittelbar nach Bekanntgabe der Zuschlagserteilung der Wärmeversorgung der Jenfelder Au Kontakt mit Hr. Holland, dem Leiter der Niederlassung der GETEC AG in Hamburg, aufgenommen. Es folgten mehrere Treffen, bei denen einige im Hinblick auf die Wärmeversorgung sowie den Einsatz von thermischen Solaranlagen relevante Aspekte konstruktiv diskutiert wurden. Des Weiteren wurde Interesse von GETEC an der Mitarbeit in einem evtl. Folgeprojekt signalisiert. Als Folge dessen wurde GETEC als assoziierter Partner in dem Projektantrag für das geplante Folgeprojekt KREIS(2) aufgenommen.

2 Verwendung der Zuwendung und Notwendigkeit der geleisteten Arbeit

Die Zuwendungen wurden im Verlaufe des Vorhabens ausschließlich für Aufwendungen, die direkt im Zusammenhang mit Arbeiten des Forschungsprojekts KREIS anfielen, verwendet. Diese Aufwendungen umfassten sowohl die Personalkosten als auch die Ausgaben für Material, Vergabe von Aufträgen und Dienstreisen sowie die sonstigen allgemeinen Verwaltungskosten. Insgesamt fielen Ausgaben in Höhe von 397.281,06 € an, wovon 358.563,47 € als Zuwendung vom Fördermittelgeber erhalten wurden bzw. noch werden. Geplant wurde ursprünglich mit Ausgaben in Höhe von 407.167,00 €, wovon 374.167,00 € als Zuwendung beantragt und gewährt wurden. Die Reduktion der Ausgaben ging nur in sehr geringem Umfang mit einer Reduktion der Arbeiten einher, da aufgrund der Verzögerung im Bauprojekt Jenfelder Au nicht alle Arbeiten wie geplant durchgeführt werden konnten. Dies betraf vor allem den Erwerb und die Installation von Messtechnik zum Monitoring des realisierten Gesamtsystems und die Vergabe von Aufträgen für deren Installation. Allerdings stellte sich im Verlaufe des Projekts heraus, dass an anderer Stelle zusätzliche Arbeiten notwendig wurden, um das Vorhaben umfassend bearbeiten zu können. Dies betraf primär Arbeiten im Bereich der Systemsimulationen und Berechnung von Systemvariationen. Darüber hinaus wurden in größerem Umfang Arbeiten selbst durchgeführt, die ursprünglich zur Vergabe vorgesehen waren. Daraus ergaben sich zusätzliche Ausgaben für Personal. Dennoch konnten die tatsächlichen Ausgaben um ca. 10.000 € gegenüber den ursprünglichen Planungen verringert und das finanzielle Volumen des Vorhabens entsprechend reduziert werden. In Abbildung 1 sind die Ausgaben detailliert als Vergleich zwischen geplanten und entstandenen Ausgaben dargestellt.

Eine detailliertere Kostenaufschlüsselung ist dem Verwendungsnachweis zu entnehmen.

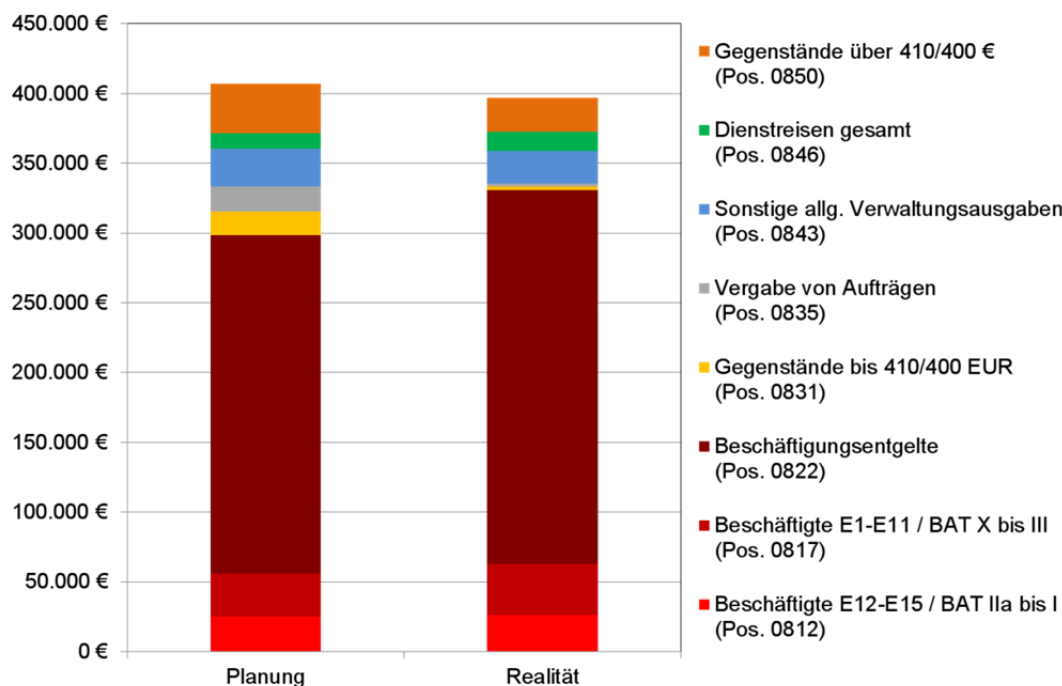


Abbildung 1: Gegenüberstellung der beantragten bzw. bewilligten und real entstandenen Ausgaben

3 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die aus der Bearbeitung des Teilprojekts Energietechnik resultierenden wissenschaftlich-technischen Ergebnisse detailliert nach Teil-Arbeitspaketen (TAP) aufgeführt und erläutert.

Das zentrale Element des Gesamtkonzepts des Forschungsprojekts KREIS stellt der von Hamburg Wasser entwickelte Hamburg Water Cycles (HWC) da. Dieser ist im Synthesebericht zum Forschungsprojekt KREIS detailliert beschrieben (Giese, 2015). Zum besseren Verständnis wird der HWC im Folgenden dennoch kurz erläutert:

Ein wesentlicher Aspekt des HWC ist eine getrennte Erfassung der Abwasserteilströme Niederschlags-, Grau-, und Schwarzwasser. Das Niederschlagswasser wird durch Versickerung oder Verdunstung wieder dem natürlichen Wasserkreislauf zugeführt. Das Grauwasser wird konventionell abgeleitet, wobei neuartige Techniken zur Reinigung und Wärmegewinnung untersucht werden. Das Schwarzwasser wird mittels Vakuuntoiletten erfasst und einer anaeroben Vergärungsanlage zugeführt. Aus dem dort entstehenden Biogas, bei dem es sich größtenteils um Methan handelt, wird mittels eines Blockheizkraftwerks (BHKW) bzw. einer Gasturbine Strom und Wärme erzeugt, die dem Wohngebiet über das Strom- und einem Nahwärmenetz zur Verfügung gestellt werden.

3.1 Biogaserzeugung und- nutzung (TAP 1.1)

Das getrennt erfasste Schwarzwasser wird aufgrund der hohen Konzentration an organischen Stoffen als Substrat zur Biogaserzeugung verwendet. Zur Verwertung weiterer Reststoffe sowie zur Ergänzung des Substratmixes im Hinblick auf die Gewährleistung einer stabilen Vergärung wurden von den Projektpartnern TUHH und Buhck die lokal verfügbaren Mengen sowie die Eignung weiterer Substrate zur Biogaserzeugung untersucht. Die Untersuchungen ergaben, dass die verfügbaren Substrate in der Umgebung der Jenfelder Au ausreichend sind, um die notwendige Biogasmenge zu erzeugen, die zum Betrieb des aus zwei Mikrogasturbinen mit je 65 kW elektrischer und 100 kW thermischer Leistung bestehenden BHKWs notwendig ist. Die Substrate, die sich neben Schwarzwasser als geeignet erwiesen haben, sind Fettwasser und Rasenschnitt bzw. Rasen-Silage.

Zur detaillierten Analyse der durch die Kraft-Wärme Kopplungs-Anlage auftretenden Energieströme wurde ein zeitlich hochaufgelöstes TRNSYS-Simulationsmodell erstellt. Bei der Simulationssoftware TRNSYS handelt es sich um ein modular aufgebautes Softwarepaket, das mittels numerischer Näherungsverfahren die Simulation des thermischen Verhaltens von nahezu beliebigen energietechnischen Komponenten und Anlagen, insbesondere thermischer Solaranlagen und Gebäude, ermöglicht. Um ein definiertes Wärmeversorgungskonzept mit TRNSYS zu simulieren, wird das thermische Verhalten aller relevanten Komponenten und Anlagen mittels einzelner Rechenmodelle (sogenannter Types) abgebildet. Hierzu zählen zum Beispiel die Abbildung des Wärmebedarfs, des Leitungsnetzes, der Wärmespeicherung sowie aller Komponenten, die einen Beitrag zur Wärmeerzeugung oder zum Wär-

meverbrauch leisten. Die Dimensionierung der Komponenten sowie die Kopplung der Modelle untereinander erfolgt gemäß dem abzubildenden Versorgungskonzept. Zudem werden Parameter und Eingangsgrößen wie z.B. Anfangstemperaturen, Wetterdaten und Regelparameter eingelesen oder definiert. Die Systemsimulationen werden dann mit einer definierten Zeitschrittweite im Allgemeinen über den Zeitraum eines Jahres durchgeführt.

Mit dem in TRNSYS aufgebauten Modell erfolgten dynamische Systemsimulationen zur Ermittlung des zu erwartenden thermischen und elektrischen Energieertrags des BHKWs. Da das Betriebsverhalten des BHKWs jedoch stets in Wechselwirkung mit den weiteren berücksichtigten Energiequellen sowie mit dem Energiebedarf der Verbraucher steht, wurden die Simulationen der Biogaserzeugung und -nutzung bei der Konzeptentwicklung und Optimierung des Energieverbundes (TAP 1.3) sowie bei der Entwicklung des Betriebskonzeptes (TAP 1.4) weiter fortgesetzt.

3.2 Wärmegewinnung aus Grundwasser (TAP 1.2)

Die jahreszeitlich abhängigen Schwankungen der Grundwassertemperatur nehmen mit zunehmender Tiefe ab, so dass ab einer bestimmten Tiefe die Temperatur nahezu konstant ist. In der Jenfelder Au beträgt die Grundwassertemperatur ab etwa 20 m relativ konstant 10 °C. Damit kann das Grundwasser als Wärmequelle für eine oder mehrere Wärmepumpen genutzt werden und einen Beitrag zur Deckung des Wärmebedarfs zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung leisten. Hierfür wird das Grundwasser über einen Förderbrunnen der Wärmepumpe als Wärmequelle bereitgestellt. Die Wärmepumpe hebt das Temperaturniveau auf das für die Raumheizung und / oder die Trinkwassererwärmung erforderliche Niveau an. Das abgekühlte Grundwasser wird über Infiltrationsbrunnen wieder dem Grundwasserleiter zugeführt. Die Eignung eines Standortes für die Wärmegewinnung aus Grundwasser muss im Rahmen von umfangreichen Untersuchungen analysiert und bestätigt werden. Zur Analyse des Standorts Jenfelder Au hinsichtlich einer Wärmegewinnung aus Grundwasser hat der Projektpartner Consulaqua Hamburg umfangreiche geologische, hydrogeologische sowie geothermische Erkundungsarbeiten durchgeführt (Bardenhagen, 2011). Die Ergebnisse zeigen, dass in der Jenfelder Au Grundwasservorkommen existieren, die zur Wärmeversorgung des Stadtquartiers prinzipiell genutzt werden können. Der maximale Grundwasservolumenstrom, der mit den bisher realisierten zwei Entnahmebrunnen sowie einem Infiltrationsbrunnen zur Wärmeversorgung genutzt werden kann, beträgt ca. 50 m³/h. In Verbindung mit einer Temperaturreduktion des Grundwassers von 10 °C auf 5 °C ergibt sich eine maximale Wärmeleistung von etwa 400 kW, die bei Verwendung einer großen oder mehrerer kleiner Wärmepumpen an deren Kondensatoren zur Verfügung steht.

Das Grundwasser in der Jenfelder Au ist sehr eisen- und manganreich. Bei der Förderung des Grundwassers ist daher zur Verhinderung einer vorzeitigen Alterung der Brunnen und der eingesetzten Fördertechnik infolge von Ausfällungen von Eisen- und Mangan-Hydroxiden die Umsetzung eines entsprechenden Verfahrens zur Enteisung und Entmanganisierung erforderlich.

Der Projektpartner Consulaqua Hamburg hat mittels Vorversuchen auf dem Gelände der Jenfelder Au gezeigt, dass ein diskontinuierlicher Betrieb der Enteisung grundsätzlich möglich und auch erfolgreich umsetzbar ist.

Die Frage, ob sich dies auch auf die sich wesentlich träger verhaltende Entmanganung übertragen lässt, sollte im Rahmen einer geplanten Versuchsanlage durch Consulaqua Hamburg experimentell ermittelt werden. Die Vergabe der Wärmeversorgung der Jenfelder Au an die GETEC AG hatte jedoch zur Folge, dass die Wärmegewinnung aus Grundwasser in der Jenfelder Au nicht realisiert werden wird. Die vom Projektpartner Consulaqua geplanten weiteren Arbeiten konnten daher nicht durchgeführt werden. Nähere Details zu den Arbeiten von Consulaqua und den erzielten Ergebnissen können dem Schlussbericht des Projektpartners entnommen werden (Kathmann 2013).

Aufgrund des von Consulaqua Hamburg durchgeführten erfolgreichen Vorversuchs wird bei den von SWT durchgeführten Simulationsstudien davon ausgegangen, dass ein diskontinuierlicher Betrieb des unterirdischen Enteis- und Entmanganungs-Verfahrens (sog. UEE-Verfahren) und somit auch ein diskontinuierlicher Betrieb der Wärmepumpen prinzipiell möglich sind.

In das im TAP 1.1 erstellten Simulationsmodell wurden die grundwasserspezifischen Randbedingungen wie die Temperatur des Grundwassers, Volumenstrom, maximale Temperaturreduktion des Grundwassers sowie das mathematische Modell für die Wärmepumpe implementiert. Auf Basis des daraus resultierenden Gesamtmodells wurden erste dynamische Simulationen zur Analyse des Betriebsverhaltens des Gesamtsystems in Verbindung mit einer Wärmepumpe durchgeführt. Die hierbei ermittelten Ergebnisse dienen als Basis für die Untersuchung der innovativen Wärmeversorgungskonzepte wie z.B. das der kalten Nahwärme oder der Energieinseln.

Aufgrund der nicht endgültig geklärten Fragestellung, ob ein diskontinuierlicher Betrieb des UEE-Verfahrens unter realen Betriebsbedingungen über einen längeren Zeitraum stabil möglich ist, wurde untersucht, bis zu welcher Wärmeleistung der Grundwasser-Wärmepumpe ein kontinuierlicher Betrieb (ganzjährig) erfolgen kann. Ein kontinuierlicher Betrieb der Grundwasser-Wärmepumpe ist insbesondere bei einer parallel hierzu ablaufenden unterirdischen Enteisung und Entmanganung (UEE) des Grundwassers zu bevorzugen. Ist ein kontinuierlicher Betrieb der Wärmepumpe nicht möglich, so muss, um dennoch eine Grundwasser-Wärmepumpe einsetzen zu können, ein diskontinuierlicher Betrieb der UEE-Anlagen erfolgen. Die Untersuchungen haben ergeben, dass bei der geplanten Wärmeleistung der Wärmepumpen von insgesamt 400 kW nur ein diskontinuierlicher Betrieb möglich ist.

Bei der Wärmeverteilung mittels eines konventionellen Nahwärmenetzes mit Vorlauftemperaturen von 90 bis 120 °C muss aufgrund von Wärmeverlusten durch die Rohrleitungen meist ca. 15 – 25 % mehr Wärme eingespeist werden als tatsächlich an die Verbraucher geliefert wird. Wird die in das Wärmenetz einzuspeisende Wärme mittels Wärmepumpen aus Grundwasser generiert, sind kalte Nahwärmenetze ein interessanter Ansatz zur Reduktion der Wärmeverluste. Bei diesen erfolgt der Wärmetransport zu den einzelnen Gebäuden bzw.

Gebäudegruppen auf niedrigem Temperaturniveau (10 °C), die Temperaturerhöhung hingegen erfolgt nachgelagert dezentral in den einzelnen Gebäuden bzw. individuell für einzelne Gebäudegruppen. Die aus der Untersuchung der kalten Nahwärmenetze resultierenden Ergebnisse stehen in engem Zusammenhang mit TAP 1.5 (Vernetzung der Energieinseln) und werden daher in Kapitel 3.5 beschrieben.

3.3 Energieverbund – Konzeptentwicklung und Optimierung (TAP 1.3)

3.3.1 Methodik

Die in TAP 1.3 und TAP 1.4 ermittelten Ergebnisse basieren auf Simulationen des dynamischen Verhaltens der energietechnisch relevanten Komponenten des Gesamtsystems mittels der Software TRNSYS. Die daraus resultierenden Größen können zur Ermittlung aussagekräftiger Werte und somit zum energetischen Vergleich verschiedener Versorgungskonzepte herangezogen werden. Die Ermittlung der in diesem Bericht dargestellten Simulationsergebnisse basiert auf einer Zeitschrittweite von 90 Sekunden. Zur Abbildung der Umgebungsbedingungen wie z.B. Umgebungstemperatur und Solarstrahlung werden Wetterdaten des Testreferenzjahres von Hamburg verwendet.

Da sowohl die einzelnen Wohneinheiten direkt aus dem öffentlichen Netz mit Strom versorgt werden als auch das BHKW den erzeugten Strom ins öffentliche Netz einspeist, wurde auf die Abbildung der elektrischen Energieströme im Simulationsmodell verzichtet.

3.3.2 Energiebedarf

In Anlehnung an den für die Jenfelder Au gültigen Bebauungsplan „Jenfeld 23“ erfolgte eine Festlegung der Eingangs- und Ausgangsgrößen, die bei der Systemsimulation des gesamten Stadtquartiers zu berücksichtigen sind. Diese beinhalten u.a. die voraussichtliche Anzahl der Wohneinheiten des Stadtquartiers sowie die Festlegung der verschiedenen Typgebäude im Hinblick auf ihr thermisches und elektrisches Verhalten sowie ihre Anzahl. Darauf aufbauend wurden Wärmelastprofile für den Trinkwarmwasser- und Heizwärmebedarf des gesamten Stadtquartiers erstellt. Zusätzlich erfolgte eine Untersuchung des Einflusses der Gleichzeitigkeit des Wärmebedarfs in Abhängigkeit von der Anzahl der Wohneinheiten und darauf aufbauend eine entsprechende Modifikation der Lastprofile.

Für die hier durchgeführten energetischen Untersuchungen wurde davon ausgegangen, dass 684 Wohneinheiten (WE) mit jeweils 3 Personen an das Energieversorgungskonzept der Jenfelder Au angeschlossen werden. Die daraus resultierenden, verwendeten Annahmen zum Energiebedarf der Verbraucher sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Annahmen zum Energiebedarf der Verbraucher des gesamten Stadtquartiers

| | |
|----------------------------------|----------------|
| Wärmebedarf Raumheizung | 8,0 MWh/(WE·a) |
| Wärmebedarf Trinkwassererwärmung | 2,1 MWh/(WE·a) |
| Strombedarf Haushalte | 3,2 MWh/(WE·a) |

Das Wärmelastprofil zur Bereitung von Trinkwarmwasser (TW) einer einzelnen WE zeichnet sich in der Regel durch ausgeprägte Lastspitzen in den Morgen-, Mittag-, und Abendstunden aus (Ecodesign, 2012). Mit steigender Größe der als Gruppe betrachteten WE kommt es zu einer zunehmenden zeitlichen Streuung der individuellen Lastspitzen und demzufolge zu einer Verringerung der maximal benötigten spezifischen Gesamtwärmeleistung. Der Einfluss dieses Gleichzeitigkeitseffekts auf die Dynamik der benötigten Wärmeleistung wird gemäß (Stübler, 2013) berücksichtigt.

Das Heizlastprofil zur Berücksichtigung des Heizwärmebedarfs wurde durch die detaillierte Simulation des thermischen Verhaltens von vier Typgebäuden generiert. Die Lastprofile dieser Typgebäude werden entsprechend der geplanten Anzahl im Quartier zu einem Gesamtlastprofil für die Raumheizung kombiniert. Untersuchungen von M. Gaderer ergaben, dass bei energieeffizienten Gebäuden mit einem spezifischen Heizwärmebedarf von weniger als ca. 70 kWh/(m²·a) der Gleichzeitigkeitsfaktor für den Heizwärmebedarf unabhängig von der Anzahl der angeschlossenen WE den Wert 1 annimmt (Gaderer M., 2007). Die Gründe hierfür sind die hohe thermische Masse der Gebäudehülle sowie die gute Wärmedämmung dieser Gebäude. Da der Bebauungsplan der Freien und Hansestadt Hamburg höhere Anforderungen als die zum entsprechenden Zeitpunkt gültige Fassung der Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV) an den Gebäudestandard stellt, unterschreiten die in der Jenfelder Au zu errichtenden Gebäude diesen Wert. Somit findet bei der Erstellung der hier verwendeten Lastprofile für den Heizwärmebedarf demnach die Gleichzeitigkeit keine Berücksichtigung.

3.3.3 Energieverteilung

Zur Berücksichtigung der Wärmeverluste des Verteilnetzes zwischen den Wärmeerzeugern und den Gebäuden werden für die Länge der Rohrleitungen Planungsdaten und für die Wärmedämmung der Rohrleitungen aus einer Marktrecherche stammende Werte verwendet. Für das gesamte Stadtquartier werden insgesamt Rohrleitungen mit Nennweiten zwischen DN 25 und DN 200 und einer Gesamtlänge von etwa 8 km berücksichtigt.

Bezüglich der Verteilung der elektrischen Energie zu den Verbrauchern wird davon ausgegangen, dass alle Verbraucher über einen Anschluss an das öffentliche Stromnetz verfügen, so dass die Energieverteilung über dieses bestehende Netz erfolgen kann.

3.3.4 Wärmerückgewinnungspotential aus Grauwasser

In Deutschland entfallen etwa 14 % des gesamten Energiebedarfs auf die Erwärmung von Trinkwasser (AGEB, 2013). Die aufkommende Grauwassermenge beträgt etwa 60 bis 75 % der gesamten Abwassermenge (Eriksson et al., 2002, Friedler, 2004). Da Grauwasser eine deutlich höhere Temperatur aufweist als die Wassertemperatur in öffentlichen Abwasserkanälen (DWA, 2010; Koppe et al., 1999; Sievers et al. 2014) und in der Regel ungenutzt wieder im Abwasserkanal gesammelt wird, ist ein hohes energetisches Einsparpotential bei der Realisierung von entsprechenden Wärmerückgewinnungssystemen zu erwarten, mit denen z.B. das Trinkwasser vorgewärmt wird. Derartige Systeme bieten sich insbesondere für Standorte an, bei denen ohnehin eine separate Erfassung und Verwertung von Abwasserströmen erfolgt. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass je nach betrachtetem

System etwa 25 bis 70 % der im Grauwasser enthaltenen thermischen Energie wieder zurückgewonnen und genutzt werden kann. Hierbei sind jedoch deutliche Unterschiede in der Art der eingesetzten Systeme zu verzeichnen. Dezentrale Duschwannensysteme, die also nur das in der Dusche aufkommende Grauwasser verwerten, haben gegenüber zentralen Systemen, die das gesamte Grauwasser des Stadtquartiers verwerten, deutliche Nachteile. So ist bei diesen der erforderliche apparative Aufwand relativ hoch und das Wärmerückgewinnungspotenzial bedingt durch die zur Verfügung stehende Abwassermenge vergleichsweise gering. Jedoch muss berücksichtigt werden, dass bei zentralen Systemen zur Nutzbarmachung der Wärme in der Regel eine Wärmepumpe erforderlich ist, da das Grauwasser im Sammelkanal relativ schnell stark abkühlt. Unter Berücksichtigung der hierfür erforderlichen elektrischen Energie zeigt ein Vergleich anhand der resultierenden Primärenergieeinsparung, dass dezentrale Systeme, welche finanzielle und technische Vorteile aufweisen, auch primärenergetisch wettbewerbsfähig gegenüber zentralen Systemen sind. Detaillierte Informationen zu den hier zusammengefassten Erkenntnissen können (Sievers, 2014) entnommen werden.

3.3.5 Aufbau Messstation

Entsprechend den Planungen im Vorhaben KREIS und in Vorbereitung auf die geplante Betriebsanalyse der Wärmeversorgung in der Jenfelder Au im geplanten Folgeprojekt KREIS(2) wurde eine Messstation aufgebaut und in der Jenfelder Au in Betrieb genommen wurde. Sie besteht aus den folgenden wesentlichen Komponenten:

Wetterstation

Ein Foto der Wetterstation zeigt Abbildung 2. Das Gestell wurde aus sogenannten MPC-Systemschienen der Firma Müpro gefertigt. Mittels der installierten Messtechnik werden die Messgrößen hemisphärische Bestrahlung in der Horizontalen, Umgebungstemperatur, relative Luftfeuchtigkeit sowie die Windgeschwindigkeit ermittelt.

Messschrank

Ein Foto des Messschanks ist Abbildung 3 dargestellt. Er beinhaltet einen Datenlogger des Typs DL 32 von HWH-Systemtechnik zur Erfassung der Messwerte und einen Industrie-PC zur Speicherung der Messwerte. Der Industrie-PC verfügt mittels eines mobilen UMTS-Routers über einen Internetzugang. Somit ist vom Büro-PC in Stuttgart aus ein voller Zugriff auf den Industrie-PC bzw. die Messstation in Hamburg gegeben, der zum Kopieren der Messdaten sowie zur Fernsteuerung des Industrie-PC's genutzt werden kann.

Die Wetterstation ist derzeit auf dem sog. Heizhaus, also dem Gebäude der Wärmezentrale mit BHKW und Spitzenlastkesseln, der GETEC AG als Wärmeversorger der Jenfelder Au, installiert. Der Messschrank befindet sich in demselben Gebäude. Das Messsystem kann modular erweitert werden und somit gut an sich verändernde Messaufgaben, die aufgrund

der sukzessiven Bebauung und des Betriebs der Versorgungs- und Entsorgungsinfrastruktur der Jenfelder Au zu erwarten sind, angepasst werden.



Abbildung 2: Foto der Wetterstation in Hamburg-Jenfeld

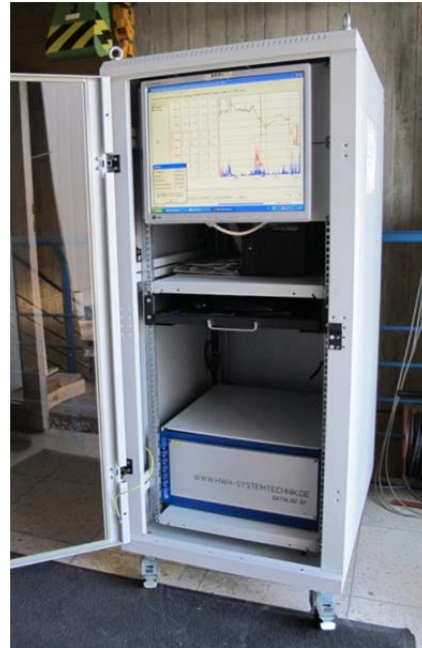


Abbildung 3: Foto des Messschanks der Wetterstation

Nachdem mittels eines Probetriebs in Stuttgart sichergestellt worden war, dass ein zuverlässiger Betrieb sowohl der Datenerfassung als auch der Datenübertragung gewährleistet ist, wurde die Messdatenerfassungseinheit im November 2014 nach Hamburg transportiert und dort auf dem Heizhaus installiert. Seit November 2014 werden Wetterdaten in Hamburg erfasst, aufgezeichnet und nach Stuttgart übertragen.

3.4 Entwicklung Betriebskonzept (TAP 1.4)

Eine Vielzahl an Energiequellen steht für die Versorgung von Stadtquartieren wie der Jenfelder Au mit elektrischer und thermischer Energie prinzipiell zur Verfügung. Bei der Auswahl sowie der Dimensionierung müssen jedoch verschiedene Rahmenbedingungen wie z.B. örtliche Gegebenheiten (zur Verfügung stehende Fläche, Energiebedarf), einzuhaltende rechtliche Rahmenbedingungen (Emissionen von Schall, Gerüchen und Abgasen) sowie aus Regelwerken, wie z.B. Bebauungsplänen, resultierende Anforderungen beachtet werden. Interessen wirtschaftlicher und / oder ökologischer Art werden in den Entscheidungsprozess ebenfalls mit eingebunden. Im Rahmen der „Darstellung der Systemgrenzen für die einheitliche Betrachtung in den AP 4 – 6“ wurden auf Basis von Voruntersuchungen verschiedene Konzepte definiert, die innerhalb dieses TAP's untersucht wurden. Die einzelnen Konzepte unterscheiden sich im Innovationsgrad der verwendeten Technik zur Versorgung des Wohngebiets mit thermischer und elektrischer Energie. Im Folgenden sind die Systeme, die sich aus den unterschiedlichen Konzepten ableiten, näher beschrieben.

3.4.1 Beschreibung der untersuchten Systeme

Die zur Ergebnisermittlung verwendete Methodik wird in Kapitel 3.3.1 beschrieben, der berücksichtigte Energiebedarf ist in Kapitel 3.3.2 erläutert.

Es wurden die folgenden Systeme für die Jenfelder Au (JA) betrachtet:

- System 1: Konventionelles Infrastruktursystem (Referenzsystem) – Konv-JA
- System 2: Hamburg Water Cycle Bau – HWC Bau Jenfelder Au – HWC-JA
- System 3a: Hamburg Water Cycle KREIS – HWC-KREIS-Basisversion
- System 3b: Hamburg Water Cycle KREIS – HWC-KREIS-Szenario

In Tabelle 3 sind die zentralen Komponenten zur Wärme- und Stromversorgung für die jeweiligen Systeme aufgeführt.

System 1 stellt eine konventionelle, dezentrale Energieversorgung als Referenz dar. Beim System 2 wird davon ausgegangen, dass alle Gebäude über ein Nahwärmenetz an einen zentralen Wärmespeicher angeschlossen sind. Dieser wird mit Mikrogasturbinen, einem Blockheizkraftwerk (BHKW) und zwei Spitzenlastkesseln thermisch beladen. In den Systemen 3a und 3b wird das zu versorgende Gebiet jeweils in ein „Gebiet Nord“ mit einem konventionellen Nahwärmenetz und ein „Gebiet Süd“ mit einem kalten Nahwärmenetz aufgeteilt. Im Gebiet Nord wird ein zentraler Wärmespeicher von zwei Mikrogasturbinen, einem Spitzenlastkessel und dezentralen Sonnenkollektoren thermisch beladen. Im Gebiet Süd werden dezentrale Wärmepumpen und dezentrale Sonnenkollektoren verwendet. Die dezentralen Wärmepumpen werden über ein kaltes Nahwärmenetz mit Grundwasser als Wärmequelle versorgt. Ein Teil des Strombedarfs wird über PV-Module gedeckt, die auf bzw. an Gebäuden angebracht sind, die sich im Wohngebiet Jenfelder Au befinden, der restliche Strombedarf wird aus dem öffentlichen Netz bezogen. Der Unterschied zwischen System 3a und System 3b liegt insbesondere in der Dimensionierung der Sonnenkollektorfläche und deren hydraulischer Einbindung sowie in der Dimensionierung des zentralen Wärmespeichers für das Gebiet Nord. Beim System 3b werden weiterhin 15 % des Strombedarfs durch die Verwendung von Biogas dadurch substituiert, dass für Koch- und Backvorgänge Biogas als Energieträger anstelle von Strom verwendet wird.

Tabelle 3: Übersicht über die zentralen Komponenten zur Energieversorgung der untersuchten Systeme

| System | Wärmeversorgung | Stromversorgung |
|---------------|--|--|
| System 1 | Sonnenkollektoren Dezentrale Gaskessel | Konventioneller Strommix |
| System 2 | Mikrogasturbinen (Biogas) BHKW (Bio-Erdgas) Spitzenlastkessel (Erdgas) | Konventioneller Strommix |
| System 3a | Sonnenkollektoren Mikrogasturbinen (Biogas) Spitzenlastkessel (Hackschnitzel) Wärmepumpen | Mikrogasturbinen PV-Module Konventioneller Strommix |
| System 3b | Sonnenkollektoren Mikrogasturbinen (Biogas) Spitzenlastkessel (Hackschnitzel) Wärmepumpen | Mikrogasturbinen PV-Module Konventioneller Strommix, davon 15 % durch Biogas substituiert |

SYSTEM 1

Das System 1 entspricht einem konventionellen Infrastruktursystem und bildet das Referenzsystem als Basis für einen Vergleich der anderen Systeme. Für dieses System ist nach dem Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG 2009) in der im Jahr 2013 aktuellen Fassung (Erneuerbare-Energien-WärmeGesetz - EEWärmeG) die Nutzungspflicht nach § 3 (1) zu erfüllen. *“Die Eigentümer von Gebäuden nach § 4, die neu errichtet werden, (Verpflichtete) müssen den Wärmeenergiebedarf durch die anteilige Nutzung von Erneuerbaren Energien nach Maßgabe der §§ 5 und 6 decken.”* Der Anteil der Erneuerbaren Energien wird nach § 5 als erfüllt angesehen, sofern der Wärmeenergiebedarf zu mindestens 15 % durch solare Strahlungsenergie gedeckt wird. Für die Wärmeerzeugung werden dezentrale Gasheizungen und entsprechend dimensionierte dezentrale Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung vorgesehen, so dass die Anforderung des EEWärmeG erfüllt wird. Die Stromversorgung erfolgt konventionell aus dem öffentlichen Stromnetz. Die Wärmeversorgung wird gemäß dem Schema aus Abbildung 4 angenommen. Zum Einsatz kommt ein Trinkwasserspeicher, die Wärme für die Raumheizung wird hingegen direkt von einem Gas-Brennwertkessel bereitgestellt. Dieser fungiert zusätzlich als Nachheizung für die Trinkwassererwärmung.

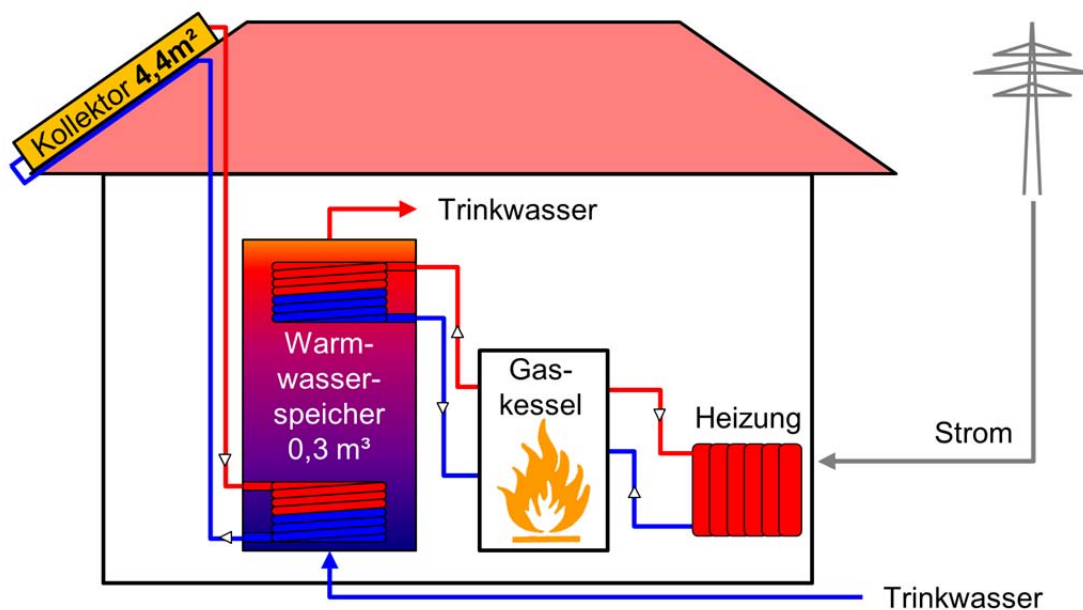


Abbildung 4: Darstellung der Energieversorgung einer Wohneinheit von System 1

Dimensionierung der Komponenten je Wohneinheit

- Sonnenkollektoren: 4,4 m² (Aperturfläche), Vakuumröhrenkollektor
- Wärmespeicher: 0,3 m³, Speichermedium Wasser
- Gas-Brennwertkessel: Nutzungsgrad = 0,88; Energieträger Erdgas

SYSTEM 2

Bei System 2 erfolgt die Wärmeversorgung aller 684 Wohneinheiten über ein Nahwärmenetz. Die Stromversorgung erfolgt zwar wie bei System 1 aus dem öffentlichen Netz, allerdings werden zusätzlich zentrale Komponenten verwendet, die Strom produzieren, welcher in das öffentliche Stromnetz eingespeist wird. Dazu zählen zwei Mikrogasturbinen (MGT) und ein Blockheizkraftwerk (BHKW), die mit Biogas betrieben werden. Zur Deckung des Spitzenlastwärmebedarfs kommen zwei erdgasbetriebene Spitzenlastkessel zum Einsatz. In Abbildung 5 ist der Aufbau von System 2 dargestellt. Aus einem zentralen Warmwasserspeicher wird die Wärme über ein Nahwärmenetz an die einzelnen Wohneinheiten verteilt. In dem Wohngebiet fallen Schwarzwasser, Fettwasser und Rasenschnitt als energetisch wiederverwertbare Abfälle an, die einer Vergärungsanlage zugeführt werden. Das durch eine anaerobe Vergärung erzeugte Biogas wird den zwei Mikrogasturbinen zugeführt. Die Mikrogasturbinen beladen mit ca. 90 % der von ihnen erzeugten thermischen Energie den zentralen Wärmespeicher. Die parallel vom Blockheizkraftwerk und den zwei Mikrogasturbinen erzeugte elektrische Energie wird ebenfalls zu ca. 90 % ins öffentliche Stromnetz eingespeist. Für die Einleitung und Aufrechterhaltung der Prozesse zur Biogaserzeugung wird sowohl Wärme als auch Strom benötigt. Hierzu sind ca. 10 % der erzeugten Wärme und 10 % des erzeugten Stroms der Mikrogasturbinen erforderlich. Das BHKW liefert ebenso

Wärme an den Wärmespeicher und bezieht Biogas, welches auf Erdgasqualität aufbereitet wurde, aus dem öffentlichen Gasnetz. Der Einsatz von zwei Mikrogasturbinen (MGT) und eines BHKW findet einerseits auf Grund der begrenzten zur Verfügung stehenden Biogasmenge statt. Andererseits haben BHKWs höhere Anforderungen an die Gasqualität bzgl. des Mindestmethananteils und der Schwankungsbreite des Methananteils.

Die zwei Gaskessel speisen nur in den oberen Bereich des Wärmespeichers zur Abdeckung von Wärmebedarfsspitzen ein. Der von den Mikrogasturbinen und dem BHKW erzeugte Strom wird dem öffentlichen Stromnetz zugeführt.

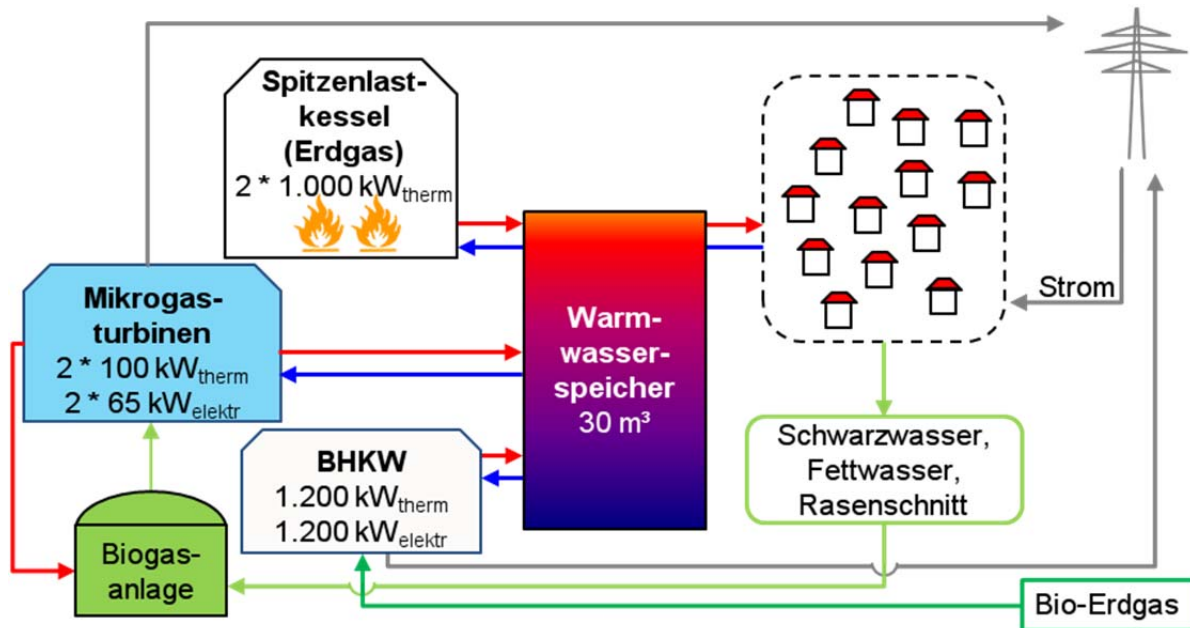


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Energieversorgung des Wohngebiets von System 2

Dimensionierung der Komponenten:

- Mikrogasturbinen: $2 \cdot 100 \text{ kW}_{\text{therm}}$, $2 \cdot 65 \text{ kW}_{\text{elektr}}$; Nutzungsgrad = 0,73; Energieträger Biogas
- Blockheizkraftwerk: $1.200 \text{ kW}_{\text{therm}}$, $1.200 \text{ kW}_{\text{elektr}}$; Nutzungsgrad = 0,84; Energieträger zu Erdgasqualität aufbereitetes, extern erzeugtes Biogas
- Spitzenlastkessel: $2 \cdot 1.000 \text{ kW}_{\text{therm}}$; Nutzungsgrad = 0,88; Energieträger Erdgas
- Wärmespeicher: 30 m^3 , Speichermedium Wasser
- Biogasanlage: anaerobe Schwarzwasservergärung, Fettwasser und Rasenschnitt als Co-Substrate

SYSTEM 3a

Bei System 3a wird das Versorgungsgebiet, entsprechend Abbildung 6, in ein Gebiet Nord und ein Gebiet Süd aufgeteilt. Das Gebiet Nord umfasst 569 Wohneinheiten mit zentraler Wärmeversorgung und das Gebiet Süd umfasst 115 Wohneinheiten mit dezentraler Wärmeversorgung. Die Stromversorgung erfolgt in beiden Gebieten aus dem öffentlichen Netz, wo-

bei die installierte Photovoltaik einen Teil des Strombedarfs des südlichen Gebiets direkt deckt.

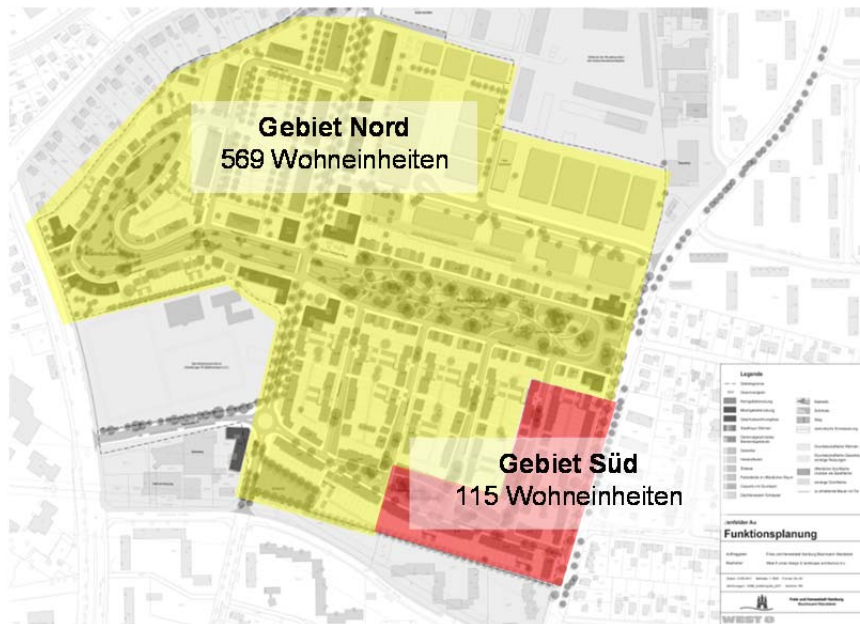


Abbildung 6: Aufteilung des Wohngebiets Jenfelder Au in ein Gebiet Nord und ein Gebiet Süd für System 3a

Gebiet Nord

Das Gebiet Nord wird über ein konventionelles Nahwärmenetz mit Wärme aus einem zentralen Warmwasserspeicher mit einem Volumen von 2.000 m³ versorgt, der durch Mikrogasturbinen, Sonnenkollektoren und einen Spitzenlastkessel thermisch beladen wird. Der Aufbau für das Gebiet Nord von System 3a lässt sich Abbildung 7 entnehmen. Im Stadtquartier fallen Schwarzwasser, Fettwasser und Rasenschnitt als biogene Abfälle an und werden der Biogasanlage zugeführt. Die Abfälle werden aus dem gesamten Wohngebiet bezogen. Das Biogas wird zwei Mikrogasturbinen mit gleichen Leistungsdaten wie in System 2 zugeführt. Analog zu System 2 beladen diese den Warmwasserspeicher und speisen den parallel erzeugten Strom in das öffentliche Stromnetz ein. Die Wärme- und Stromversorgung der Biogasanlage erfolgt ebenfalls analog zu System 2. Zur Deckung des Spitzenlastwärmebedarfs kommt ein Holzhackschnitzelkessel zum Einsatz, der ebenfalls den Wärmespeicher belädt. Für das Gebiet Nord von System 3a sind dezentrale Sonnenkollektoren mit einer Gesamtfläche von 4.500 m² vorgesehen, die auf den Dächern sämtlicher Gebäude installiert sind. Die Einbindung der Sonnenkollektoren in das Wärmeversorgungssystem erfolgt über Wärmeübertrager, die in den Rücklauf des Nahwärmenetzes eingebunden sind.

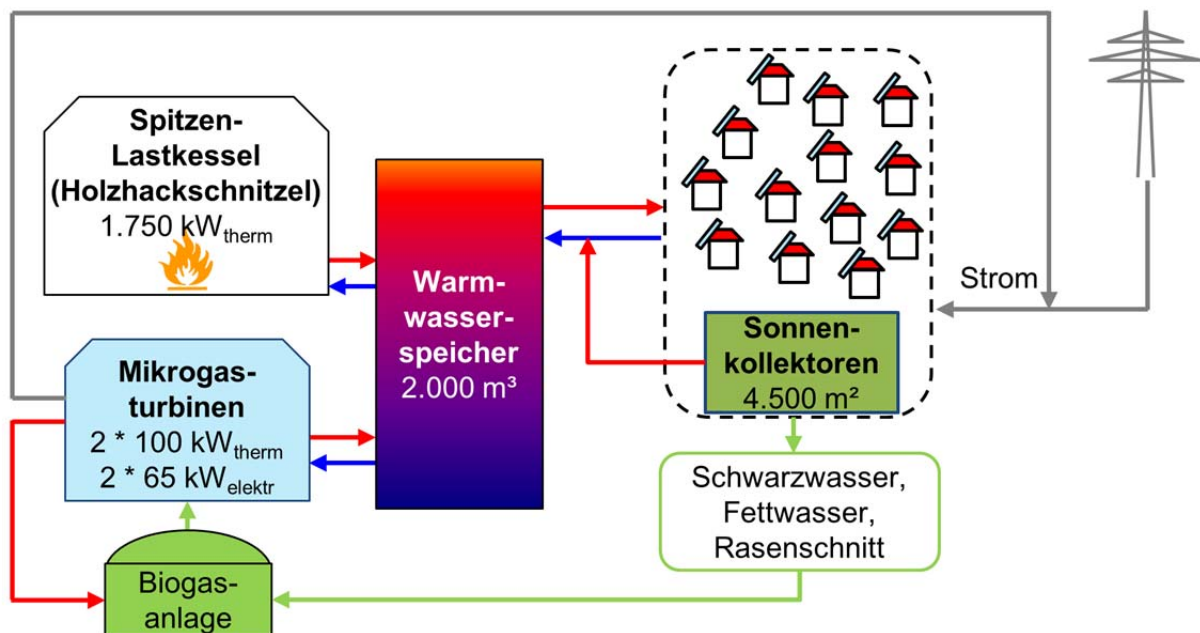


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Energieversorgung für Gebiet Nord von System 3a

Dimensionierung der Komponenten:

- Sonnenkollektoren: 4.500 m² (Aperturfläche), Vakuumröhrenkollektoren
- Mikrogasturbinen: 2 · 100 kW_{therm}, 2 · 65 kW_{elektr}; Nutzungsgrad = 0,73; Energieträger Biogas
- Spitzenlastkessel: 1.750 kW_{therm}; Nutzungsgrad = 0,75; Energieträger Holzhackschnitzel
- Vergärungsanlage: anaerobe Schwarzwasservergärung, Fettwasser und Rasenschnitt als Co-Substrate
- Wärmespeicher: 2.000 m³, Speichermedium Wasser

Gebiet Süd

Für das Gebiet Süd werden einzelne Wohneinheiten, analog zu System 1, betrachtet. Für die Wärmeversorgung werden dezentrale Wärmepumpen und Sonnenkollektoren berücksichtigt. Die Wärmepumpen für das Gebiet Süd werden mit Grundwasser (Entnahmetemperatur 10 °C, Temperaturabnahme um 5 K) als Wärmequelle betrieben. Das Grundwasser wird dabei über ein kaltes Nahwärmenetz den Wärmepumpen zugeführt. Der schematische Aufbau der Energieversorgung einer Wohneinheit ähnelt der von System 1 und ist in Abbildung 8 dargestellt. Zum Einsatz kommen dezentrale Sonnenkollektoren zur Trinkwassererwärmung. Weiterhin wird für die Trinkwassererwärmung eine Wärmepumpe mit einer Leistung von 3,5 kW_{therm} als Nachheizung für den Bereitschaftsteil des Trinkwasserspeichers verwendet. Zusätzlich deckt die Wärmepumpe den Wärmebedarf der Raumheizung.

Photovoltaikanlagen tragen zur Deckung des Strombedarfs bei, wobei der evtl. vorhandene Überschussstrom ins öffentliche Netz eingespeist wird.

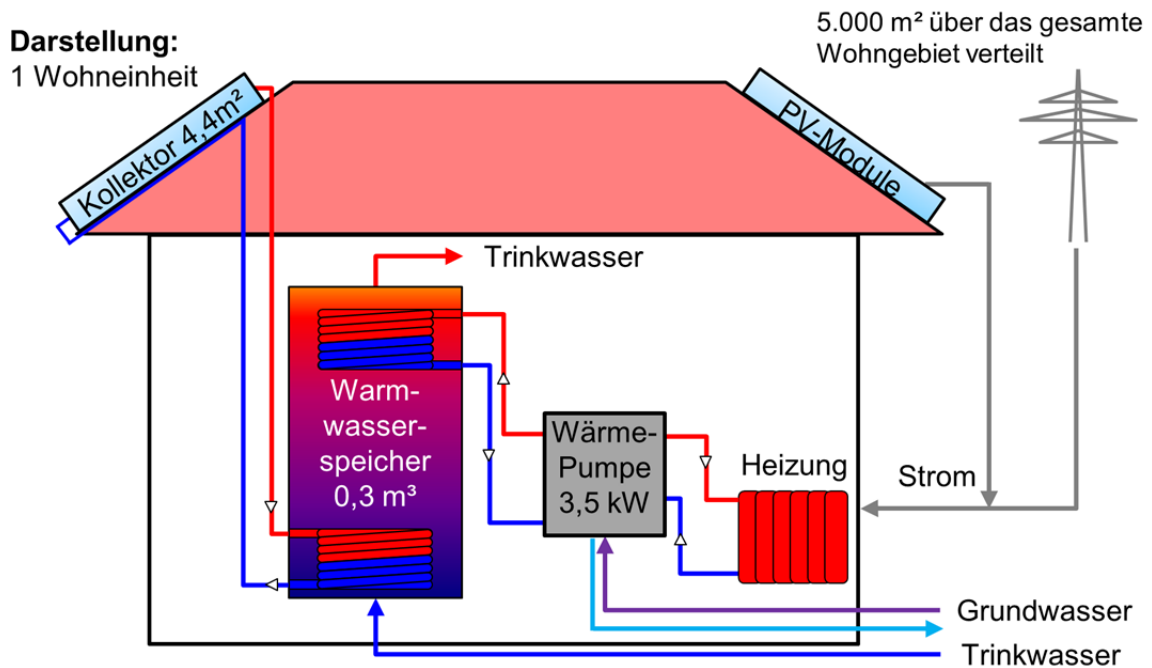


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Energieversorgung einer Wohneinheit im Gebiet Süd von System 3a

Dimensionierung der Komponenten je Wohneinheit:

- Sonnenkollektoren: 4,4 m² (gesamt: 506 m²), Vakuumröhrenkollektor
- Wärmepumpe: 3,5 kW (gesamt: 402,5 kW)
- PV-Module: 5.000 m² (über das gesamte Wohngebiet verteilt)
- Wärmespeicher: 0,3 m³ (gesamt: 34,5 m³), Speichermedium: Wasser

SYSTEM 3b

Das Gebiet Nord von System 3b unterscheidet sich gegenüber System 3a in zwei Punkten. Zum einen durch eine Vergrößerung des Warmwasserspeichers auf 4.000 m³ und zum anderen durch eine Vergrößerung der Sonnenkollektorfläche auf 19.500 m². Die Biogasanlage und die Mikrogasturbinen wurden mit identischer Größe und hydraulischer Verschaltung aus System 3a übernommen. Die Nennleistung des mit Holzhackschnitzel betriebenen Spitzenlastkessels wurde auf 1.500 kW_{therm} verringert. Da sich die Fläche der Sonnenkollektoren mehr als vervierfacht hat, reicht die verfügbare Dachfläche der Wohngebäude nicht aus, so dass hier ausschließlich von einem zentralen Kollektorfeld mit einer Gesamtgröße von 19.500 m² ausgegangen wird. Die Beladung des Speichers durch die Sonnenkollektoren erfolgt daher nicht mehr über den Rücklauf des Nahwärmenetzes sondern direkt, entsprechend Abbildung 9.

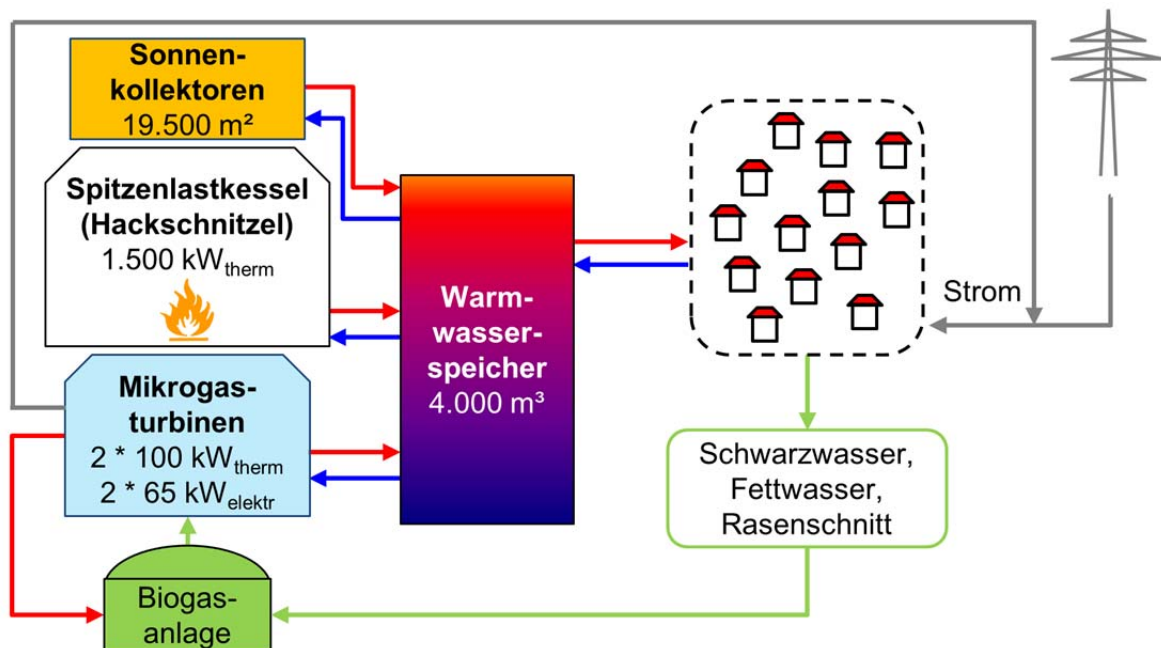


Abbildung 9: Schematische Darstellung der Energieversorgung für das Gebiet Nord von System 3b

Dimensionierung der Komponenten:

- Mikrogasturbinen: $2 \cdot 100 \text{ kW}_{\text{therm}}$, $2 \cdot 65 \text{ kW}_{\text{elektr}}$; Nutzungsgrad = 0,73; Energieträger Biogas
- Sonnenkollektoren: 19.500 m^2 (Aperturfläche), Vakuumröhrenkollektor
- Spitzenlastkessel: $1.500 \text{ kW}_{\text{therm}}$; Nutzungsgrad = 0,75; Energieträger Holzhack-schnitzel
- Warmwasserspeicher: 4.000 m^3 , erdvergraben
- Vergärungsanlage: anaerobe Schwarzwasservergärung

Das Gebiet Süd von System 3b ist identisch zu dem von System 3a aufgebaut. Es findet jedoch eine bilanzielle Substituierung von 15 % des Strombedarfs durch Biogas statt, da dieses hier auch zum Kochen und Backen verwendet wird.

3.4.2 Bewertung der Referenzsysteme

Primärenergetische Bewertung

Zur Ermittlung der ökologischen Auswirkungen der Systeme und zum Vergleich untereinander wird der Primärenergiebedarf herangezogen. Sowohl beim System 2 als auch bei den Systemen 3a und 3b sind stromerzeugende Komponenten vorgesehen:

- System 2: 2 Mikrogasturbinen, Blockheizkraftwerk
- System 3a: 2 Mikrogasturbinen, Photovoltaik-Module
- System 3b: 2 Mikrogasturbinen, Photovoltaik-Module

Das in der Jenfelder Au tatsächlich realisierte Energieerzeugungs- und Versorgungskonzept entspricht System 2. Hierbei wird der erzeugte Strom bis auf den Eigenbedarf der Versorgungsanlagen nicht direkt zur Deckung des Strombedarfs im Quartier verwendet, sondern in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Die in den BHKW-Anlagen erzeugte Wärme hingegen wird in das lokale Nahwärmenetz eingespeist und somit zur Deckung des Wärmebedarfs der Haushalte eingesetzt. Diese Sachverhalte werden auch bei der hier durchgeführten primärenergetischen Betrachtung entsprechend berücksichtigt. Bilanziell werden die BHKW-Anlagen beim System 2 daher entsprechend der Darstellung in Abbildung 10 „zweigeteilt“. Dies betrifft zum einen die Ausgangsgrößen (Output), d.h. die Wärme- und Stromerzeugung, und zum anderen jedoch auch die Eingangsgrößen (Input). Hierfür werden die entsprechenden primärenergetischen Aufwendungen, welche für die erforderlichen vorangehenden Prozessschritte, die zur Erzeugung und ggf. dem Transport des Biogases bzw. Bio-Erdgases erforderlich sind, nur anteilig entsprechend des thermischen Wirkungsgrades bezogen auf den Gesamtwirkungsgrad berücksichtigt.

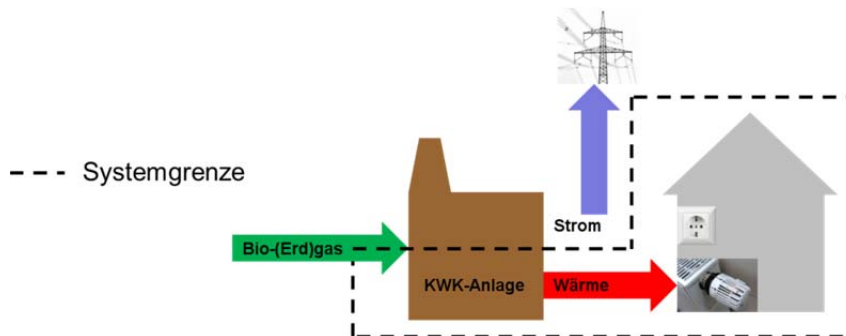


Abbildung 10: Systemgrenzen für System 2 bezüglich der Berücksichtigung der KWK-Anlagen bei der Energieversorgung der Jenfelder Au

Bei den Systemen 3a und 3b wird im Gegensatz zum System 2 davon ausgegangen, dass der erzeugte Strom vollständig zur (anteiligen) Deckung des Strombedarfs des Quartiers eingesetzt wird.

Für die Ermittlung des Primärenergiebedarfs der Energieversorgung der verschiedenen Systeme werden die Primärenergiefaktoren für den nicht erneuerbaren Anteil der in der Jenfelder Au verbrauchten Wärme bzw. des verbrauchten Stroms nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 herangezogen. Da diese keinen Primärenergiefaktor (PEF) für die Bewertung von Bio-Erdgas vorsieht, werden hierfür mit dem Projektkonsortium abgestimmte Annahmen getroffen, welche die nachfolgenden Prozessschritte der Aufbereitung zu Erdgasqualität sowie die Speicherung und Verteilung des Bio-Erdgases berücksichtigen. Der resultierende Wert ergibt sich aus dem PEF für Biogas (0,5) zuzüglich 0,1 für die Aufbereitung zu Erdgasqualität zuzüglich 0,1 für die Speicherung und Verteilung (siehe * in Tabelle 4). In Tabelle 4 sind die relevanten Primärenergiefaktoren aufgeführt.

Tabelle 4: Primärenergiefaktoren für den nicht erneuerbaren Anteil nach EnEV 2009 für die Energieversorgung der Jenfelder Au

| Energiearten | Primärenergiefaktor (nicht erneuerbarer Anteil) |
|-------------------------------|--|
| Erdgas | 1,1 |
| Holz | 0,2 |
| Biogas (für Mikrogasturbinen) | 0,5 |
| Bio-Erdgas (für BHKW) | 0,7* |
| Solarenergie | 0,0 |
| Strom (Strommix) | 2,6 |

Abbildung 11 zeigt den resultierenden jährlichen Primärenergiebedarf für die Energieversorgung mittels der verschiedenen Systeme, aufgeteilt auf die unterschiedlichen Energieträger.

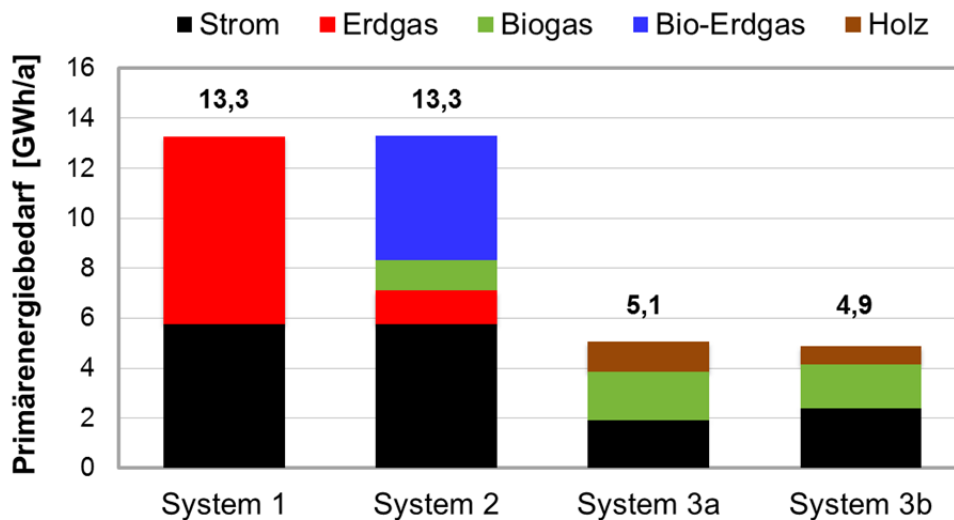


Abbildung 11: Jährlicher Primärenergiebedarf der untersuchten Systeme mit Primärenergiefaktoren für den nicht erneuerbaren Anteil nach EnEV 2009

Bei System 1 wird der Wärmebedarf zu einem großen Anteil durch Erdgas und zu einem kleineren Anteil durch Solarthermie gedeckt, der Strombedarf wird zu 100 % aus dem öffentlichen Stromnetz gedeckt. Daraus resultiert ein sehr hoher Primärenergiebedarf. Bei System 2 resultiert der gleiche Primärenergiebedarf wie bei System 1. Im Gegensatz zu System 1 ist hier keine solarthermische Wärmeerzeugung vorgesehen, dafür wird ein großer Teil des Wärmebedarfs durch Bio-Erdgas bzw. Biogas gedeckt, welches einen geringeren Primärenergiefaktor aufweist als Erdgas.

Bei System 3a kann gegenüber einer dezentralen konventionellen Energieversorgung (System 1) mehr als die Hälfte des Primärenergiebedarfs eingespart werden. Dazu tragen insbesondere der verringerte Strombezug infolge der Stromerzeugung im Stadtquartier durch

Mikrogasturbinen und PV-Module bei. Darüber hinaus wird der Primärenergiebedarf durch die energetische Nutzung von Biogas und Holz zusätzlich zur Nutzung der Sonnenenergie weiter gesenkt. Das System 3b ist in diesem Vergleich das primärenergetisch günstigste Energiekonzept. Der Unterschied gegenüber System 3a ist jedoch nur sehr gering, zudem ist die Realisierung von System 3b mit deutlich höheren Investitionskosten verbunden.

Wirtschaftliche Bewertung

Im AP 5 „Ökonomie und Übertragbarkeit“ des Verbundprojekts wurde das Demonstrationsvorhaben betriebs- und volkswirtschaftlich analysiert. Unter anderem erfolgten im Rahmen dessen erste Modellrechnungen mit abgeschätzten Kosten. Im Rahmen des geplanten Folgeprojekts KREIS(2) sollen diese Modellrechnungen fortgeführt werden, um mit der fortschreitenden Verfeinerung der Daten exaktere Ergebnisse herbeizuführen. Innerhalb des AP1 erfolgte daher nur eine Ermittlung des für die Bewohner resultierenden Wärmepreises (incl. Umsatzsteuer) für die Systeme 1, 2, 3a und 3b. Die hierbei ermittelten Werte basieren auf Recherchen zu entsprechenden ähnlichen bereits umgesetzten Komponenten und Subsystemen, sowie eigenen Berechnungen auf Basis von entsprechenden, vorliegenden Angeboten. Hervorzuheben ist hierbei, dass es sich aufgrund der zeitlichen Verzögerungen im Bauprojekt auch beim System 2 (Hamburg Water Cycle Bau) nur um marktgängige, typische Preise inklusive Umsatzsteuer handelt und nicht um die tatsächlich auf die Bewohner zukommenden Preise.

Der Betrachtungszeitraum der wirtschaftlichen Bewertung lag bei 20 Jahren, die Preissteigerung wurde für Wärme mit 2,1 %, für Strom mit 7,0 % und für Erdgas mit 4,4 % angenommen, basierend auf dem Mittel der letzten 12 Jahre (Wärme und Strom) bzw. der letzten neun Jahre (Erdgas). Die Nutzungsdauer der jeweiligen Komponenten wurde entsprechend einem Arbeitspapier des Bundes technischer Experten angenommen (Agethen, 2007); so wurde für Solarthermieanlagen eine Nutzungsdauer von 25 Jahren, für Gasbrennwertgeräte 20 Jahre, für Wärmeübergabestationen 16 Jahre und Wasserleitungen 40 Jahre angenommen. Wärmespeicher wurden entsprechend ihrer Größe mit unterschiedlichen Nutzungsdauern bewertet; so wurde für kleine, dezentrale Trinkwarmwasserspeicher eine Nutzungsdauer von 20 Jahren und für große zentrale Wärmespeicher, die in Zusammenhang mit dem Nahwärmenetz eingesetzt werden, eine Nutzungsdauer von 50 Jahren angenommen.

Abbildung 12 zeigt eine vergleichende Darstellung des für die verschiedenen Systeme ermittelten Wärmepreises.

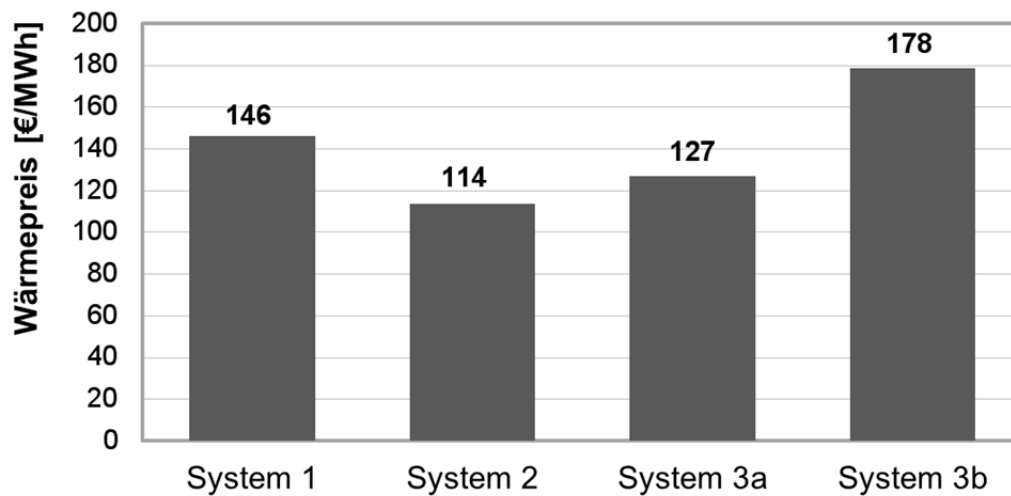


Abbildung 12: Ermittelter Wärmepreis der untersuchten Systeme

Aus Abbildung 12 geht hervor, dass der Wärmepreis bei System 2 am geringsten ist, gefolgt von System 3a, System 1 und schlussendlich System 3b. Bei System 3b ist der Wärmepreis aufgrund der sehr großen Kollektorflächen verglichen mit den anderen Systemen am höchsten, jedoch ist auch zu berücksichtigen, dass der solare Deckungsanteil hier mit Abstand am höchsten ist. Der Wärmepreis bei System 1 ist relativ hoch, da hier die Wärmeversorgung dezentral erfolgt und somit viele dezentrale Wärmeerzeugungsanlagen benötigt werden.

Da der Wärmepreis bei System 3a verglichen mit System 2 nur geringfügig höher ist, hier jedoch der Primärenergiebedarf deutlich geringer ist, wird unter Berücksichtigung primärenergetischer und wirtschaftlicher Aspekte insgesamt das System 3a als optimal angesehen. Die Untersuchungen zur Optimierung des Betriebsverhaltens erfolgten daher für das System 3a.

3.4.3 Optimierung Betriebsverhalten

In Abhängigkeit von der Vernetzung der verschiedenen Wärmequellen und -senken können verschiedene Maßnahmen ergriffen werden, um ein unter ökonomischen und ökologischen Aspekten optimales Betriebsverhalten zu erreichen. Dieser Fragestellung wird für das System 3a nachgegangen. Im Bereich der ökologischen Optimierung wird der Schwerpunkt auf die Minimierung des Primärenergiebedarfs gelegt, im Bereich der ökonomischen Optimierung hingegen auf die Minimierung der Kosten für die Bewohner. Im Rahmen dieser Fragestellung werden nur Maßnahmen zur Optimierung des Betriebsverhaltens betrachtet, jedoch keine Maßnahmen, die bauliche Veränderungen erfordern würden.

Im Folgenden sind die betrachteten Kategorien dargestellt. Die entsprechenden Einsparpotentiale auf der energetischen und wirtschaftlichen Seite werden für das System 3a durch entsprechende Berechnungen ermittelt.

- **Modifikation Betriebszeiten Mikrogasturbinen**
In der Jenfelder Au ist nur ein relativ kleiner Gasspeicher mit einem Volumen von 400 m³ geplant. Demzufolge sind auch die Mikrogasturbinen in der Jenfelder Au da-

rauf ausgelegt, bis auf Revisionszeiten ganzjährig in Betrieb zu sein. Somit ist es nicht möglich, durch eine modifizierte Betriebsweise der Mikrogasturbinen ein Optimierungspotential in energetischer, wirtschaftlicher oder ökologischer Hinsicht zu erzielen.

- **Modifikation Trinkwarmwasser-Zapfprofil durch aktive Einbeziehung der Nutzer (Gebiet Süd)**
Eine Möglichkeit, gegebenenfalls Primärenergie einzusparen, ist die aktive Einbeziehung der Nutzer und daraus resultierend eine Modifikation des Nutzerverhaltens. Es wurde analysiert, welches primärenergetische Einsparpotential durch eine Modifikation des Trinkwarmwasser-Zapfprofils erreicht werden kann. Hierzu wurden entsprechende Simulationsrechnungen mit verschiedenartig modifizierten Varianten des Zapfprofils durchgeführt. Speziell wurden hier Zapfungen aus den Morgenstunden in die Mittag- und Abendstunden verschoben, um den Wärmebedarf besser an die solare Strahlungsleistung anzugleichen. Hierbei zeigte sich jedoch kein signifikantes Potential zur Primärenergieeinsparung, da die dezentralen Wärmespeicher über eine ausreichend große Wärmespeicherkapazität verfügen, um den solaren Wärmeeintrag über den Tagesverlauf puffen zu können. Eine ökologische Verbesserung lässt sich somit mit dieser Maßnahme nicht erreichen.
- **Nachtbetrieb der dezentralen Wärmepumpen statt kontinuierlichem Betrieb (Gebiet Süd)**
Die für die Raumheizung erforderliche Wärmeleistung weist, insbesondere aufgrund des sehr guten Gebäudedämmstandards und bei Vernachlässigung von passiven, solaren Wärmegegewinnen, nur vergleichsweise geringe Schwankungen im Tagesverlauf auf. Viele Stromanbieter in Hamburg unterscheiden bei der Preisgestaltung zwischen Haupt- und Nebenzeit. Falls die Gebäude mit Fußbodenheizungen mit einer relativ großen Wärmespeicherkapazität ausgestattet sind, ist eine Verlagerung der Betriebstätigkeit der Wärmepumpen vom Tag in die Nacht möglich. Die wirtschaftlichen Vorteile für die Bewohner, die sich aus dieser Veränderung ergeben, belaufen sich im vorliegenden Fall je nach Stromanbieter auf etwa 20 bis 80 Euro pro Jahr. Wird jedoch der Betrieb der PV-Anlagen in diese Betrachtung mit einbezogen, so führt dies zu ökologischen Nachteilen, da bei einem Nachtbetrieb der Wärmepumpen der PV-Strom nicht mehr direkt genutzt werden kann. Daher muss einerseits der PV-Strom ins öffentliche Netz eingespeist werden, was dort zu Überkapazitäten führen kann und andererseits muss für den Nachtbetrieb der Wärmepumpen Strom aus dem öffentlichen Netz bezogen werden. Damit sinkt der Anteil des eigengenutzten PV-Stroms deutlich.
- **Modifikation Nahwärmenetz-Massenstrom (Gebiet Nord)**
Im Gebiet Nord wird davon ausgegangen, dass die dezentral platzierten Sonnenkollektoren in den Rücklauf des Nahwärmenetzes einspeisen, somit sind zusätzliche Rohrleitungen, die zu weiteren Wärmeverlusten führen würden, nicht notwendig. Der Massenstrom im Nahwärmenetz hat daher einen wesentlichen Einfluss auf den Kollektorertrag. Im Referenzfall wird dieser entsprechend des Wärmeabnahmebedarfs der durch die Sonnenkollektoren gelieferten Wärme geregelt. Um Optimierungspotentiale aufzudecken, wurden verschiedene Modifikationen des Massenstroms betrachtet: Einerseits ein konstanter Massenstrom über das Jahr hinweg und andererseits ein saisonal abhängiger Massenstrom der im Sommer geringer ist als im Winter. Die Analysen ergaben, dass bei einem konstanten, hohen Volumenstrom von 80 m³/h

über das Jahr hinweg zwar der solare Wärmeertrag deutlich steigt, aber auch die Wärmeverluste des Nahwärmenetzes. Zusätzlich führt der höhere solare Wärmeertrag im Sommer zeitweise zu einem Abschalten der Mikrogasturbinen. Die daraus resultierenden Einbußen an erzeugtem Strom müssen durch den entsprechenden Strombezug aus dem öffentlichen Stromnetz ausgeglichen werden, woraus ein erhöhter Primärenergiebedarf resultiert. Des Weiteren muss das in dieser Zeit nicht verbrauchte Biogas in einem Gasspeicher zwischengespeichert werden, um die Biogasanlage und den damit verbundenen sehr trägen Vergärungsprozess nicht drosseln zu müssen. Somit ist ein Abschalten der Mikrogasturbinen nur für einige wenige zusammenhängende Wochen möglich.

Schlussendlich haben die vorgenommenen Untersuchungen gezeigt, dass durch keine der untersuchten Modifikationen des Massenstroms im Nahwärmenetz eine relevante primärenergetische Einsparung und damit ökologische Verbesserung des Gesamtsystems erzielt werden kann.

Zusätzlich zu den oben genannten Möglichkeiten zur Optimierung des Betriebsverhaltens gibt es Möglichkeiten, das Energieversorgungskonzept durch entsprechende Modifikationen in der Auslegung der Komponenten zu optimieren. Da dies jedoch mit baulichen Veränderungen verbunden wäre, werden diese Optimierungspotentiale im Rahmen dieser Fragestellung nicht betrachtet. Ansätze hierfür könnten jedoch sein:

- **Saisonale Biogasspeicherung**
Durch eine saisonale Biogasspeicherung könnte das im Sommerhalbjahr erzeugte Biogas bis in den Winter hinein gespeichert werden. Dies würde zu einer Erhöhung des solarthermischen Nutzungsgrades und demzufolge zu einer primärenergetischen Einsparung führen. Hierbei ist zu beachten, dass nicht nur ein entsprechend großer Gasspeicher benötigt wird, sondern auch die Mikrogasturbinen deutlich größer ausgelegt werden müssten.
- **Thermische Hygienisierung nur zu Zeiten, in denen Wärmeüberschuss besteht**
Die Hygienisierung der Gärreste kann durch folgende drei Maßnahmen erfolgen: Kompostierung, Pasteurisierung ohne Wärmerückgewinnung und Pasteurisierung mit Wärmerückgewinnung. Die Variante, die sich hierbei aus energetischer Sicht als Optimum herausgestellt hat, ist die Hygienisierung durch Kompostierung. In diesem Fall ist keine Energiezufuhr erforderlich, da die Hygienisierung durch Zugabe frischer Kohlenstoff-Quellen wie frisches Schnittgut eingeleitet wird. Diese Art der Hygienisierung wird daher auch bei den simulationsbasierten Untersuchungen der Systeme 2, 3a und 3b (siehe 3.4.1) berücksichtigt. Bei der thermischen Hygienisierung durch Pasteurisierung hingegen wird eine signifikante Wärmemenge für die Aufwärmung der Gärreste und den Ausgleich der Wärmeverluste während des Pasteurisierungsprozesses benötigt.

3.4.4 Solarthermie-Nutzungsmodelle

Die Umsetzung von ressourcenschonenden und nachhaltigen Konzepten zur Energieversorgung von Quartieren mit lokal verfügbaren Energieressourcen stellt insbesondere in innerstädtischen Gebieten mit hoher Bebauungsdichte eine große Herausforderung dar. Begrenzte Frei- oder Dachflächen, rechtliche Vorgaben und logistische Aufgaben erfordern einen möglichst effizienten Umgang mit den vor Ort zur Verfügung stehenden Ressourcen. Eine

Wärmeversorgung des Quartiers mit einem möglichst hohen Anteil an regenerativen, vor Ort erzeugten Energien, z.B. durch Solarthermie, erfordert das Vorhandensein von sehr großen Dach und/oder Fassadenflächen, bzw. Freiflächen. In innerstädtischen Gebieten wird der solare Deckungsanteil in einem Nahwärmenetz daher oftmals die Verfügbarkeit von geeigneten Flächen zur Installation der Sonnenkollektoren begrenzt. Ein Ausweg kann die zentrale Nutzung privater (Dach-)Flächen zur solarthermischen Wärmeversorgung von Quartieren durch sogenannte „Solarthermie-Nutzungsmodelle“ sein. Im System 3a dieses Berichts wird von einer solchen zentralen Nutzung privater (Dach-)Flächen ausgegangen, da entsprechend große zentrale Flächen in der Jenfelder Au nicht vorhanden sind. Die Umsetzung eines solchen Modells in die Realität erfordert entsprechende technische, rechtliche und finanzielle Regelungen zur Öffnung von Wärmenetzen für die Einspeisung durch dezentrale Wärmeerzeuger. Als Vorbild hierfür könnte das für die in den Bereichen Elektrizität und Gas gültige Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) herangezogen werden, das die Nutzung der Netze durch verschiedene Anbieter zur Durchleitung des jeweiligen Energieträgers gestattet. Im Rahmen des Projekts wurden eine Analyse der Voraussetzungen und Hemmnisse von Solarthermie-Nutzungsmodellen, sowie eine Recherche nach entsprechenden umgesetzten Pilotprojekten durchgeführt.

3.5 Vernetzung der Energieinseln und Planungsempfehlungen (TAP 1.5)

3.5.1 Simulationsstudie Energieinseln

Bei einem konventionellen Nahwärmenetz wird meist die von verschiedenen Wärmequellen erzeugte Wärme in einen zentralen thermischen Energiespeicher eingespeist. Alle Gebäude des zu versorgenden Stadtquartiers werden über Rohrleitungen an diesen angebunden und so mit Wärme versorgt. Daraus resultiert mit steigendem Abstand zwischen Wärmespeicher oder -erzeuger und Gebäuden ein Anstieg der Rohrleitungswärmeverluste. Eine alternative, innovative Möglichkeit zur Energieversorgung von Stadtquartieren stellt die Realisierung von sogenannten Energieinseln dar. In Bezug auf die Wärmeversorgung erfolgt hierbei bei diesen eine weitgehend unabhängige Versorgung von einzelnen, abgegrenzten Gebäudegruppen des Stadtquartiers, welche sich in einem relativ großen Abstand zu den zentralen Wärmeerzeugern befinden. Die daraus resultierenden kürzeren Rohrleitungen führen zu geringeren Wärmeverlusten und somit zu energetischen Vorteilen.

Mittels Simulationsrechnungen wurden die Auswirkungen der Realisierung von Energieinseln auf die energetische Gesamteffizienz von Stadtquartieren untersucht und aufgezeigt. Die Analyse der Konzepte ergab, dass die Realisierung einer Energieinsel in der betrachteten Größenordnung zwischen 10 und 50 Wohneinheiten im Vergleich zu einem konventionellen Nahwärmenetz bereits ab einem vernachlässigbar geringen Abstand von wenigen Metern zwischen den zentralen Wärmeerzeugern und Wärmespeichern und der abgegrenzten Gebäudegruppe unter energetischen Aspekten sinnvoll ist. Mit zunehmendem Abstand steigen die Rohrleitungswärmeverluste bei dem konventionellen Nahwärmenetz deutlich an, wodurch je nach eingesetzten Energiequellen auch ein Anstieg im Primärenergiebedarf re-

suliert. Detaillierte Informationen zu den hier zusammengefassten Erkenntnissen befinden sich in (Stübler, 2013).

3.5.2 Identifikation von Energieinseln in der Jenfelder Au

Es wird davon ausgegangen, dass die Energieinseln an das öffentliche Stromnetz angeschlossen werden. Daher bezieht sich dieser Abschnitt nur auf die wärmetechnische Vernetzung von Energieinseln.

Es erfolgte eine Analyse der Jenfelder Au zur Ermittlung von geeigneten Energieinseln. Hierbei wurden die folgenden Randbedingungen berücksichtigt:

- **Geografische Aspekte**
Energieinseln sind aus energetischen Aspekten besonders dann effizient, wenn sie sich in großer Entfernung zu den zentralen Wärmequellen befinden. Schreibt der Bebauungsplan jedoch eine Anschlusspflicht eines Teils des Stadtquartiers oder bestimmter Gebäude an das Nahwärmenetz vor, so eignen sich diese Gebäude nicht zur Bildung von Energieinseln.
- **Bebauungsstruktur**
Mehrfamilienhäuser weisen i.d.R. eine hohe Bebauungsdichte auf. Daher eignen sich diese Gebäude für die Realisierung von Energieinseln besonders gut, wenn die Gebäude einerseits weit entfernt von den zentralen Wärmequellen liegen und andererseits die Transportleitungen durch Gebiete mit geringer thermischer Anschlussleistung führen. Somit liegen dort die größten Einsparpotentiale bzgl. der Wärmeverluste der Transportleitungen.
- **Dachausrichtung**
Der Bebauungsplan weist verschiedene Passagen auf, die für die Festlegung der Dachausrichtung relevant sind. Teile der geplanten Gebäude müssen demnach mit Flachdächern realisiert werden, bei anderen Gebäuden ist jedoch die Realisierung von Pultdächern mit einer Neigung von maximal 30° in Südrichtung erlaubt.

Unter Berücksichtigung der Vorgaben für den Anschlusszwang an das Nahwärmenetz (Abbildung 5) und der Überschneidungen mit den drei oben genannten Randbedingungen ergeben sich die Gebäudegruppen, die in Abbildung 13 mit schwarzer Farbe hinterlegt wurden. Diese würden sich für die Realisierung von Energieinseln folglich besonders gut eignen.

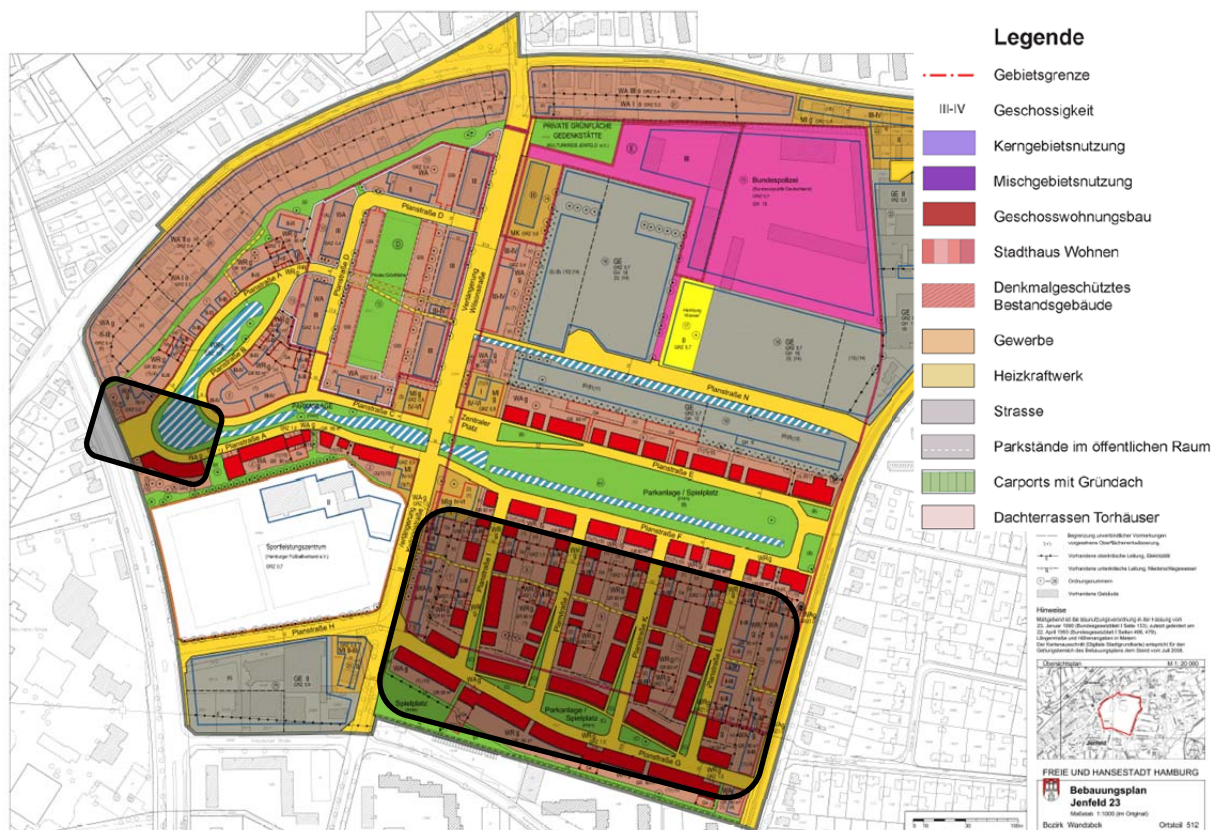


Abbildung 13: Gebäudegruppen der Jenfelder Au, die sich für eine Realisierung von Energieinseln besonders eignen würden [Bezirk Wandsbek, 2011 und SWT mit Eintragung der Gebiete zur möglichen Realisierung von Energieinseln]

Detaillierte Informationen zu der hier dargestellten Untersuchung befinden sich in dem als Anhang B beigefügten Fragen- und Ergebniskatalog (F&E-Katalog) in Zusammenhang mit der Beantwortung von Frage Nr. 28, „Welche Sub-Stadtquartiere bzw. Baufelder eignen sich zur Bildung von Energieinseln und wie wird die Vernetzung optimal gestaltet? (für Jenfelder Au und für zukünftige Bauprojekte“.

Um auch bei der Realisierung von Energieinseln zu jedem Zeitpunkt eine ausreichende Wärmeversorgung der Gebäude sicherstellen zu können, muss eine der folgenden Anforderungen erfüllt sein:

1. Eine geeignete Kombination von thermischen Speichern und Wärmeerzeugern muss vorhanden sein. Besonderes Augenmerk muss auf die jeweilige Dimensionierung gelegt werden. In Zusammenhang mit der Beantwortung der Frage Nr. 30 des F&E-Katalogs „Wie kann die kontinuierliche Wärmeversorgung von Energieinseln sichergestellt werden?“ wird ein Vergleich zwischen verschiedenen Varianten von Spitzenlastkesseln hinsichtlich der folgenden Kriterien durchgeführt:
 - Ökologische Eigenschaften
 - Ökonomische Eigenschaften
 - Platzbedarf Brennstofflagerung
 - Aufwand für Transport / Erschließung
 - Takt- und Modulationseigenschaften der Wärmeerzeuger

2. Die Energieinsel muss mit einem nahegelegenen Nahwärmenetz bzw. weiteren Wärmeerzeugern vernetzt sein, welche zu Zeiten in denen innerhalb der Energieinsel zu wenig Wärme erzeugt wird, ausreichend Wärme bereitstellen können. Dies kann entweder über ein konventionelles Nahwärmenetz oder ein kaltes Nahwärmenetz erfolgen. Weitere Informationen hierzu können auch der Antwort zu der Frage Nr. 29 des F&E-Katalogs „Ist ein kaltes Nahwärmenetz eine sinnvolle Alternative zur konventionellen Wärmeverteilung der Wärmeleistung aus Geothermie?“ entnommen werden.

3.5.3 Wärmeversorgung durch kalte Nahwärme und Solarthermie

Ein Vergleich des Konzepts der kalten Nahwärme mit einem konventionellen Wärmeverteilnetz, das durch aus dem Grundwasser mittels einer zentralen Wärmepumpe gewonnener Wärme gespeist wird, hinsichtlich energetischer Aspekte ergibt, dass kalte Nahwärme einen vielversprechenden Ansatz zur Reduktion von Wärmeverlusten der Rohrleitungen des Wärmenetzes darstellt (Bestenlehner 2014; Stübler 2014). Bei einer Temperatur des Wärmeverteilnetzes von konstant 90 °C betragen die Wärmeverluste für den hier untersuchten Anwendungsfall bezogen auf die an die Verbraucher gelieferte Wärmemenge 25 %. Dieser Wert kann bei einer Temperatur von 60 °C auf 19 % und beim Einsatz von kalter Nahwärme (10 °C) auf 5 % gesenkt werden. Im Fall der kalten Nahwärme können im Sommer sogar Wärmegewinne erzielt werden, wenn die Erdreichtemperatur in Verlegetiefe des Verteilnetzes über der Betriebstemperatur des Wärmenetzes liegt. Da die Wärmeverluste des kalten Nahwärmenetzes im Winter teilweise durch Wärmegewinne im Sommer kompensiert werden, betragen in der Jahres-Gesamtbilanz die effektiven Wärmeverluste der kalten Nahwärme daher nur noch 2 %. Diese Ergebnisse wurden anhand des Primärenergiebedarfs bewertet und mit einem Referenzkonzept, der Wärmeerzeugung mittels Gaskessel und einer Wärmeverteilung bei 90 °C, verglichen. Der Vergleich zeigt, dass der Primärenergiebedarf bei einer Wärmeverteiltemperatur von 90 °C unabhängig davon, ob Gas oder eine Grundwasser-Hochtemperatur-Wärmepumpe zur Wärmeerzeugung eingesetzt wird, auf einem ähnlichen Niveau liegt. Davon ausgehend kann der Primärenergiebedarf bei einer Verteiltemperatur von 60 °C in Verbindung mit einer Grundwasser-Wärmepumpe um 45 % reduziert werden. Dies liegt neben den verringerten Verlusten des Wärmeverteilnetzes ganz wesentlich auch an der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe, die mit sinkender Wärmesenken- bzw. Betriebstemperatur deutlich ansteigt. Das Konzept der kalten Nahwärme (Wärmeverteiltemperatur 10 °C) führt zu einer Absenkung des Primärenergiebedarfs um weitere 6 %. Eine weitere Reduzierung des Primärenergiebedarfs kann durch die Integration von thermischen Solaranlagen erzielt werden. Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die Integration von 5 m² Sonnenkollektoren je Wohneinheit zu einer Absenkung des Primärenergiebedarfs von 18 % gegenüber der kalten Nahwärme ohne Solarthermie-Integration führt. Gegenüber der Ausgangsvariante, d.h. einem mit 90 °C betriebenen Wärmenetz, das mittels Gaskesseln oder Hochtemperatur-Wärmepumpen gespeist wird, ergibt sich somit eine Reduktion des Primärenergiebedarfs durch den Einsatz von individuellen thermischen Solaranlagen von ca. 60 %. Detaillierte Informationen zu den hier zusammengefassten Ergebnissen befinden sich in (Bestenlehner 2014; Stübler 2014).

3.5.4 Spitzenlast-Wärmeerzeuger

Für ein ökologisches und ökonomisches Gesamtkonzept der Energieversorgung von Stadtquartieren hat auch die Wahl und Auslegung der Zusatzheizung zur Deckung des Spitzenlast-Wärmebedarfs eine wichtige Relevanz. Ihre Dimensionierung ist abhängig vom Wärmelastprofil, von den übrigen zur Verfügung stehenden Wärmequellen, sowie von der Speicherkapazität des Wärmenetzes sowie der installierten thermischen Energiespeicher. Im Rahmen dieser Fragestellung wurde untersucht, welche Technologie zur Abdeckung der Wärmebedarfsspitzen unter ökonomischen und ökologischen Aspekten am besten geeignet ist.

Hierbei wurden die folgenden Wärmeerzeuger berücksichtigt:

1. Gas-Brennwertkessel, Energieträger Erdgas
2. Ölkessel
3. Pelletkessel
4. Hackschnitzelkessel

Im Stadtquartier Jenfelder Au wird von einem Wärmebedarf für die Raumheizung und Trinkwassererwärmung von ca. 7 GWh/a ausgegangen. Zuzüglich ist mit Rohrleitungswärmeverlusten von ca. 15 – 25 % des Wärmebedarfs zu rechnen. Je nach betrachtetem Wärmeversorgungskonzept und Größe der betrachteten Gebäudegruppe sowie insbesondere der berücksichtigten thermischen Speicherkapazität der zusätzliche installierten Wärmespeicher muss ein unterschiedlich hoher Anteil des Wärmebedarfs durch Spitzenlastkessel gedeckt werden. Bei Annahme eines durchschnittlich zu deckenden Anteils von 10 % des gesamten Wärmebedarfs des Stadtquartiers durch den Spitzenlast-Wärmeerzeuger zeigen die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen, dass aus ökonomischer Sicht ein Hackschnitzelkessel die beste Variante darstellt. Aus ökologischer Sicht sind Pelletkessel und Hackschnitzelkessel gleichermaßen empfehlenswert. Die detaillierte Beschreibung der durchgeführten Untersuchung sowie der daraus resultierenden Ergebnisse kann dem F&E-Katalog (s. Anhang B) in Zusammenhang mit der Frage Nr. 17, „Welche Technologie ist zur Abdeckung der Wärmebedarfsspitzen am besten geeignet (ökonomisch und ökologisch)?“ entnommen werden.

3.5.5 Vorversion Planungsempfehlungen

Basierend auf den innerhalb dieses Forschungsvorhabens erzielten Ergebnissen und gewonnenen Erkenntnisse wurde als Planungshilfe die „*Vorversion Planungsempfehlungen*“ für die Erarbeitung von Konzepten für eine effiziente und ressourcenschonende Wärmeversorgung von neu zu errichtenden Stadtquartieren erarbeitet. Diese soll dazu dienen, die Realisierung entsprechender innovativer Energieversorgungskonzepte von zukünftig zu bauenden Stadtquartieren zu vereinfachen. Das Dokument enthält ein Schema zur allgemeinen Vorgehensweise sowie wesentliche Hinweise zum spezifischen Vorgehen bei der Planung von Wärmeversorgungskonzepten. Verschiedene untersuchte Technologien zur Wärmeerzeugung, Wärmerückgewinnung und Wärmeverteilung werden vorgestellt, wobei der Schwerpunkt auf der Nutzung lokal anfallender bzw. vorkommender Ressourcen liegt. Anschließend werden Erkenntnisse und Empfehlungen vorgestellt, die aus den Ergebnissen dieses For-

schungsvorhabens resultieren. Es ist geplant, die erarbeitete Vorversion unter Berücksichtigung der während der geplanten anschließenden Betriebsphase KREIS(2) gewonnenen Erkenntnisse entsprechend zu modifizieren bzw. zu erweitern und in eine Endversion zu überführen. Der aktuelle Stand der Planungsempfehlungen ist dem Anhang zu entnehmen.

4 Anschlussfähigkeit und voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse

Infolge der Bauzeitenverschiebung werden die ersten Anwohner in der Jenfelder Au erst gegen Ende des Jahrs 2015 und somit nach dem Ende der Laufzeit des gegenwärtigen Forschungsvorhabens erwartet. Alle wissenschaftlichen Fragestellungen, welche sich mit dem Einfahrbetrieb der technischen Infrastruktur und der Bewertung des neuen Energieversorgungs- und Abwasserentsorgungskonzepts aus technologischer, ökologischer, ökonomischer und soziologischer Sicht beschäftigen, können somit erst in einem Anschlussvorhaben umfassend bearbeitet und abschließend beantwortet werden. Insbesondere weil die Erfassung und Analyse der Energieströme und der Investitions- und Betriebskosten, sowie damit die Bewertung der Exportchancen, aber auch die Identifikation von Nachfolgeprojekten im In- und Ausland nicht in der Vorbereitungsphase erfolgen kann, ist die wissenschaftliche und wirtschaftliche Notwendigkeit eines Anschlussprojektes gegeben.

Eine Skizze für den Dachantrag des entsprechenden geplanten Anschlussvorhabens KREIS(2) wurde von Anfang Oktober 2013 von der Koordinatoren des Verbundprojekts, der Hamburger Stadtentwässerung und der Bauhaus-Universität Weimar, beim Projektträger eingereicht. Basierend auf den Ergebnissen von Gesprächen mit Vertretern des BMBF sowie des Projektträgers wurden die im Folgeprojekt KREIS(2) zu bearbeitenden Themen und finanziellen Budgets deutlich reduziert und dem Projektträger mit Datum vom 18.08.2014 ein Dachantrag für die Betriebsphase der in der Jenfelder Au installierten Anlagentechnik von den Koordinatoren des Verbundprojekts eingereicht.

Von SWT wurde mit Datum vom 03.12.2014 der Antrag für das sogenannte „Teilprojekt 4“ der Phase 2 des Projekts KREIS bzw. KREIS(2) eingereicht. Die zentralen Aufgaben von SWT im Teilprojekt 4 sind die Leitung des APs 3 „Verwertung und Nutzung“, sowie die Evaluierung und Optimierung des in KREIS(1) entwickelten innovativen Energieversorgungskonzepts. Zusätzlich soll eine Mitarbeit im AP 4 „Ökonomie und Gesellschaft“ sowie im AP 5 „Verbundprojektkoordination“ erfolgen. Eine Rückmeldung des PTJ zum Antrag von SWT steht bis zum heutigen Zeitpunkt (Ende Oktober 2015) aus.

In Bezug auf die Energietechnik sollen durch eine Analyse der einzelnen Subsysteme auf Basis von Messdaten Optimierungsmaßnahmen zur Verbesserung des Betriebsverhaltens erarbeitet werden. Bestandteil dessen ist auch die Entwicklung und Analyse von Maßnahmen zur Effizienzsteigerung und Erhöhung des Anteils der aus regenerativen Energiequellen bereitgestellten Energie. In diesem Zusammenhang sollen Maßnahmen zur Reduktion der Wärmeverluste des Wärmenetzes erarbeitet werden, sowie die Möglichkeiten zur thermischen Verwertung von Grauwasser im Stadtquartier untersucht werden. Zusätzlich sollen Energieinseln realisiert, deren Energieversorgung messtechnisch evaluiert und anschließend hinsichtlich energetischer Aspekte optimiert werden. Die in diesem Verbundvorhaben entwickelten Lösungen sind eine maßgebliche Voraussetzung, um das geplante Folgeprojekt erfolgreich und im geplanten zeitlichen Umfang bearbeiten zu können.

5 Projektmanagement, Zusammenarbeit und Veröffentlichungen

Im folgenden Kapitel werden die Aktivitäten seitens SWT bzgl. des Projektmanagements, der Zusammenarbeit mit den Partnern des Projektkonsortiums sowie die verfassten Veröffentlichungen über Ergebnisse der Forschungsarbeiten im Projekt KREIS beschrieben.

5.1 Projektmanagement, Federführung im AP1

Im Zusammenhang mit den Forschungsarbeiten erstellte SWT Berichte, organisierte Projekt-treffen und publizierte die Forschungsergebnisse bei diversen Veranstaltungen.

5.1.1 Berichtswesen

Im Projektverlauf wurden insgesamt sechs Zwischenberichte (ZB), vier Zwischennachweise (ZN), ein Verwendungsnachweis (VN) und ein Schlussbericht (SB) verfasst. Die erstellten und beim Projektträger eingereichten Dokumente sind in Tabelle 5 tabellarisch aufgeführt.

Tabelle 5: Übersicht Berichtswesen

| Laufende Nummer | Inhaltlicher Stand | Berichtszeitraum |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|
| ZN Nr. 1 | Dezember 2011 | 01.11.2011 bis 31.12.2011 |
| ZB Nr. 1 | Juni 2012 | 01.11.2012 bis 30.06.2012 |
| ZB Nr. 2 | Dezember 2012 | 01.07.2012 bis 31.12.2012 |
| ZN Nr. 2 | Dezember 2012 | 01.01.2012 bis 31.12.2012 |
| ZB Nr. 3 | Juni 2013 | 01.01.2013 bis 30.06.2013 |
| ZB Nr. 4 | Dezember 2013 | 01.07.2013 bis 31.12.2013 |
| ZN Nr. 3 | Dezember 2013 | 01.01.2013 bis 31.12.2013 |
| ZB Nr. 5 | Juni 2014 | 01.01.2014 bis 30.06.2014 |
| ZB Nr. 6 | Dezember 2014 | 01.07.2014 bis 31.12.2014 |
| ZN Nr. 4 | Dezember 2014 | 01.01.2014 bis 31.12.2014 |
| SB | Februar 2015 | 01.11.2011 bis 28.02.2015 |
| VN | Februar 2015 | 01.11.2011 bis 28.02.2015 |

5.1.2 Projektadministration

Im Rahmen der Federführung des Arbeitspakets 1 (Energietechnik) wurden während der Projektlaufzeit insgesamt neun AP1-Projekt-treffen organisiert und durchgeführt und die Ergebnisse der Treffen in entsprechenden Protokollen dokumentiert. Detailliertere Informationen zu den einzelnen Treffen sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6: Übersicht AP1-Projekttreffen

| Laufende Nummer | Ort und Datum | Teilnehmende Institutionen² |
|------------------------|---|---|
| Projekttreffen Nr. 1 | 19.01.2012, Stuttgart (SWT) | HSE, BUW, TUHH, Buhck, CAH, SWT, EGS-Plan |
| Projekttreffen Nr. 2 | 18.04.2012, Hamburg (HSE) | HSE, TUHH, Buhck, CAH, SWT |
| Projekttreffen Nr. 3 | 11.10.2012, Hamburg (TUHH) | HSE, TUHH, Buhck, CAH, SWT |
| Projekttreffen Nr. 4 | 21.02.2013, Hamburg (CAH) | HSE, TUHH, Buhck, CAH, SWT |
| Projekttreffen Nr. 5 | 06.06.2013, Hamburg, (Schulungszentrum Alstertal) | HSE, Buhck, SWT |
| Projekttreffen Nr. 6 | 14.10.2013, Hamburg (HSE) | HSE, TUHH, Buhck, SWT |
| Projekttreffen Nr. 7 | 10.02.2014, Stuttgart (SWT) | HSE, TUHH, Buhck, SWT |
| Projekttreffen Nr. 8 | 17.06.2014, Hamburg (HSE) | HSE, TUHH, SWT |
| Projekttreffen Nr. 9 | 13.11.2014, Hamburg (HSE) | HSE, TUHH, SWT |

5.1.3 Veröffentlichungen und Vorträge

Innerhalb der Projektlaufzeit wurde eine Reihe von Publikationen angefertigt und Vorträge gehalten, die in direktem Zusammenhang mit den Forschungsarbeiten im Projekt KREIS stehen³. Eine Übersicht befindet sich in Tabelle 7.

Tabelle 7: Publikationen und Vorträge, die in direktem Zusammenhang mit KREIS stehen

| Veranstaltung | Art der Präsentation | Ort und Datum | Titel |
|--|-----------------------------|--|--|
| Symposium Energieeffizienz und nachhaltige Energieversorgung im Bauwesen | Vortrag | Moskau (Russland), Moscow State University of Civil Engineering MGSU, 30.10.2012 | Technologies and potentials of solar thermal heat supply for urban housing areas |
| 3. Solarthermie-Technologiekonferenz | Poster | Berlin, 30.01.2013 | Kopplung von regenerativer Energiegewinnung mit innovativer Stadtentwässerung |

² HSE: Hamburger Stadtentwässerung, BUW: Bauhausuniversität Weimar, TUHH: Technische Universität Hamburg-Harburg, CAH: Consulaqua Hamburg, EGS-Plan: Ingenieurgesellschaft für Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH

³ Die in Zusammenhang mit einzelnen Vorträgen stehenden Reisekosten wurden nicht in allen Fällen über das Projekt KREIS abgerechnet

| Veranstaltung | Art der Präsentation | Ort und Datum | Titel |
|--|-----------------------------|---|--|
| Symposium zum Thema „Energy efficient buildings and districts“ | Vortrag | Moskau (Russland), Russische Universität für Völkerfreundschaft (RUDN) Fakultät für Ingenieurwissenschaften 03.04.2013 | „Solar active houses and solar district heating - combined with seasonal thermal energy storage“ |
| OTTI - 23. Symposium Thermische Solarenergie | Poster | Bad Staffelstein, 26.04.2013 | Energieinseln – eine Möglichkeit zur Effizienzsteigerung von Nahwärmenetzen? |
| Internationales Symposium zum Thema „Umweltfreundliche Energieversorgung und Energieeffizienz von Stadtquartieren“ | Vortrag | Kursk (Russland), Kursk State Technical University 05.05.2013 | Solare Nahwärme und Energieinseln - innovative Lösungen zur effizienten Energieversorgung |
| ISES Solar World Congress 2013 | Poster | Cancún, Mexico, 3.11.2013 | Energy island - a possibility for increasing the efficiency of district heating networks? |
| Second International Workshop zum Thema „Diffusion of Sustainable Technologies in Construction“ in Zusammenarbeit mit der Universität für Architektur und Bauwesen | Vortrag | Tomsk (Russland), 13./14.11.2013 | Solar active houses and solar district heating combined with seasonal thermal energy storage |
| Decentralized Water Management: a French-German perspective | Vortrag | Nancy, Frankreich, 14.11.2013 | Energy from biogas for 700 apartments based on waste water treatment |
| Symposium „Applied solutions for energy effective buildings and urban districts“ | Vortrag | Moskau (Russland), Moscow State University of Civil Engineering MGSU 18.02.2014 | Solar active houses and solar district heating – combined with seasonal thermal energy storage |

| Veranstaltung | Art der Präsentation | Ort und Datum | Titel |
|--|-----------------------------|---------------------------------|--|
| OTTI - 24. Symposium Thermische Solarenergie | Vortrag | Bad Staffelstein, 07.05.2014 | Energetisches Einsparpotential eines kalten Nahwärmenetzes zur Wärmeversorgung eines Stadtquartiers im Vergleich zu einem konventionellen Nahwärmenetz |
| EWA 17th International Symposium during IFAT | Vortrag | München, 07.05.2014 | Energy saving potentials of cold district heating networks |
| 2nd International Solar District Heating Conference | Poster | Hamburg, 03.06.2014 | Solar district heating concepts of the new residential area in Hamburg-Jenfeld, Germany |
| Messe Intersolar 2014, Forum Regenerative Wärme | Vortrag | München, 04.06.2014 | Innovative Energie: Versorgen durch Entsorgen |
| OTTI-Fachforum „Energieeffizienzhaus-Plus, Innovative Gebäude mit erneuerbaren Energien“ | Vortrag | Hamburg, 14./15.07.2015 | Nutzung lokaler Ressourcen zur Energieversorgung von Stadtquartieren am Beispiel der Jenfelder Au in Hamburg |

5.2 Zusammenarbeit im Verbundprojekt

In Bezug auf die Zusammenarbeiten innerhalb des KREIS-Projektkonsortiums nahm SWT an verschiedenen Projekttreffen sowie sämtlichen Integrationsworkshops und Managementtreffen teil. Darüber hinaus wurden auch Veröffentlichungen gemeinsam mit Partnern aus dem Projektkonsortium publiziert.

5.2.1 Projekttreffen

Innerhalb des Verbundprojekts fand eine Reihe von Veranstaltungen statt zur Koordination, Vernetzung und zum Austausch inhaltlicher Fragestellungen. Die AP-Federführenden jedes Arbeitspakets bildeten gemeinsam mit dem wissenschaftlichen Koordinator das Managementteam. Im Rahmen von fünf Managementtreffen wurden u.a. Methoden zur kontinuierlichen Bereitstellung und Verwertung der in den verschiedenen Arbeitsbereichen produzierten Ergebnisse entwickelt und umgesetzt.

Alle Partner des Verbundprojekts trafen sich in regelmäßigen Abständen bei sogenannten Integrationsworkshops. Diese dienten zur Vernetzung der unterschiedlichen Arbeitsbereiche und zum inhaltlichen Austausch.

Tabelle 8 zeigt eine Übersicht über die Teilnahme seitens SWT an Projekttreffen, die im Verbundprojekt stattgefunden haben.

Tabelle 8: Teilnahme an Projekttreffen im Verbundprojekt

| Veranstaltung | Ort und Datum |
|--|--|
| Kick-off Veranstaltung | 10./11.11.2011, Hamburg |
| 1. Managementtreffen | 14.02.2012, Hamburg |
| 1. Integrationsworkshop | 18./19.04.2012, Hamburg |
| 2. Managementtreffen | 25.10.2012, Weimar |
| 2. Integrationsworkshop | 20./21.11.2012, Hamburg |
| 3. Managementtreffen | 14./15.05.2013, Hamburg |
| Autorenbörse zur Ideenfindung für gemeinsame Publikationen | 06.06.2013, Hamburg (Schulungszentrum Alstertal) |
| Managementtreffen zur Ideenfindung für Folgeprojekt | 08.07.2013, Frankfurt |
| 3. Integrationsworkshop | 14./15.10.2013, Hamburg |
| Spatenstich Sielbau | 14.10.2013, Hamburg |
| 4. Integrationsworkshop | 17./18.06.2014, Hamburg |
| 4. Managementtreffen | 23.06.2014, Göttingen |
| Treffen bzgl. Abstimmung Ökobilanzierung | 12.09.2014, Frankfurt |

Tabelle 9 zeigt eine Übersicht über die Vorträge, die seitens SWT im Rahmen von Integrationsworkshops präsentiert wurden.

Tabelle 9: Vorträge im Rahmen von Integrationsworkshops

| Veranstaltung | Titel |
|-------------------------|---|
| 1. Integrationsworkshop | Erste Ergebnisse im AP1: Energietechnik |
| 2. Integrationsworkshop | Erste Simulationsergebnisse des Energiekonzepts für die Jenfelder Au |
| 2. Integrationsworkshop | Was sind kalte Nahwärmenetze? |
| 3. Integrationsworkshop | Energie in der Jenfelder Au - betrachtete Versorgungskonzepte (Kurzvortrag) |
| 3. Integrationsworkshop | Was ist bezüglich der Energieinseln konkret geplant und was wird tatsächlich verwirklicht? |
| 4. Integrationsworkshop | Vergleich und Bewertung der AP-übergreifend definierten Systeme bezüglich der Energieversorgung |

5.2.2 Veröffentlichungen

Zusätzlich zu den in Kapitel 5.1.3 aufgeführten Veröffentlichungen von SWT wurden auch gemeinschaftliche Veröffentlichungen zusammen mit anderen Partnern aus dem Konsortium des Projekts KREIS angefertigt. Diese sind im Folgenden aufgeführt.

- Zur Stärkung der Öffentlichkeitsarbeit und insbesondere zur Informationsbereitstellung auf Messen erfolgte im ersten Halbjahr 2012 durch Hamburg Wasser die Koordination und Erstellung einer Projektbroschüre zum Projekt KREIS. Hierbei erfolgte Zuarbeit durch SWT zum Thema innovative Energiekonzepte.
- Im Frühjahr 2012 wurde durch den KREIS-Verbund eine interaktive Präsentation erstellt, die auf eine ansprechende Art einen Überblick über die Projektinhalte gibt. Eingesetzt wurde diese bereits auf der internationalen Messe „Wasser Berlin“. SWT hat für die Erstellung der interaktiven Präsentation die im Zusammenhang mit der Energieversorgung stehenden Beiträge erarbeitet und deren zielgruppengerechte Umsetzung und Implementierung begleitet.
- Im Rahmen der Autorenbörse zur Ideenfindung für gemeinsame Publikationen am 06.06.2013 in Hamburg entwickelte sich die Idee zur Erstellung einer gemeinsamen Publikation zum Thema Wärmerückgewinnung aus Grauwasser. Hieraus entstand unter Beteiligung der BUW, SWT und HSE die folgende Veröffentlichung: „Heat recovery Potential of domestic grey water in the pilot project Jenfelder Au in Hamburg“. Sie wurde auf dem 17th EWA Symposium during IFAT 2014, München vorgestellt. Autoren sind: Jan Christian Sievers, Jörg Londong, Andrea Stübler, Dominik Bestenlehner, Harald Drück, Wenke Schönfelder
- Zusätzlich zu den Planungen gemäß des Projektantrags wurde im Verlauf des Verbundprojekts von allen Partnern gemeinsam ein umfangreicher F&E-Katalog (Fragen- & Ergebniskatalog) erstellt, der zur Strukturierung, Vernetzung und Bündelung der erforderlichen Arbeiten im Projekt KREIS dient. Während der Projektlaufzeit wurden diese Fragen bearbeitet und die Ergebnisse mit den anderen Projektpartnern diskutiert und abschließend dokumentiert. Von SWT wurden insgesamt 18 von 78 Fragen bearbeitet und die entsprechenden Antworten dokumentiert. Ein Auszug des F&E-Katalogs mit den an SWT adressierten Fragen sowie den von SWT erarbeiteten Antworten ist als Anhang B beigefügt.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Umsetzung von ressourcenschonenden und nachhaltigen Konzepten zur Energieversorgung von Quartieren mit lokal verfügbaren Energieressourcen stellt insbesondere in innerstädtischen Gebieten mit hoher Bebauungsdichte eine große Herausforderung dar. Begrenzte Frei- oder Dachflächen, rechtliche Vorgaben und logistische Aufgaben müssen einerseits mit dem Bedürfnis der Bevölkerung nach einer hohen Wohnqualität in Einklang gebracht werden und andererseits muss eine umfassende Nutzerakzeptanz gewährleistet sein. Letzteres ist insbesondere bei der Umsetzung von neuartigen Technologien bzw. neuartig kombinierten Technologien sicherzustellen. Um Versorgungskonzepte möglichst nachhaltig zu gestalten, ist ein effizienter Umgang mit den vor Ort zur Verfügung stehenden Ressourcen unerlässlich. Zusätzlich zur Nutzung von regenerativen Energien wie z.B. Sonnenenergie oder Geothermie, können auch lokal anfallende Reststoffe wie z.B. Abwässer oder Rasenschnitt energetisch verwertet werden. Neben der Reduktion der Abfallmenge zur Entsorgung auf Deponien oder in Verbrennungsanlagen kann somit auch eine teilweise Deckung des lokalen Energiebedarfs erreicht werden.

Als Demonstrations- und Forschungsvorhaben werden im Projekt KREIS unter anderem innovative und ganzheitliche Konzepte zur Energieversorgung und Entwässerung umgesetzt. KREIS ist als längerfristiges transdisziplinäres Forschungsverbundprojekt angelegt, welches die erstmalig großtechnische Umsetzung des HAMBURG WATER Cycle® (HWC), einem ganzheitlichen Ansatz zur kombinierten Energiever- und Abwasserentsorgung, in der Jenfelder Au umfassend wissenschaftlich begleiten soll. Die Vorbereitungsphase KREIS(1) diente insbesondere zur Unterstützung des Planungs- und Bauprozesses, darüber hinaus wurden Methoden zur integrativen Bewertung ökonomischer, ökologischer und soziologischer Aspekte entwickelt. Das Konzept des HWC sieht die separate Erfassung und individuelle Verwertung von verschiedenen Abwasserteilströmen, u.a. zur Energieerzeugung, vor. Ausgehend von der Realisierung des HWC in der Jenfelder Au wurden neue Konzepte und Verfahren für die Versorgung mit Energie und die Entsorgung von Abwasser in städtischen Räumen weiterentwickelt und erforscht. Hierzu wurden zahlreiche Fragestellungen zu den Themengebieten Energie- und Entwässerungstechnik sowie Behandlung und Nutzung von Reststoffen in einem Verbund von zehn Partnern zuzüglich mehrerer Unterauftragnehmer bearbeitet.

Die Forschungsarbeiten von SWT beinhalteten die Entwicklung und Bewertung von innovativen Konzepten zur Energieversorgung. Ein besonderer Schwerpunkt liegt hierbei auf der Integration von lokal verfügbaren, erneuerbaren Energiequellen sowie lokal anfallender Reststoffe mit nutzbarem Energiegehalt. Die Untersuchungen gingen daher über die ausschließliche Energieversorgung hinaus, denn sie umfassten auch die Prozessentwicklung, um im Quartier anfallende Reststoffe, z.B. aus dem Entwässerungskonzept, optimal verwerten zu können. Die separate Erfassung von Abwasserteilströmen in der Jenfelder Au im Rahmen des HWC ermöglicht individuelle Verwertungswege der einzelnen Teilströme. Das erfasste Schwarzwasser enthält eine hohe Konzentration an organischen Stoffen, weshalb es sich zur Biogaserzeugung eignet. Eine Optimierung der Vergärung hinsichtlich Vergrößerung der erzeugten Biogasmenge und der Stabilität der Vergärung kann durch die Zugabe von Co-Substraten wie Fettwasser und Rasenschnitt erreicht werden.

Neben Schwarzwasser wird als ein weiterer Abwasserteilstrom Grauwasser erfasst, das nur eine geringe Konzentration an organischen Stoffen enthält, dafür jedoch eine deutlich höhere Temperatur als Schwarzwasser aufweist. Deshalb wurden verschiedene Systeme zur Wärmerückgewinnung aus Grauwasser untersucht, um auch auf diesem Wege innovative Ansätze zur Effizienzsteigerung identifizieren zu können. Grundwasservorkommen bieten eine gute Möglichkeit um dieses in Verbindung mit Wärmepumpen zur Wärmeerzeugung zu nutzen. Solarstrahlung kann entweder mittels Sonnenkollektoren zur Wärmeerzeugung oder mittels Photovoltaikmodulen zur Stromerzeugung genutzt werden. Beide Solartechnologien wurden im Projekt KREIS berücksichtigt und deren Einbindung in ein innovatives Energieversorgungskonzept eines Stadtquartiers analysiert. Die Erarbeitung von effizienten Konzepten für die Energieversorgung von ganzen Stadtquartieren erfordert zusätzlich zur Analyse einzelner Energiequellen die Optimierung der Effizienz der Wärmeverteilung. Sogenannte „Kalte Nahwärmenetze“ zielen durch eine deutliche Reduktion der Betriebstemperatur des Wärmenetzes darauf ab, die Wärmeverluste der Wärmeverteilung signifikant zu reduzieren. Befinden sich einzelne Gebäude oder Gebäudegruppen relativ weit entfernt von den zentralen Wärmequellen, so kann eine dezentrale Wärmeversorgung dieser zu einer sogenannten Energieinsel zusammengefassten Gebäude zu energetischen Vorteilen führen. Beide Konzepte zur Effizienzsteigerung der Wärmeverteilung und Wärmeversorgung wurden mittels Simulationsrechnungen untersucht und die daraus resultierenden Ergebnisse energetisch und ökologisch ausgewertet.

Aufbauend auf den im Projekt KREIS erzielten Ergebnissen sollen im Rahmen der geplanten Betriebsphase im Folgeprojekt KREIS(2) eine weitergehende wissenschaftliche Begleitforschung und eine technologische Weiterentwicklung sowie eine Optimierung des Betriebsverhaltens des realisierten Versorgungskonzepts erfolgen. Die hierfür seitens SWT geplanten Inhalte sind die Leitung des Arbeitspakets (AP) 3 „Verwertung und Nutzung“, sowie die Evaluierung und Optimierung des in KREIS(1) entwickelten innovativen Energieversorgungskonzepts. Zusätzlich erfolgt eine Mitarbeit in den AP4 „Ökonomie und Gesellschaft“ sowie in AP5 „Verbundprojektkoordination“. In diesem geplanten Folgeprojekt soll auch das entwickelte Simulationsmodell für die Energieversorgung der Jenfelder Au mittels Messdaten aus dem realen Betrieb validiert und falls notwendig entsprechend angepasst werden. Basierend darauf werden Konzepte und Technologien zur Steigerung der Effizienz des Gesamtsystems und zur Erhöhung des regenerativen Energieanteils entwickelt und untersucht. In diesem Zusammenhang erfolgen unter anderem Untersuchungen zur energetischen Nutzung der verfügbaren Bioressourcen sowie zu Energieinseln. Zusätzlich werden die entwickelten Konzepte ökologisch und ökonomisch bewertet.

Mit den Forschungsergebnissen aus dem Gesamtprojekt KREIS, das sowohl die Vorbereitungsphase KREIS(1) als auch die Betriebsphase KREIS(2) umfasst, können bedeutende Fortschritte für innovative und ganzheitliche Konzepte für das Stadtquartier der Zukunft erreicht werden. Damit rückt die nachhaltige Stadt sowohl im Hinblick auf die Abwasserentsorgung als auch auf die Versorgung mit erneuerbaren, lokal verfügbaren Energien in greifbare Nähe.

7 Literatur

Hinweis: Veröffentlichungen die im Projekt KREIS entstanden sind, sind fett dargestellt.

AGEB (AG Energiebilanzen e.V.), Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2010 und 2011, Studie beauftragt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Projektnummer: 23/11, 2013, online verfügbar unter www.ag-energiebilanzen.de (abgerufen am 12.12.2013)

Agethen, U., Frahm, K., Renz K., Thees E.: Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte. Bund technischer Experten, Essen, 2007

Bardenhagen I. (2011), Consulaqua Hamburg Beratungsgesellschaft mbH, Zusammenfassender Bericht, unveröffentlichter Bericht

Bauer D., Marx R., Drück H. (2012), Solare Nahwärme im Bestand – Technologie und Perspektiven, Tagungsband zum 22. Symposium Thermische Solaranlagen Seiten 302-303 (Kurzfassung), Kloster Banz, Bad Staffelstein, 09.05. – 11.05.12, ISBN 978-3-941785-89-2

Bauer D., Marx R., Nußbicker-Lux J., Och F., Drück, H., Heidemann, W. (2013), Forschungsbericht zum BMU-Vorhaben Solarthermie2000plus: Wissenschaftlich-technische Begleitung des Förderprogramms Solarthermie2000plus zu solar unterstützter Nahwärme und Langzeitwärmespeicherung (August 2008 bis September 2012); PTJ Förderkennzeichen 0329607P; Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW), Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen (TZS), Universität Stuttgart, April 2013, online verfügbar unter: <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb13/773140042.pdf> (abgerufen am 11.09.2014)

Bebauungsplan Jenfeld 23, Bezirk Wandsbek, Freie und Hansestadt Hamburg, 2011

Bestenlehner D., Drück H., Stübler A. (2014), Energetisches Einsparpotential eines kalten Nahwärmenetzes zur Wärmeversorgung eines Stadtquartiers im Vergleich zu einem konventionellen Nahwärmenetz; Tagungsband zum 24. Symposium Thermische Solaranlagen, Seiten 256-257 (Kurzfassung), Kloster Banz, Bad Staffelstein, 07. – 09.05.14, ISBN 978-3-943891-35-5

Bestenlehner D., Stübler A., Drück H. (2013), Energy islands – a possibility for increasing the efficiency of district heating networks?; Proceedings of ISES 2013 Solar World Congress, November 3 -7, 2013, Cancun, Mexico, Energy Procedia

Bestenlehner D., Drück H. (2015), Nutzung lokaler Ressourcen zur Energieversorgung von Stadtquartieren am Beispiel der Jenfelder Au in Hamburg, Tagungsband zum 1. Fachforum Energieeffizienzhaus-Plus – Innovative Gebäude mit erneuerbaren Energien, 14. und 15. Juli 2015, Hamburg, Seiten 149-156, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Regensburg, 2015

Drück H., Heidemann W., Müller-Steinhagen H. (2004), Potenziale innovativer Speichertechnologien für solare Kombianlagen, Tagungsband zum 14. Symposium Thermische Solarenergie, Seiten 104 – 109, Otti, Regensburg, 2004, ISBN 3-934681-33-6

- DWA Energiepotential in der deutschen Wasserwirtschaft- Schwerpunkt Abwasser, Editor: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hennef, Deutschland, 2010
- EEWärmeG (2009), Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG), abrufbar unter: http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Gesetze-Verordnungen/gesetz_zur_foerderung_erneuerbarer_energien_im_waermebereich.pdf, jeweils aktuelle Fassung abrufbar unter: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eew_rmeg/gesamt.pdf
- Eriksson E., Auffarth K., Eilersen A.-M., Henze M., Ledin A. (2002), Characteristics of grey water. Urban Water, Vol. 4 (2002), pp. 85 -104
- Friedler E. (2004), Quality of individual domestic greywater streams and its implication for on-site treatment and reuse possibilities. Environmental Technology, Vol. 25, pp. 997-1008
- Giese T., Londong J. (2015), Kopplung von regenerativer Energiegewinnung mit innovativer Stadtentwässerung – Synthesebericht zum Forschungsprojekt KREIS, Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme, Weimar, Rhombos-Verlag, Berlin, ISBN 978-3-944101-56-9, ISSN 1862-1406
- Gaderer, M. (2007), Wärmeversorgung mit fester Biomasse bei kleiner Leistung, Dissertation, Lehrstuhl für Energiesysteme, TU München, 2007, URN: <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:bvb:91-diss-20070928-630149-1-0>
- Implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for space heaters and combination heaters, Water heating load profile M, European Commission, 2012
- Kathmann, S (2013): KREIS – Versorgung durch Entsorgung TAP 1.2 Wärmegewinnung aus Grundwasser Schlussbericht CONSULAQUA Hamburg, FKZ 033L047N des BMBF
- Oldenburg, M., Albold, A., Wendland, C., Otterpohl, R. (2008), Erfahrungen aus dem Betrieb eines neuen Sanitärsystems über einen Zeitraum von acht Jahren, KA Korrespondenz Abwasser, Abfall Nr. 10 2008, S. 1100 - 1105
- Schmitt, T, et al (2009): Abschlussbericht zum Forschungsprojekt KOMPLETT (Entwicklung und Kombination von innovativen Systemkomponenten aus Verfahrenstechnik, Informationstechnologie und Keramik zu einer nachhaltigen Schlüsseltechnologie für Wasser- und Stoffkreisläufe), abrufbar unter <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb09/612894584.pdf>
- Sievers J., Londong J., Stübler A., Bestenlehner D., Drück H., Schönfelder W. (2014), Heat recovery potential of domestic grey water in the pilot project Jenfelder Au in Hamburg, Proceedings of 17th EWA International Symposium, WATEnergyResources – Water, Energy and Resources: Innovative Options and Sustainable Solutions” held during IFAT 2014, Munich, Germany, 5-9 May 2014, Published and distributed by: European Water Associations (EWA), 53773 Hennef, Germany, info@ewa-online.eu, www.EWA-online.eu**

Stübler A., Drück H., Bestenlehner D. (2013), Energieinseln - eine Möglichkeit zur Effizienzsteigerung von Nahwärmenetzen?, Tagungsband zum 23. Symposium Thermische Solaranlagen, Seiten 198-199 (Kurzfassung), Kloster Banz, Bad Staffelstein, 24. – 26.04.13, ISBN 978-3-943891-10-2

Stübler A., Bestenlehner D., Drück H. (2014), Energy saving potentials of cold district heating networks, Proceedings of 17th EWA International Symposium, WATEnergyResources – Water, Energy and Resources: Innovative Options and Sustainable Solutions” held during IFAT 2014, Munich, Germany, 5-9 May 2014, Published and distributed by: European Water Associations (EWA), 53773 Hennef, Germany, info@ewa-online.eu, www.EWA-online.eu

Zusätzliche Informationen zum Forschungsprojekt KREIS sind unter www.kreis-jenfeld.de abrufbar, Informationen zum Hamburg Water Cycle sind unter www.hamburgwatercycle.de zu finden.

8 Anhang A: Vorversion Planungsempfehlungen

Im Forschungsvorhaben KREIS wurde u.a. die auf den folgenden 29 Seiten befindliche „Vorversion Planungsempfehlungen für eine effiziente und ressourcenschonende Wärmeversorgung von neu zu errichtenden Stadtquartieren“ erarbeitet.

Es ist geplant dieses Dokument im beabsichtigten Folgeprojekt KREIS(2) auf Basis der insbesondere aus der technisch-wissenschaftlichen Begleitung der Betriebsphase resultierenden Erkenntnisse fortzuschreiben und zu ergänzen.

Vorversion Planungsempfehlungen

für eine effiziente und ressourcenschonende Wärmeversorgung von neu zu errichtenden Stadtquartieren

Stand: November 2015

Eine Ausarbeitung im Rahmen des Forschungsvorhabens



Kopplung von regenerativer Energiegewinnung mit
innovativer Stadtentwässerung, gefördert vom
BMBF, Förderkennzeichen 033L047D
Laufzeit: 01.11.2011 – 28.02.2015

Solar- und Wärmetechnik (SWT)
Pfaffenwaldring 6, 70550 Stuttgart

Dr. Harald Drück, Dominik Bestenlehner
Tel. 0711/685-63553, Fax 0711/685-63503
E-Mail: druock@swt-stuttgart.de

Inhalt

| | | |
|------------|--|-----------|
| 0 | Vorwort | 3 |
| 1 | Einleitung | 4 |
| 2 | Vorgehensweise | 5 |
| 3 | Analyse der Situation | 7 |
| 3.1 | Definition der Ziele | 7 |
| 3.2 | Prüfung von Vorgaben | 7 |
| 4 | Wärmebedarfsermittlung | 9 |
| 4.1 | Trinkwassererwärmung | 9 |
| 4.2 | Raumheizung | 12 |
| 4.3 | Gesamtwärmebedarf | 13 |
| 4.4 | Wärmeverluste Nahwärmenetz | 14 |
| 5 | Auswahl Wärmequellen und -technologien | 15 |
| 5.1 | Heizkessel | 15 |
| 5.1.1 | Brennstoff Biomasse..... | 15 |
| 5.1.2 | Fossile Brennstoffe | 16 |
| 5.2 | Sonnenkollektoren | 16 |
| 5.3 | Biogas- und Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen | 17 |
| 5.4 | Wärmegewinnung aus Grundwasser | 18 |
| 5.5 | Wärmerückgewinnung aus Grauwasser | 19 |
| 6 | Wärmeverteilung | 21 |
| 6.1 | Kalte Nahwärme | 23 |
| 6.2 | Energieinseln | 24 |
| 7 | Primärenergetische Bewertung | 26 |
| 8 | Zusammenfassung und Ausblick | 27 |
| 9 | Literatur | 28 |

0 Vorwort

Die vorliegende Ausarbeitung „Vorversion Planungsempfehlungen“ entstand im Rahmen der Vorbereitungsphase „KREIS(1)“ des Forschungsvorhabens *KREIS – Kopplung von Regenerativer Energiegewinnung mit innovativer Stadtentwässerung*. Das Vorhaben wurde im Zeitraum vom 01.11.2011 bis zum 28.02.2015 vom BMBF unter dem Förderkennzeichen 033L047D durch den Projektträger Jülich (PTJ) gefördert. Die in dieser Vorversion dargestellten Ergebnisse basieren primär auf der Durchführung umfangreicher Simulationsstudien für eine effiziente und ressourcenschonende Wärmeversorgung von neu zu errichtenden Stadtquartieren.

Es ist beabsichtigt, die vorliegende Vorversion der Planungsempfehlungen unter Berücksichtigung der auf Basis der wissenschaftlich-technischen Begleitung der Betriebsphase der in der Jenfelder-Au in Hamburg installierten Ver- und Entsorgungseinrichtungen gewonnenen Erkenntnisse zu erweitern und in eine Endfassung zu überführen. Die hierzu notwendigen Arbeiten sollen im dem bereits beantragten Folgevorhaben KREIS(2) durchgeführt werden.

Weitere Informationen zu Forschungsprojekt KREIS können der folgenden Internetseite entnommen werden:

<http://www.kreis-jenfeld.de/>

1 Einleitung

Das vorliegende Dokument dient als Planungshilfe zur Erarbeitung von Konzepten für eine effiziente und ressourcenschonende Wärmeversorgung von neu zu errichtenden Stadtquartieren. In Kapitel 2 (Vorgehensweise) wird ein Verfahrensschema zur allgemeinen Vorgehensweise bei der Planung von Wärmeversorgungskonzepten vorgestellt. Die sich daran anschließenden Kapitel 3 (Analyse der Situation), 4 (Wärmebedarfsermittlung), 5 (Auswahl Wärmequellen und Technologien sowie 6 (Wärmespeicherung und –verteilung) beinhalten detailliertere Hinweise zu den jeweils erforderlichen Arbeitsschritten, die durchzuführen sind. Verschiedene untersuchte Technologien zur Wärmeerzeugung, Wärmerückgewinnung und Wärmeverteilung werden vorgestellt, mit dem Schwerpunkt der Nutzung lokal anfallender bzw. vorkommender Ressourcen erneuerbarer Energieträger.

In Kapitel 7 werden Hilfestellungen zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung gegeben. Das Kapitel 8 enthält eine Zusammenfassung des Dokuments sowie einen Ausblick.

2 Vorgehensweise

In Abbildung 2 befindet sich ein mögliches Schema zur prinzipiellen Vorgehensweise bei der Erarbeitung von Wärmeversorgungskonzepten auf Basis von regenerativen Energiequellen. Da das hier erarbeitete Schema auf Basis der im Forschungsvorhaben KREIS durchgeführten Arbeiten erstellt wurde, besteht hier insbesondere bei der Betrachtung der verschiedenen Wärmeerzeuger und -technologien kein Anspruch auf umfassende Allgemeingültigkeit. Die angegebenen Referenzen verweisen auf die jeweiligen Kapitel in diesem Dokument, in denen Details hierzu beschrieben werden.

Die verwendeten Symbole sind in Abbildung 1 dargestellt.

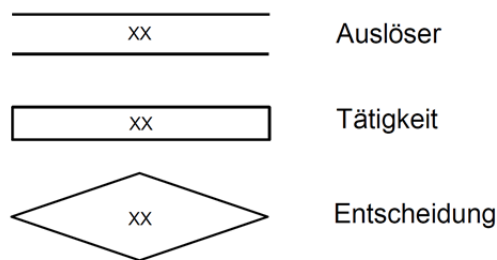


Abbildung 1: Verwendete Symbole

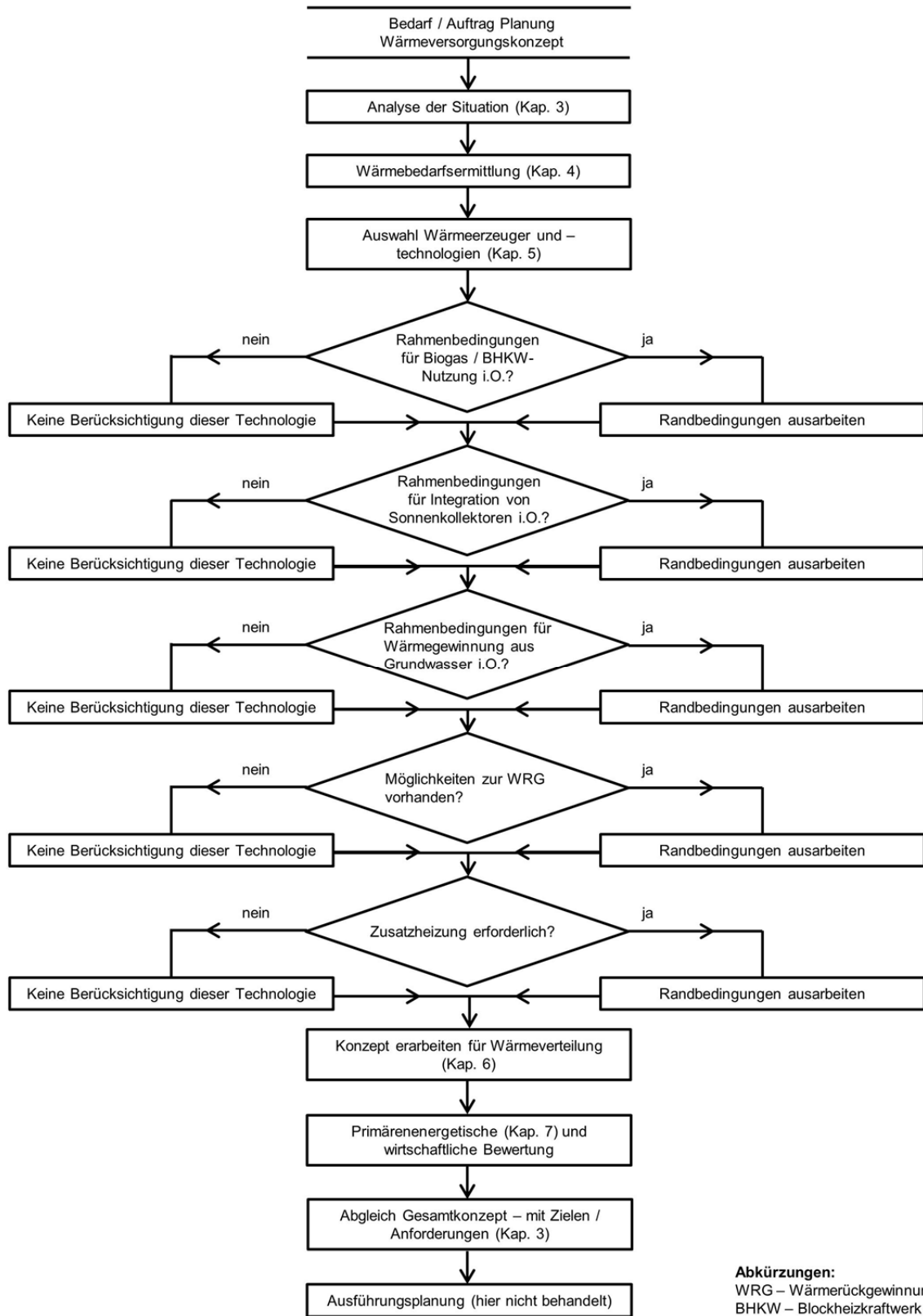


Abbildung 2: Mögliche Vorgehensweise zur Erarbeitung von innovativen Wärmeversorgungskonzepten

3 Analyse der Situation

Wird der Auftrag zur Erstellung eines Wärmeversorgungskonzepts erteilt, so ist zunächst die Durchführung einer umfangreichen Analyse der Situation vor Ort erforderlich. Wesentliche Bestandteile dessen sind die Definition der Ziele bei der Erstellung des Versorgungskonzepts und die Prüfung von einzuhaltenden Vorgaben. Die hierbei ermittelten Informationen dienen als Hilfestellung bei der Planung wie z.B. der Ermittlung des Wärmebedarfs sowie der Auswahl der zum Einsatz kommenden Wärmeerzeuger und Technologien.

3.1 Definition der Ziele

Bei der Definition der Zielvorgaben, die das zu planende Versorgungskonzept erfüllen muss, ist eine intensive Zusammenarbeit mit dem Kunden erforderlich, um dessen spezielle Wünsche und Anforderungen zu beachten und bei der Abwägung verschiedener Alternativen eine geeignete Prioritätensetzung treffen zu können. Diese kann zum Beispiel bei einem oder mehreren der folgenden Aspekte liegen:

- Umweltverträglichkeit
- Versorgungssicherheit
- Wirtschaftlichkeit, Preissicherheit

Um die definierten Ziele auch während der Erarbeitung des Wärmeversorgungskonzepts konsequent im Blick zu behalten, ist eine intensive Kommunikation und Rücksprache mit dem Kunden auch während dieser Phase konsequent zu verfolgen.

3.2 Prüfung von Vorgaben

Vor der eigentlichen Erstellung des Versorgungskonzepts und insbesondere der Auswahl der Wärmeerzeuger, ist eine ausführliche Prüfung von gültigen Regelwerken, Festlegungen und sonstigen Vorgaben erforderlich. Folgende Punkte bzw. Dokumente können hierbei hilfreich sein:

- Bebauungsplan, gegebenenfalls inklusive daraus resultierendem Anschluss- und Nutzungszwang
- Architektonische Vorgaben, wie z.B. eine bestimmte Dachausführung und Dachausrichtung
- Geplante Bebauungsstruktur
- Einzuhaltende Emissionsbegrenzungen (Schall, Geruch, Abgas)

- Vorhandener Platz zur Installation von technischen Anlagen zur Wärmeversorgung sowie dessen räumliche Verteilung
- (Geplante) Eigentumsverhältnisse und Nutzungsrechte von Grund und technischen Anlagen
- Identifikation der Art und Menge lokal anfallender Reststoffe bzw. Substrate
- Politische Vorgaben, z.B. bezüglich des Wärmedämmstandards der Gebäude oder der Energieeffizienz von technischen Anlagen
- Regionale und städtische Vorgaben, z.B. bezüglich des Wärmedämmstandards der Gebäude oder der Energieeffizienz von technischen Anlagen
- Recherche nach Förderprogrammen / Finanzierungsmöglichkeiten für einzelne Wärmeerzeuger
- Integration bestehender Komponenten (Gebäude, Wärmeerzeuger, Verteilungen) erforderlich / sinnvoll?

4 Wärmebedarfsermittlung

Als Basis für die Erstellung von Wärmeversorgungskonzepten ist eine möglichst detaillierte Ermittlung des Wärmebedarfs erforderlich. Je genauer die vorliegenden Informationen sind, umso gezielter kann das Wärmeversorgungskonzept auf die vorliegenden Anforderungen abgestimmt werden. Im Folgenden sind hilfreiche Ansatzpunkte aufgeführt, die bei der Informationsbeschaffung bedacht werden sollten:

- Anzahl der geplanten Wohneinheiten (WE)
- Geplante Belegungsdichte der Wohneinheiten (Personen pro Wohneinheit)
- Sind zusätzlich zu Wohngebäuden weitere Nutzungsformen geplant? Z.B.:
 - Gewerbeflächen
 - Schulen
 - Öffentliche Gebäude wie Museen, Versammlungsstätten, Sporthallen, etc.
- Geplanter Heizwärmebedarf der Gebäude
- Ggf. (Heiz)wärmebedarf der in das Versorgungskonzept zu integrierenden Bestandsgebäude

Um eine gute Nutzerakzeptanz bezüglich der Energieversorgung des Stadtquartiers erreichen zu können, ist es wichtig, die Versorgungssicherheit aller Gebäude des Stadtquartiers sicherzustellen. Da gleichzeitig eine unnötig große Dimensionierung der Wärmeerzeuger bzw. der Wärmespeicher vermieden werden soll, muss der zeitliche Verlauf der benötigten Wärmeleistung für die Trinkwassererwärmung und Heizwärme bestimmt werden.

4.1 Trinkwassererwärmung

Es gibt verschiedene Ansätze um den Wärmebedarf für die Trinkwassererwärmung bei der Planung von Versorgungskonzepten zu berücksichtigen. Bei einigen Berechnungsverfahren wie z.B. auch bei dem Berechnungsverfahren gemäß der Energieeinsparverordnung (EnEV) wird ein pauschaler Wärmebedarf von $12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ bezogen auf die Gebäudenutzfläche angenommen. Für die Erstellung von effizienten und ressourcenschonenden Wärmeversorgungskonzepten ist jedoch häufig eine detailliertere Kenntnis über den Wärmebedarf und die Wärmeleistung erforderlich. Neben dem jährlichen Wärmebedarf sind insbesondere auch die zeitliche Verteilung der Wärmeleistung sowie das jeweilige Temperaturniveau relevant. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn Wärmeerzeuger berücksichtigt werden, die einen temperaturabhängigen Wirkungsgrad aufweisen oder die nicht kontinuierlich zur Verfügung stehen (z.B. Sonnenkollektoren).

Im Rahmen der Arbeiten zur Energiekennzeichnung von Wärmeversorgungsanlagen (EU Energy Labelling according to EU Directive 2009/125/EC) wurde eine Reihe an Zapfprofilen entwickelt (EU reference tapping cycles) [1]. Diese enthalten verschiedene Zapfungen über den Verlauf eines Tages, welche jeweils für bestimmte Tätigkeiten charakteristisch sind, die mit einem Verbrauch an Warmwasser einhergehen, wie z.B. Duschen, Baden, Hände waschen, Geschirr abwaschen. Entsprechend der jeweiligen einer bestimmten Uhrzeit zugeordneten Tätigkeit sind im Zapfprofil die Werte für Warmwassertemperatur und Massenstrom hinterlegt. Je nach Art der Bebauung bzw. Belegungsdichte kann zwischen Zapfprofilen mit einem täglichen Wärmebedarf zwischen 0,345 und 93,52 kWh gewählt werden.

Das Wärmelastprofil zur Bereitung von Trinkwarmwasser (TW) einer einzelnen Wohneinheit (WE) zeichnet sich in der Regel durch ausgeprägte Lastspitzen in den Morgen-, Mittag-, und Abendstunden aus (siehe Kurve für „n = 1“ in Abbildung 3). Mit steigender Größe der als Gruppe betrachteten Wohneinheiten kommt es zu einer zunehmenden zeitlichen Streuung der individuellen Lastspitzen und demzufolge zu einer Verringerung der maximal benötigten **spezifischen** Gesamtleistung. Diese Erscheinung wird als Gleichzeitigkeitseffekt bezeichnet. Die in diesem Dokument verwendete Definition des Begriffs Gleichzeitigkeit ist definiert in Gleichung (1) und lautet wie folgt [2]:

$$GLF = \frac{\sum_{i=1}^n P_i(t_{max})}{\sum_{i=1}^n P_{N,i}} \quad (1)$$

Mit:

GLF ... Gleichzeitigkeitsfaktor [-]

$P_i(t_{max})$... abgenommene Leistung des Abnehmers i zum Zeitpunkt t_{max} der maximalen gesamten Leistungsanforderung [kW]

$P_{N,i}$... Nennleistung des Abnehmers i [kW]

n ... Anzahl der als Gruppe betrachteten WE [-]

Als Ausgangslastprofil zur Analyse des Einflusses der Gleichzeitigkeit dient das in [1] spezifizierte Zapfprofil „M“ mit einem täglichen Wärmebedarf von 5,8 kWh. Die benötigte Wärmeleistung im Verlauf eines Tages ist in Abbildung 3 unter „n = 1“ (entspricht einer WE) dargestellt. Dieses wird im Folgenden unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit modifiziert.

M. Gaderer [3] entwickelte als Mittelwert verschiedener Untersuchungen zur Darstellung der Gleichzeitigkeit für den Trinkwarmwasserbedarf die folgende Gleichung (2):

$$GLF_{TW}(n) = 0,02 + 0,92 \cdot n^{-0,58} \quad (2)$$

Mit:

$GLF_{TW}(n)$... Gleichzeitigkeitsfaktor Trinkwarmwasser [-]

n ... Anzahl der als Gruppe betrachteten WE [-]

Für die Darstellung eines unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit modifizierten Lastprofils werden modifizierte Verläufe von Zapftemperatur und Zapfmassenstrom benötigt. Hierfür wird für jede Zapfung die Gauß-Verteilung in Abhängigkeit von der Anzahl der WE, also zur Erreichung des durch die obige Gleichung bestimmten Gleichzeitigkeitsfaktors, aufgestellt. Abbildung 3 zeigt die spezifische Wärmeleistung je WE, die aus der Überlagerung sämtlicher Gauß-Verteilungen resultiert, Tabelle 1 zeigt die zugehörige maximal benötigte Wärmeleistung in Abhängigkeit von der Anzahl der WE.

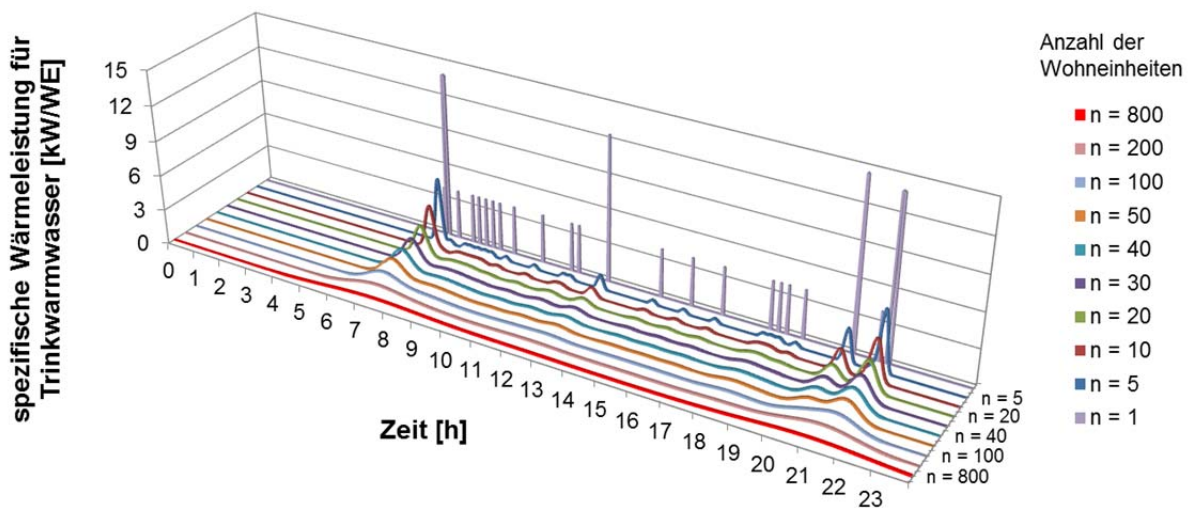


Abbildung 3: Trinkwarmwasser-Lastprofil für 24 h in Abhängigkeit von der Anzahl der WE (n)

P:\ITW-Data\SWT\SWT-Innovation\03-Projekte\KREIS\05-Berechnungen_Simulation\07_Gleichzeitigkeit_Lastprofile → KREIS_Q_load_DHW_GLF1.xlsx

Tabelle 1: Maximal benötigte spezifische Wärmeleistung zur Trinkwassererwärmung je WE in Abhängigkeit von der Anzahl der WE

| Anzahl der WE (n) | 1 | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 100 | 200 | 800 |
|---------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Max. Wärmeleistung für TW pro WE [kW] | 14,7 | 5,6 | 3,8 | 2,7 | 2,2 | 1,9 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 0,6 |

4.2 Raumheizung

Der Wärmebedarf für die Raumheizung ist maßgeblich vom Wärmedämmstandard der betrachteten Gebäude abhängig. Entstehende Wärmeverluste, die nicht durch passive solare oder innere Gewinne wieder ausgeglichen werden, müssen durch die Raumheizung zugeführt werden. Abbildung 4 zeigt die Entwicklung des spezifischen Heizwärmebedarfs seit dem Jahr 1982. Im Projekt KREIS wurde mit Werten gemäß der Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV) gerechnet. Vor kurzem ist die EnEV 2014 in Kraft getreten, die bezüglich des Heizwärmebedarfs eine weitere Reduktion gegenüber der EnEV 2009 einfordert.

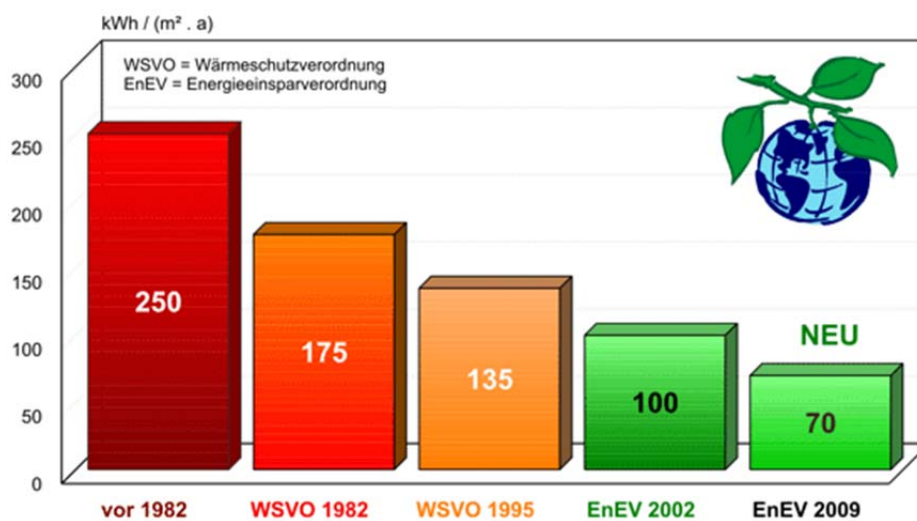


Abbildung 4: Entwicklung des spezifischen Heizwärmebedarfs [4]

Im Zusammenhang mit den Forschungsprojekt KREIS bzw. für die Erarbeitung dieser Planungsempfehlungen wurden umfangreiche Gebäudesimulation mit einem mittleren spezifischen Heizwärmebedarf von 70 kWh/(m²·a) und einer gemischten Gebäudetypologie bestehend aus Mehrfamilienhäusern und Reihenhäusern durchgeführt. Im Gegensatz zur Trinkwassererwärmung ist der Einfluss der Gleichzeitigkeit hier nicht zu berücksichtigen. Untersuchungen von M. Gaderer [3] ergaben, dass bei energieeffizienten Gebäuden, mit einem spezifischen Heizwärmebedarf von weniger als ca. 70 kWh/(m²·a), der Gleichzeitigkeitsfaktor für den Heizwärmebedarf unabhängig von der Anzahl der angeschlossenen WE den Wert 1 annimmt [3]. Die Gründe hierfür sind die hohe thermische Masse der Gebäudehülle sowie die gute Wärmedämmung dieser Gebäude. In Abbildung 5 wird die benötigte Wärmeleistung für Heizwärme am Beispiel des Stadtquartiers Jenfelder Au mit insgesamt 684 berücksichtigten Wohneinheiten im Jahresverlauf in auf der Basis von Stundenwerten dargestellt. Dieser Verlauf unterliegt aufgrund der Außentemperaturen sowie der passiven solaren Wärmegewinne starken Schwankungen im Tages- und Jahresverlauf.

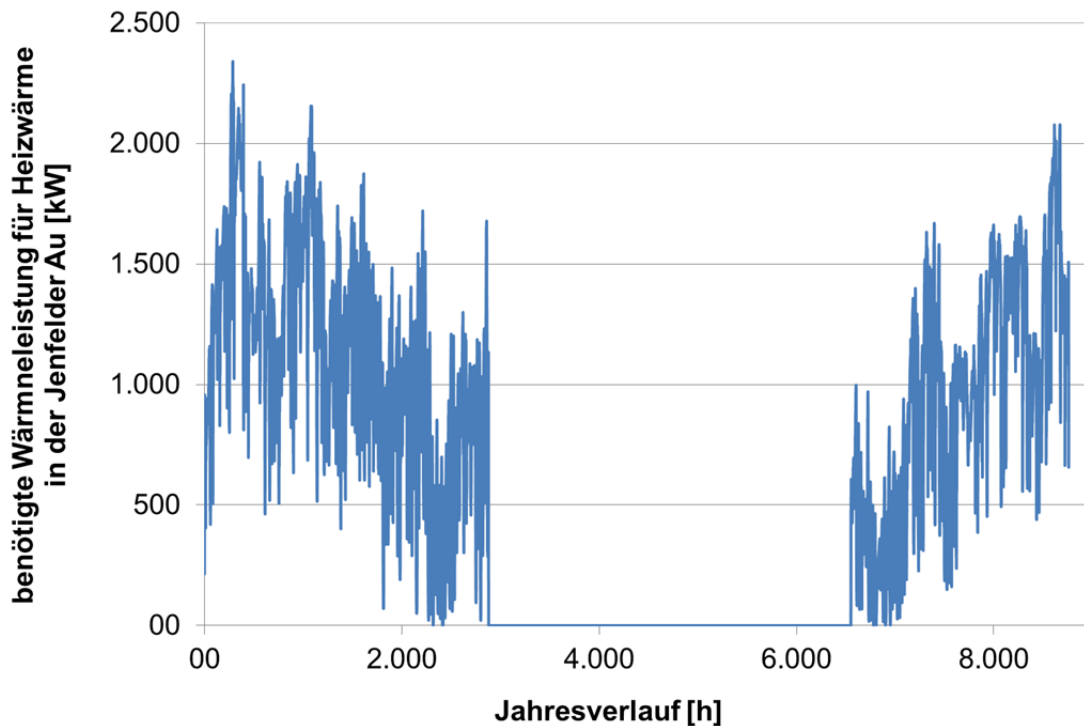


Abbildung 5: Benötigte Wärmeleistung für Heizwärme in der Jenfelder Au [kW]

Insgesamt wurde hier für das Stadtquartier Jenfelder Au ein Heizwärmebedarf von etwa 5,5 GWh pro Jahr ermittelt. Die erforderliche Wärmeleistung zur Deckung des Heizwärmebedarfs liegt hierbei bei etwa maximal 3,5 kW pro Wohneinheit.

4.3 Gesamtwärmebedarf

Der Gesamtwärmebedarf für Trinkwassererwärmung und Raumheizung ergibt sich aus der Summe der einzelnen Beiträge zum Wärmebedarf. Die Relation zwischen den einzelnen Beiträgen ist unter anderem von den folgenden, individuellen Randbedingungen abhängig:

- Geplante Bebauungsstruktur / Gebäudetypologie (Wohnen / Gewerbe / öffentliche Einrichtungen)
- Belegungsdichte der geplanten WE und individuelles Nutzungsprofil
- Geplanter Wärmedämmstandard der Gebäude und Gebäudetechnik

In dem hier vorliegenden Fall, dem Stadtquartier Jenfelder Au, wurde ein Gesamtwärmebedarf von etwa 7 GWh/a ermittelt, der sich folgendermaßen aufteilt:

- ca. 1,5 GWh/a für Warmwasser
- ca. 5,5 GWh /a für Heizwärme

Zu beachten ist, dass es sich hierbei nur um den Wärmebedarf am Ort des Verbrauchers handelt. Die räumliche Verteilung des Wärmebedarfs, die sogenannte Wärmebedarfsdichte ist abhängig von der geplanten Bebauungsstruktur und den geplanten Gebäudetypen des Quartiers. Zur simulationstechnischen Ermittlung der Wärmeverluste des zur Wärmeverteilung dienenden Nahwärmenetzes kann in der Regel von einer sogenannten Punktlast ausgegangen werden. In Einzelfällen kann jedoch auch eine detailliertere Betrachtung erforderlich sein.

4.4 Wärmeverluste Nahwärmenetz

Die Wärmeverluste, die durch den Wärmetransport entstehen, führen zu einer Zunahme des Gesamtwärmebedarfs. Diese Rohrleitungswärmeverluste sind insbesondere von den folgenden Faktoren abhängig:

- Temperaturniveau in den Vorlauf- und Rücklaufleitungen
- Umgebungstemperatur
- Dimensionierung der Rohrleitungen (Durchmesser, Länge)
- Wärmedämmeigenschaften der Rohrleitungen

Häufig werden die Wärmeverluste bezogen auf die Nutzwärme angegeben. Diese prozentuale Angabe dient auch als Maß zur Beschreibung der Effizienz eines Nahwärmenetzes und ist zusätzlich zu den zuvor genannten Faktoren stark von der geplanten Gebäudestruktur und -typologie abhängig.

In [5] werden Richtwerte für die Wärmeverluste eines Nahwärmenetzes bezogen auf die Nutzwärme, im Jahresmittel angegeben. Diese sogenannten relativen Wärmeverluste unterscheiden sich je nach Bebauungsstruktur und Gebäudetypologie deutlich. Tabelle 2 gibt diesbezüglich einen Überblick.

Tabelle 2: Wärmeverluste des Wärmenetzes bezogen auf die Nutzwärme für verschiedene Siedlungsstrukturen

| Siedlungsstruktur | spezifische Rohrleitungslänge | Wärmeverluste bzgl. der Nutzwärme (Jahresmittel) [5] |
|--------------------------|-------------------------------|--|
| Einfamilienhausbebauung | 14 – 25 m/WE | 12 – 17 % |
| Reihenhausbebauung | 6 – 14 m/WE | 8 – 12 % |
| Mehrfamilienhausbebauung | 2 – 6 m/WE | 5 – 9 % |

Zusätzlich zu diesen Wärmeverlusten des Nahwärmenetzes müssen die Wärmeverluste der Sticheleitungen zu den einzelnen Gebäude bzw. Wohnungen ausgeglichen werden. Insgesamt ergeben sich in der Regel relative Rohrleitungswärmeverluste in einer Größenordnung von 15 - 25 % des Gesamtwärmebedarfs.

5 Auswahl Wärmequellen und -technologien

Im Folgenden werden die im Rahmen der Planungsempfehlungen betrachteten Wärmequellen und -technologien näher erläutert. Diese sind Heizkessel, Sonnenkollektoren, Biogas und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, Wärmegewinnung aus Grundwasser und Wärmerückgewinnung aus Grauwasser.

5.1 Heizkessel

Heizkessel werden derzeit nur noch in älteren Bestandsanlagen als ausschließliche Wärmequelle verwendet. In der Regel werden klassische Heizkessel nur noch als Zusatzwärmeerzeuger oder als sogenannte Spitzenlastkessel zur Deckung vorübergehender Leistungsspitzen im Wärmebedarf eingesetzt. Heizkessel lassen sich u.a. sehr gut nach dem jeweiligen Brennstoff einteilen. Innerhalb dieses Dokuments werden die Heizkessel in mit regenerativen Brennstoffen und in mit fossilen Brennstoffen betriebene Kessel unterteilt.

5.1.1 Brennstoff Biomasse

Gängige Varianten von Brennstoffen für Biomassekessel sind Holzpellets und Holzhackschnitzel. Beide Brennstoffarten haben einen relativ homogenen Brennstoffgehalt, wobei der von Holzpellets geringfügig höhere Werte (4,8 kWh/kg für Holzpellets gegenüber 4,0 kWh/kg für Holzhackschnitzel) aufweist. Beide Brennstoffarten sind schütt- und rieselfähig und sind zur automatischen Beschickung von Heizkesseln mittels Förderschnecken und -bändern geeignet. Aufgrund der bei der Verbrennung entstehenden Feinstaubpartikel sind entsprechende Abgasfiltertechniken vorzusehen, vor allem beim Betrieb in Wohngebieten. Wegen des vergleichsweise hohen Aschegehalts der Holzpellets und -hackschnitzel gibt es nur wenige Modelle auf dem Markt, die nach dem Brennwertprinzip arbeiten. Bei einer Abkühlung des Abgases unter den Taupunkt des darin enthaltenen Wasserdampfes muss mit dem Anlagern von Asche und Rußpartikel im Abgasrohrsystem gerechnet werden. Dies sollte jedoch aufgrund der drastischen Verkürzung der Lebensdauer der damit in Kontakt stehenden Bauteile weitestgehend vermieden werden.

Weitere Arten von Biomassekesseln werden mit Scheitholz befeuert. Dies muss in der Regel manuell geschehen, sodass solche Kessel sich nicht für großtechnische Anlagen, die weitgehend automatisiert betrieben werden, eignen.

Darüber hinaus gibt es noch Kessel, die nach dem Holzvergaserprinzip arbeiten oder die auch mit Alt- bzw. Restholz oder auch Stroh befeuert werden können. Aufgrund der einerseits heterogenen Brennstoffzusammensetzung und andererseits der speziellen Anwendungsgebiete

werden diese Arten der Biomassekessel nur für gezielte Einzelanwendungen installiert und deshalb hier nicht weiter in Betracht gezogen.

5.1.2 Fossile Brennstoffe

Die gängigen fossilen Brennstoffe sind Erdgas und Heizöl. Beide Brennstoffarten sind weit verbreitet und werden derzeit noch in vielen Anlagen eingesetzt. Da jedoch die CO₂-Emissionen besonders beim Heizöl von großer Relevanz sind, wird dieser Brennstoff für die die weiteren Betrachtungen an dieser Stelle nicht weiter berücksichtigt.

Erdgasbetriebene Heizkessel werden, soweit dies möglich ist, nach dem Brennwertprinzip betrieben. Eine Kondensation des im Abgas enthaltenen Wasserdampfes ist in der Regel problemlos möglich. Jedoch ist es dazu erforderlich, dass die Wärmeabnahme auf vergleichsweise niedrigem Temperaturniveau stattfindet, damit eine Taupunktunterschreitung (bei ca. 60 °C) stattfinden kann. Ein Brennwertbetrieb eines Gaskessels in Verbindung mit einem konventionellen Nahwärmenetz auf 90 °C ist somit nicht möglich.

Weitere fossile Brennstoffe wie beispielsweise Kohle werden aufgrund der aufwändigen Abgasreinigung und der bei der Verbrennung freigesetzten großen CO₂-Mengen im Bereich von neu zu errichtenden Wärmeversorgungsanlagen in Deutschland heute nicht mehr eingesetzt.

5.2 Sonnenkollektoren

Mittels Sonnenkollektoren wird die Strahlungsenergie der Sonne direkt in Wärme umgewandelt (photo-thermischer Effekt) und kann somit einen hohen Beitrag zur Deckung des Wärmebedarfs für die Trinkwassererwärmung und Raumheizung leisten. Für die Installation von Sonnenkollektoren können prinzipiell Dachflächen, Fassadenflächen und auch Freiflächen genutzt werden. Eine thermische Solaranlage zur Trinkwassererwärmung mit einer Kollektorfläche von 3 bis 6 m² und einem Speichervolumen von etwa 300 Litern kann bei einem *typischen* Einfamilienhaus bereits zu einer Energieeinsparung von ca. 60 % des zur Trinkwassererwärmung benötigten Energiebedarfs bzw. zu 7 bis 14 % des Gesamtwärmebedarfs für Trinkwassererwärmung und Raumheizung führen. Sogenannte Kombianlagen dienen zusätzlich zur solaren Trinkwassererwärmung auch zur solaren Unterstützung der Raumheizung. Mit diesen Anlagen kann für ein typisches Einfamilienhaus mit einer Kollektorfläche von 10 bis 15 m² und einem Speichervolumen von 500 bis 1.000 Litern bereits etwa 20 bis 30 % des Gesamtwärmebedarfs durch Solarenergie bereitgestellt werden. Um deutlich höhere solare Deckungsanteile zu erzielen, werden entweder deutlich größere Kollektorflächen oder aber größere Wärmespeicher benötigt um das enorme energetische Potential der Solarstrahlung aus dem Sommer in Herbst

und Winter nutzen zu können [12]. Die Technologie der solar unterstützten Nahwärme wurde bereits anhand von mehreren Pilotanlagen erprobt und deren Funktionsfähigkeit bestätigt [13]. Zwischenzeitlich gibt es auch mehrere Quartiere, bei welchen nicht nur Neubauten, sondern auch Bestandsgebäude mittels solaren Nahwärmeeinrichtungen in Kombination mit saisonalen Wärmespeichern versorgt werden [14]. Der Einsatz von saisonalen Wärmespeichern ist insbesondere für größere Gebäudegruppen oder ganzen Stadtquartieren sinnvoll, da die Effizienz der Wärmespeicherung mit zunehmendem Speichervolumen ansteigt.

Bei der Planung von thermischen Solaranlagen müssen insbesondere die folgenden Punkte berücksichtigt werden:

- Ermittlung der vorhandenen Freiflächen, die zur Wärmeerzeugung mittels Solarthermie genutzt werden können unter Berücksichtigung der aus Regelwerken und Bebauungsplänen resultierenden Vorgaben
- Prüfung der Möglichkeiten zur Integration der Anlagentechnik bzw. insbesondere des saisonalen Wärmespeichers in urbane Gebiete
- Dimensionierung der Sonnenkollektoren und Speicher
- Auswahl der geeignetsten Kollektortypen, d.h. Einsatz von Flach-, Vakuumröhren-, oder Vakuumflachkollektoren

5.3 Biogas- und Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen

In Toiletten anfallendes Schwarzwasser kann aufgrund der hohen Konzentration an organischen Stoffen als Substrat zur Biogaserzeugung genutzt werden. Zur Verwertung weiterer Reststoffe sowie zur Ergänzung des Substratmixes im Hinblick auf eine stabile Vergärung können sogenannte Co-Substrate zugegeben werden. Hierfür kommen lokal anfallende Reststoffe wie z.B. Küchenabfälle, Fettwasser und Rasenschnitt in Frage. Die Planung einer Biogasanlage unter Berücksichtigung der Nutzung lokaler Bioressourcen erfordert die folgenden Schritte:

- Durchführung einer umfassenden Inventarisierung zur Identifikation der Art und Menge der verfügbaren Bioressourcen
- Ermittlung des Energieinhalts der verfügbaren Bioressourcen bzw. der daraus gewinnbaren Biogasmenge. Biogas enthält typischerweise einen Methangehalt von 60 - 70 %, der Energieinhalt (Brennwert) von Methan bei einer Temperatur von 25 °C liegt bei 36,3 MJ/m³.
- Empirische Richtwerte für den Biogasertrag verschiedener Substrate bei einer Aufenthaltszeit von 20 Tagen bei 36 °C im Reaktor sind im Folgenden gegeben. Näheres dazu kann dem Synthesebericht [15], Kap 4.2.1, entnommen werden.

- Schwarzwasser: $1,5 \text{ m}^3/(\text{m}^3\text{Frischmasse})$
 - Fettwasser: $12,5 \text{ m}^3/(\text{m}^3\text{Frischmasse})$
 - Rasenschnitt frisch: $17,0 \text{ m}^3/(\text{m}^3\text{Frischmasse})$
 - Rasenschnittsilage: $30,0 \text{ m}^3/(\text{m}^3\text{Frischmasse})$
- Auswahl der Art, z.B. Verbrennungsmotor oder Turbine und Dimensionierung der elektrischen und thermischen Leistung der Kraft-Wärme-Kopplungsanlage
 - Dimensionierung des Gasspeichers in Abhängigkeit vom zeitlichen Verlauf der Biogaserzeugung sowie des geplanten Betriebs der Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage
 - Abgleich der Planungen mit den Anforderungen aus Kapitel 3, z.B. im Hinblick auf Platzbedarf, Emissionen und Logistik der Substrate.

5.4 Wärmegewinnung aus Grundwasser

Grundwasser hat in Deutschland ab einer bestimmten Tiefe ganzjährig eine annähernd konstante Temperatur von $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Die Nutzung des Grundwassers als Wärmequelle für eine oder mehrere Wärmepumpen ermöglicht es, den Wärmebedarfs zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung ganz oder teilweise zu decken. Hierfür wird Grundwasser dem Grundwasserleiter über einen sogenannten Förderbrunnen der Wärmepumpe als Wärmequelle bereitgestellt. Die Wärmepumpe hebt das Temperaturniveau auf das für die Raumheizung und / oder die Trinkwassererwärmung erforderliche Niveau an. Das abgekühlte Grundwasser wird über sogenannte Infiltrationsbrunnen wieder dem Grundwasserleiter zugeführt. Die Eignung eines Standortes für die Wärmegewinnung aus Grundwasser muss im Rahmen von umfangreichen geologischen, hydrogeologischen sowie geothermischen Untersuchungen analysiert und meist auch behördlich genehmigt werden. Bei der Wärmeverteilung mittels konventioneller Nahwärmenetze muss aufgrund von Wärmeverlusten durch die Rohrleitungen meist ca. 15 – 25 % mehr Wärme eingespeist werden als tatsächlich an die Verbraucher geliefert wird. Wird die in das Wärmenetz einzuspeisende Wärme mittels Wärmepumpen aus dem Grundwasser generiert, sind sogenannte **kalte Nahwärmenetze** ein interessanter Ansatz zur Reduktion der Wärmeverluste.

Bei diesen erfolgt der Wärmetransport zu den einzelnen Gebäuden bzw. Gebäudegruppen auf dem niedrigen Temperaturniveau des Grundwassers von ca. $10 \text{ }^\circ\text{C}$, die Temperaturanhebung hingegen erfolgt nachgelagert dezentral durch Wärmepumpen in den einzelnen Gebäuden bzw. individuell für einzelne Gebäudegruppen. Aus den Ergebnissen der geologischen, hydrogeologischen sowie geothermischen Untersuchungen ergibt sich die maximale Wärmeleistung, die dem Grundwasserleiter entzogen werden kann.

Infolge der Temperaturanhebung durch eine oder mehrere Wärmepumpen erfolgt zusätzlich zur Wärmeleistung, welche dem Grundwasser entzogen wird, ein Wärmeeintrag durch die Strom-

zufuhr zur Wärmepumpe.

Das Verhältnis zwischen der am Kondensator verfügbaren Wärmemenge und der elektrischen Energiezufuhr ist zusätzlich zur Wärmepumpe selbst auch abhängig von den Betriebsbedingungen sowie den Temperaturen der Wärmequelle und der Wärmesenke. Es wird durch die Jahresarbeitszahl charakterisiert.

Die Planung einer Anlage zur Wärmeengewinnung aus Grundwasser erfordert insbesondere die Berücksichtigung der folgenden Punkte:

- Prüfung der Eignung des Standorts mittels geologischen, hydrogeologischen sowie geothermischen Untersuchungen
- Ermittlung der maximalen, dem Grundwasser entnehmbaren Wärmeleistung
- Abgleich mit den Anforderungen an den Wärmebedarf
- Ermittlung des elektrischen Energiebedarfs für die Wärmepumpe(n) sowie dem daraus resultierenden zusätzlichen Wärmeeintrag in das Nahwärmenetz
- Dimensionierung und Festlegung der Standorte der Brunnen
- Dimensionierung der Wärmepumpe(n) sowie der Art der Wärmeerzeugung (dezentral / zentral)

5.5 Wärmerückgewinnung aus Grauwasser

In Deutschland entfallen etwa 14 % des gesamten Energiebedarfs auf die Erwärmung von Trinkwarmwasser [6]. Die aufkommende Grauwassermenge beträgt etwa 60 bis 75 % der gesamten Abwassermenge [7,8]. Da Grauwasser eine deutlich höhere Temperatur aufweist als die Wassertemperatur in öffentlichen Abwasserkanälen [9,10,11] und in der Regel ungenutzt wieder im Abwasserkanal gesammelt wird, ist ein hohes energetisches Einsparpotential bei der Realisierung von entsprechenden Wärmerückgewinnungssystemen zu erwarten, mit denen z.B. das Trinkwarmwasser vorgewärmt werden kann. Derartige Systeme bieten sich insbesondere für Standorte an, bei denen ohnehin eine separate Erfassung und Verwertung von Abwasserströmen, d.h. Schwarzwasser, Grauwasser und Oberflächenwasser erfolgt.

Die Ergebnisse der innerhalb des Forschungsprojekts KREIS durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass je nach betrachtetem System etwa 25 bis 70 % der im Grauwasser enthaltenen thermischen Energie wieder zurückgewonnen und erneut verwendet werden kann. Hierbei sind jedoch deutliche Unterschiede in der Art der eingesetzten Systeme zu verzeichnen. Dezentrale Duschwannensysteme, die also nur das in der Dusche aufkommende Grauwasser verwerten, haben gegenüber zentralen Systemen, die das gesamte Grauwasser des Stadtquartiers verwerten, deutliche Nachteile. Jedoch muss berücksichtigt werden, dass bei zentralen Systemen

zur Nutzbarmachung der Wärme des Grauwassers im Allgemeinen eine Wärmepumpe erforderlich ist, da das Grauwasser im Sammelkanal relativ stark abkühlt. Unter Berücksichtigung der hierfür erforderlichen elektrischen Energie zeigt ein Vergleich anhand der resultierenden Primärenergieeinsparung, dass dezentrale Systeme, welche finanzielle und technische Vorteile aufweisen, auch primärenergetisch wettbewerbsfähig gegenüber zentralen Systemen sind. Detaillierte Informationen zu den hier zusammengefassten Erkenntnissen befinden sich in [11]. Relevante Fragestellungen bei der Planung von Systemen zur Wärmerückgewinnung auch Grauwasser sind:

- Erfolgt eine getrennte Erfassung des Grauwassers?
- Ist Platz für die Errichtung von zentralen Anlagen vorhanden?
- Sind die Eigentumsverhältnisse bezüglich der Wärme im Abwasser geklärt?
- Bei Systemintegration von Bestandsgebäuden: Ist der nachträgliche Einbau der erforderlichen Komponenten möglich bzw. wirtschaftlich sinnvoll?
- Bei zentraler Wärmerückgewinnung: Kann die zurückgewonnene Wärme auf dem jeweiligen Temperaturniveau genutzt werden oder sind eine bzw. mehrere Wärmepumpen erforderlich?

6 Wärmeverteilung

Mittels eines Nahwärmenetzes erfolgt die Wärmeverteilung bzw. der Wärmetransport zwischen den Wärmequellen und den Gebäuden bzw. den Wärmeverbrauchern. Heutzutage werden häufig Doppelrohre aus Kunststoff eingesetzt. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass Vor- und Rücklauf sich in einer gemeinsamen Wärmedämmung befinden. Die Rohrleitungen des Nahwärmenetzes werden dabei in Abhängigkeit von dem maximalen Volumenstrom dimensioniert. Typischerweise werden diese auf eine Strömungsgeschwindigkeit von etwa 1 m/s ausgelegt. Der Verlauf des Wärmenetzes ist in erster Linie geprägt von geographischen und städtebaulichen Randbedingungen. Es kann jedoch zwischen drei grundsätzlich verschiedenen Netztypen unterschieden werden, die schematisch in Abbildung 6 dargestellt sind. Das Strahlennetz ist eine einfache Netzvariante und wird bevorzugt für kleinere und mittlere Nahwärmenetze verwendet. Es weist im Vergleich zu den beiden anderen Netztypen die geringste Trassenlänge auf und ist folglich vergleichsweise günstig. Bei dem Ringnetz können Wärmeerzeuger an verschiedenen Orten aufgestellt werden. Es wird ebenso wie das Strahlennetz für kleinere und mittlere Nahwärmenetze verwendet. Der Vorteil liegt in der hohen Versorgungssicherheit und der einfachen Erweiterbarkeit, allerdings bei hohen Investitionskosten. Das Maschennetz wird insbesondere bei großen Wärmenetzen eingesetzt und bietet eine optimale Versorgungssicherheit bei einfacher Erweiterbarkeit. Demgegenüber stehen vergleichsweise hohe Kosten und ein sehr langes Leitungsnetz [3,5].

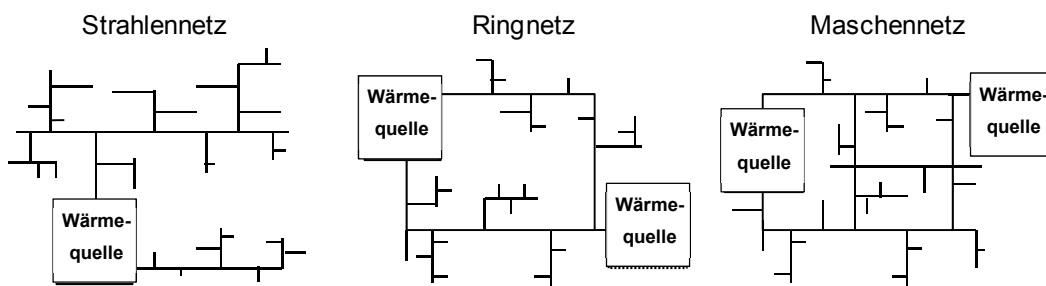


Abbildung 6: Varianten von Netztypen für Nahwärmenetze [5]

Häufig wird für die Wärmeverteilung die 2-Leiter-Technik eingesetzt. Hierbei wird die Wärme sowohl für die Trinkwassererwärmung als auch für Raumheizung über das gleiche Leitungsnetz zur Verfügung gestellt. Diese Variante wird vorwiegend für große Siedlungen verwendet. Werden Trinkwassererwärmung und Raumheizung einzeln bedient, wird von einem 4-Leiter-Netz

gesprächen. Dieser Typ kommt vorzugsweise bei großen Anschlussdichten und kurzen Netzlängen zur Anwendung.

Die Erweiterung eines bestehenden Wärmennetzes durch Solaranlagen kann auf verschiedene Arten erfolgen. Bei einem 2+2-Leiter-Netz wird für Trinkwassererwärmung und Raumheizung eine gemeinsame Vorlauf- bzw. Rücklaufleitung installiert und die Solaranlage ist über einen eigenen Vor- und Rücklauf mit der Heizzentrale oder dem Wärmespeicher verbunden (Abbildung 7). Die gleiche Situation liegt bei einem 4+2-Leiter-Netz vor, jedoch erfolgt hier die Versorgung von Trinkwassererwärmung und Raumheizung separat (Abbildung 8). Eine weitere Möglichkeit stellt das 3-Leiter-Netz dar. Hier werden Trinkwasser und Raumheizung gemeinsam bedient und die Solaranlage speist in den Rücklauf des Wärmennetzes ein (Abbildung 9). Weitere Details sind auch in [16] zu finden.

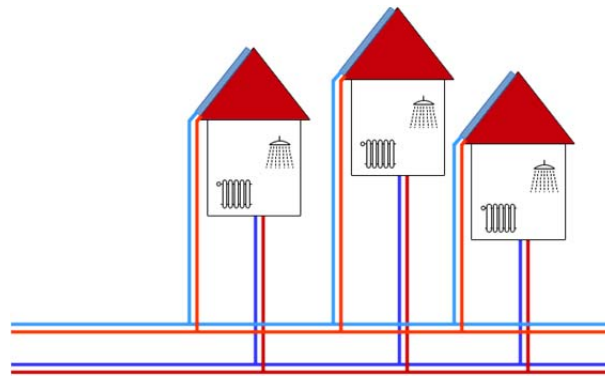


Abbildung 7: Schema eines 2+2-Leiter Wärmennetzes

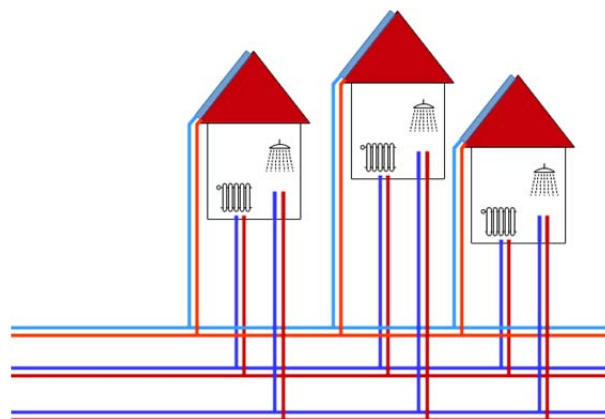


Abbildung 8: Schema eines 4+2-Leiter Wärmennetzes

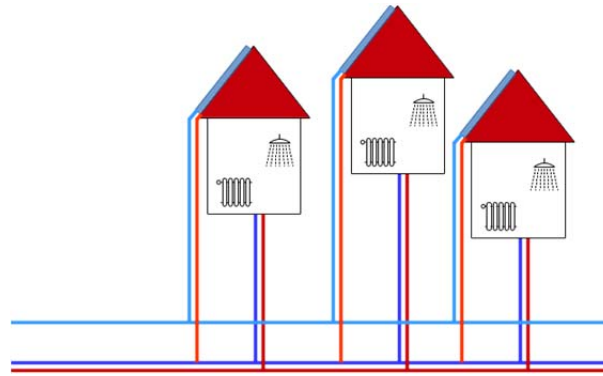


Abbildung 9: Schema eines 3-Leiter Wärmenetzes

In Tabelle 2 werden typische Rohrleitungslängen für verschiedene Siedlungstypen dargestellt. Für die im Projekt KREIS durchgeführten Simulationen wurden insgesamt, d.h. inklusive der Stichleitungen zu den Gebäuden Rohrleitungen mit Nennweiten zwischen DN 25 und DN 200 und einer Gesamtlänge von etwa 8 km berücksichtigt. Die Wärmedurchgangskoeffizienten zur Ermittlung der Wärmeverluste der Rohrleitungen sind den Herstellerangaben zu entnehmen.

6.1 Kalte Nahwärme

Wird die in das Wärmenetz einzuspeisende Wärme mittels Wärmepumpen aus Grundwasser generiert, sind kalte Nahwärmenetze ein interessanter Ansatz zur Reduktion der Wärmeverluste der Wärmeverteilung. Bei diesen erfolgt der Wärmetransport zu den einzelnen Gebäuden bzw. Gebäudegruppen auf dem niedrigen Temperaturniveau des Grundwassers von 10 °C. Die Temperaturerhöhung hingegen erfolgt nachgelagert dezentral durch Wärmepumpen in den einzelnen Gebäuden bzw. individuell für einzelne Gebäudegruppen.

Ein Vergleich des Konzepts der kalten Nahwärme mit einem konventionellen Wärmeverteilnetz, das durch aus dem Grundwasser mittels einer zentralen Wärmepumpe gewonnenen Wärme gespeist wird, hinsichtlich energetischer Aspekte ergibt, dass kalte Nahwärmenetze einen vielversprechenden Ansatz zur Reduktion von Wärmeverlusten darstellen. Bei einer Temperatur des Wärmeverteilnetzes von konstant 90 °C betragen die Wärmeverluste bezogen auf die an die Verbraucher gelieferte Wärmemenge im vorliegenden Fall, d.h. für die Jenfelder Au in Hamburg, 25 %. Dieser Wert kann bei einer Temperatur von 60 °C auf 19 % und beim Einsatz kalter Nahwärme mit einer Temperatur von 10 °C auf 5 % gesenkt werden. Im Fall der kalten Nahwärme können im Sommer sogar Wärmegewinne erzielt werden, wenn die Erdreichtemperatur in Verlegetiefe über der Betriebstemperatur des Wärmenetzes liegt. Für den hier untersuchten Anwendungsfall betragen in der Jahres-Gesamtbilanz die effektiven Wärmeverluste der kalten Nahwärme daher nur noch 2 %.

Diese Ergebnisse wurden zusätzlich anhand des Primärenergiebedarfs bewertet und mit einem Referenzkonzept, der Wärmeerzeugung mittels Gaskessel und einer Wärmeverteilung bei 90 °C, verglichen. Der Vergleich zeigt, dass der Primärenergiebedarf bei einer Wärmeverteilungstemperatur von 90 °C unabhängig davon, ob Gas oder eine Grundwasser-Hochtemperatur-Wärmepumpe zur Wärmeerzeugung eingesetzt wird, auf einem ähnlichen Niveau liegt. Davon ausgehend kann der Primärenergiebedarf bei einer Verteiltemperatur von 60 °C in Verbindung mit einer Grundwasser-Wärmepumpe um 45 % reduziert werden. Dies liegt neben den verringerten Verlusten des Wärmeverteilnetzes ganz wesentlich auch an der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe, die mit sinkender Betriebstemperatur deutlich ansteigt.

Das Konzept der kalten Nahwärme mit einer Wärmeverteilungstemperatur von 10 °C führt zu einer Absenkung des Primärenergiebedarfs um weitere 6 %. Eine weitere Reduzierung des Primärenergiebedarfs kann durch die Integration von thermischen Solaranlagen erzielt werden. Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die Integration von 5 m² Sonnenkollektoren je Wohneinheit zu einer Absenkung des Primärenergiebedarfs von 18 % gegenüber der kalten Nahwärme ohne Solarthermie-Integration führt. Gegenüber der Ausgangsvariante, d.h. einem mit 90 °C betriebenen Wärmenetz, das mittels Gaskesseln oder Hochtemperatur-Wärmepumpen gespeist wird, ergibt sich somit eine Reduktion des Primärenergiebedarfs von ca. 60 %. Detaillierte Informationen zu den hier zusammengefassten Ergebnissen befinden sich in [17] und [18].

6.2 Energieinseln

Bei einem konventionellen Nahwärmenetz wird die von verschiedenen Wärmequellen erzeugte Wärme meist in einen zentralen thermischen Energiespeicher eingespeist. Sämtliche Gebäude des zu versorgenden Stadtquartiers werden über Rohrleitungen an diesen angebunden und so mit Wärme versorgt. Daraus resultiert mit steigendem Abstand zwischen Wärmespeicher oder -erzeuger und Gebäuden ein Anstieg der Rohrleitungswärmeverluste. Eine alternative, innovative Möglichkeit zur Energieversorgung von Stadtquartieren stellt die Realisierung von sogenannten Energieinseln dar. In Bezug auf die Wärmeversorgung erfolgt hierbei eine weitgehend unabhängige Versorgung von einzelnen Gebäudegruppen des Stadtquartiers, welche sich in einem relativ großen Abstand zu den zentralen Wärmeerzeugern befinden. Die daraus resultierenden kürzeren Rohrleitungen führen zu geringeren Wärmeverlusten und somit zu energetischen Vorteilen.

Mittels Simulationsrechnungen wurden die Auswirkungen der Realisierung von Energieinseln auf die energetische Gesamteffizienz von Stadtquartieren untersucht und aufgezeigt. Die Analyse der Konzepte ergab, dass die Realisierung einer Energieinsel in der betrachteten Größenordnung zwischen 10 und 50 Wohneinheiten im Vergleich zu einem konventionellen Nahwärmenetz bereits ab einem vernachlässigbar geringen Abstand von wenigen Metern zwischen den zentralen Wärmeerzeugern und Wärmespeichern und der abgegrenzten Gebäudegruppe unter energetischen Aspekten sinnvoll ist. Mit zunehmendem Abstand steigen die Rohrleitungswärmeverluste bei dem konventionellen Nahwärmenetz deutlich an, wodurch je nach eingesetzten Energiequellen auch ein Anstieg im Primärenergiebedarf resultiert. Detaillierte Informationen zu den hier zusammengefassten Erkenntnissen befinden sich in [19].

7 Primärenergetische Bewertung

Zur Ermittlung und Bewertung der ökologischen Auswirkungen unterschiedlicher Wärmeversorgungskonzepte kann zum Beispiel der Primärenergiebedarf herangezogen werden. Dieser beinhaltet zusätzlich zum Energiebedarf am Ort des Verbrauchs auch den Energiebedarf, der durch vorangehende Prozessschritte bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung des Energieträgers anfällt. Dieser zusätzliche Energiebedarf wird für jeden Energieträger separat als Primärenergiefaktor angegeben. Weitergehend erfolgt eine Aufteilung in jeweils einen erneuerbaren und einen nicht erneuerbaren Anteil.

Je nach Wahl der Systemgrenzen können die für die Berechnung des Primärenergiebedarfs benötigten Primärenergiefaktoren unterschiedliche Werte annehmen. In den verschiedenen Regelwerken existieren daher unterschiedliche Sätze an Primärenergiefaktoren. Diese werden dann mit dem Endenergiebedarf zum Primärenergiebedarf verrechnet, vgl. Gleichung (3).

$$Q_P = Q_E \cdot f_P \quad (3)$$

Mit:

Q_P ... Primärenergiebedarf [GWh]

Q_E ... Endenergiebedarf [GWh]

f_P ... Primärenergiefaktor [-]

Tabelle 3 zeigt beispielhaft die Werte für den nichterneuerbaren Anteil gemäß EnEV 2009.

Tabelle 3: Primärenergiefaktoren für den nicht erneuerbaren Anteil nach EnEV 2009

| Energiearten | Primärenergiefaktor (nicht erneuerbarer Anteil) |
|-------------------------------|--|
| Erdgas | 1,1 |
| Holz | 0,2 |
| Biogas (für Mikrogasturbinen) | 0,5 |
| Bio-Erdgas (für BHKW) | 0,7* |
| Solarenergie | 0,0 |
| Strom (Strommix) | 2,6 |

8 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem vorliegenden Dokument zur Vorversion Planungsempfehlungen ist es möglich, eine effiziente und ressourcenschonende Wärmeversorgung von neu zu errichtenden Stadtquartieren zu planen und umzusetzen. Die Erkenntnisse der Planungsempfehlungen stammen aus den Ergebnissen, die im Rahmen des Forschungsprojekts KREIS erzielt wurden. Der Schwerpunkt der Empfehlungen liegt auf der Einbindung von lokalen Energieressourcen und Technologien um die daraus erzeugte Wärme effizient im Gesamtversorgungskonzept nutzen zu können.

Besonders Augenmerk wird auf die Analyse der Randbedingungen und der vorliegenden Situation des zu versorgenden Stadtquartiers gelegt. Basierend darauf kann ein Wärmebedarf ermittelt werden. Dieser unterteilt sich in den Wärmebedarf zur Trinkwassererwärmung, zur Raumheizung und zur Deckung der Wärmeverteilverluste. Anschließend kann in Abhängigkeit von den analysierten Randbedingungen eine Auswahl der möglichen Wärmequellen und der Techniken zu deren Nutzung getroffen werden. Letztendlich muss die Wärme noch beim Verbraucher, also den Gebäuden und Bewohnern des Stadtquartiers ankommen. Hierzu werden mögliche Wärmeverteilkonzepte vorgestellt und diskutiert. Ergänzend wird noch auf die Bewertung der Konzepte mittels des Primärenergiebedarfs eingegangen.

Abschließend ist zu bemerken, dass diese Planungsempfehlungen zwar fast ausschließlich auf theoretischen, aber sehr detaillierten Untersuchungen basieren. Eine Überprüfung der dokumentierten Erkenntnisse ist im Folgeprojekt KREIS (2) geplant, in dem u.a. die Betriebsphase der abwasser- und energietechnischen Anlagen technisch-wissenschaftlich begleitet werden soll. Mit den daraus resultierenden Ergebnissen sollen diese vorläufigen Planungsempfehlungen in eine Endversion überführt werden und anschließend der breiten Fachöffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

Generell muss jedoch beachtet werden, dass das vorliegende Dokument nicht den Anspruch auf Vollständigkeit erhebt und die Autoren keine Haftung für evtl. Schäden, die aus der Anwendung des Dokuments bzw. der Umsetzung der darin beschriebenen Vorgehensweise entstehen, übernehmen.

9 Literatur

- [1] Implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for space heaters and combination heaters, Water heating load profile M, European Commission, 2012
- [2] Untersuchung der Gleichzeitigkeit in kleinen und mittleren Nahwärmenetzen, Walter Winter, Thomas Haslauer, Ingwald Obernberger, Institut für Grundlagen der Verfahrenstechnik und Anlagentechnik der TU Graz und Ingenieurbüro BIOS in Graz, Euroheat & Power, 09&10/2001; ISSN 0949-166X, 2001
- [3] Gaderer, M., Wärmeversorgung mit fester Biomasse bei kleiner Leistung, Dissertation, Lehrstuhl für Energiesysteme, TU München, 2007, URN: <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:bvb:91-diss-20070928-630149-1-0>, 2007
- [4] http://www.minol.de/tl_files/content/service/Verbrauchertipps/Hohe%20Heizkosten%3F/Waermebedarf_nach_Gebaeudebaujahr_gross.gif, letzter Zugriff am 11.03.2015
- [5] Dötsch, C., Schönberg, I., Taschenberger, J.: Leitfaden Nahwärme; Band 6, Fraunhofer UMSICHT; Oberhausen, 1998
- [6] AGEB 2013 (AG Energiebilanzen e.V.). Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2010 und 2011. Studie beauftragt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Projektnummer: 23/11. URL: www.ag-energiebilanzen.de. Letzter Zugriff: 12.12.2013
- [7] Eriksson E., Auffarth K., Eilersen A.-M., Henze M., Ledin A. (2002): Characteristics of grey water. Urban Water, Vol. 4 (2002), pp. 85 -104
- [8] Friedler, E. (2004). Quality of individual domestic greywater streams and its implication for on-site treatment and reuse possibilities. Environmental Technology, Vol. 25, pp. 997-1008
- [9] DWA (2010). Themen: Energiepotential in der deutschen Wasserwirtschaft- Schwerpunkt Abwasser. Editor: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hennef, Germany
- [10] Koppe, P.; Stozek, A. (1999). Kommunales Abwasser: Seine Inhaltsstoffe nach Herkunft, Zusammensetzung und Reaktionen im Kläranlagenprozeß einschließlich Klärschlämme. Vulkan Verlag Essen, 4th Edition
- [11] Sievers J. C., Oldenburg M., Londong J. (2014): Characterisation of Greywater – Estimation of Design Values. 17th EWA Symposium during IFAT 2014. Water, Energy and Resources: Innovative Options and Sustainable Solutions. München, 5. - 9 Mai 2014
- [12] Drück H., Heidemann W., Müller-Steinhagen H., Potenziale innovativer Speichertechnologien für solare Kombianlagen, Tagungsband zum 14. Symposium Thermische Solarenergie, Seiten 104 – 109, Otti, Regensburg, 2004, ISBN 3-934681-33-6

- [13] Bauer D., Marx R., Nußbicker-Lux J., Och F., Drück, H., Heidemann, W., Forschungsbericht zum BMU-Vorhaben Solarthermie2000plus: Wissenschaftlich-technische Begleitung des Förderprogramms Solarthermie2000plus zu solar unterstützter Nachwärme und Langzeitwärmespeicherung (August 2008 bis September 2012); PTJ Förderkennzeichen 0329607P; Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW), Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen (TZS), Universität Stuttgart, April 2013, online verfügbar unter: - <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb13/773140042.pdf> (abgerufen am 11.09.2014)
- [14] Bauer D., Marx R., Drück H., Solare Nahwärme im Bestand – Technologie und Perspektiven, Tagungsband zum 22. Symposium Thermische Solaranlagen Seiten 302-303 (Kurzfassung), Kloster Banz, Bad Staffelstein, 09.05. – 11.05.12, ISBN 978-3-941785-89-2
- [15] Giese T., Londong J., Kopplung von regenerativer Energiegewinnung mit innovativer Stadtentwässerung – Synthesebericht zum Forschungsprojekt KREIS, Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme, Weimar, Rhombos-Verlag, Berlin, ISBN 978-3-944101-56-9, ISSN 1862-1406, 2015
- [16] Hahne, Prof. Dr. E.: Solare Nahwärme, ein Leitfaden für die Praxis; Köln; ISBN: 3-8249-0470-5; 1998
- [17] Bestenlehner D., Drück Dr. H., Stübler A.: Energetisches Einsparpotential eines kalten Nahwärmenetzes zur Wärmeversorgung eines Stadtquartiers im Vergleich zu einem konventionellen Nahwärmenetz; OTTI 24. Symposium Thermische Solarenergie, 2014
- [18] Stübler A., Bestenlehner D., Drück H., Energy saving potentials of cold district heating networks, 17th EWA Symposium during IFAT 2014. Water, Energy and Resources: Innovative Options and Sustainable Solutions. Munich, Germany, 5-9 May 2014
- [19] Stübler A., Drück Dr. H., Bestenlehner D.: Energieinseln - eine Möglichkeit zur Effizienzsteigerung von Nahwärmenetzen?, OTTI 23. Symposium Thermische Solarenergie, 2013