

THEMA

Smart Block II – Studie zur Wärmeversorgung

UNTERSUCHUNG ZUR WÄRMEVERSORGUNG EINES
REPRÄSENTATIVEN WIENER GRÜNDERZEITBLOCKS, IN
ERGÄNZUNG ZUM KLIEN-GEFÖRDERTEN
SONDIERUNGSPROJEKT SMART BLOCK II, APRIL 2017

Vorwort Smart Block II Wärmeversorgung

Die Sanierung der Bestandsstadt ist eines der herausforderndsten Themen, denen sich Städte im Zusammenhang mit Klimaschutz und Ressourcenreduktion stellen müssen. Neben Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz spielen hier die Wärmebereitstellung und das Heizsystem eine große Rolle, denn für eine Dekarbonisierung muss die Wärmeversorgung zunehmend ohne fossile Energieträger stattfinden. Doch wie ersetzt man zum Beispiel Gas in der Bestandsstadt?

Eine Energiewende wird also nicht nur im Strom- sondern auch im Wärmesektor stattfinden müssen. Erneuerbare Energiequellen für zentrale Kraftwerke und dezentrale Versorgungslösungen sind hier ebenso Thema, wie die Entflechtung der leitungsgebundenen Infrastruktur. Tatsächlich wird der Umbau des Energiesystems (Strom und Wärme) aber nicht von heute auf morgen passieren, mit einer Dekarbonisierung ist in der 2. Jahrhunderthälfte zu rechnen. Ein weiter steigender Energiebedarf macht den Ausstieg aus fossilen Energieträgern jedenfalls deutlich schwieriger, weshalb der Sanierung des Gebäudebestandes zur Reduktion des Heizwärmebedarfes eine so große Rolle zukommt.

Die vorliegende Studie wurde in Ergänzung zum KLIEN-geförderten Sondierungsprojekt Smart Block II beauftragt und untersucht Optionen für eine Wärmeversorgung eines für Wien repräsentativen Gründerzeitblocks. Der Problematik, dass die Sanierungsrate aus verschiedenen Gründen generell und so auch in diesem Block sehr niedrig ist, wurde insofern Rechnung getragen, als der gesamte Block unter der Annahme, es handle sich um zum Teil sanierte, zum Teil unsanierte Gebäude, betrachtet wurde. In der Untersuchung wurden weitere determinierende Annahmen (bestehende Heizsysteme, Preisentwicklungen, Auswahl und Kombination erneuerbarer Energiequellen, etc.) getroffen und auch aus dem Projekt Smart Block II gab es bestimmte Vorgaben, die einen engen Rahmen steckten. Die Ergebnisse der Studie sind daher immer vor diesem Hintergrund zu betrachten und nicht generell umlegbar.

Die Ergebnisse liefern Stoff für Diskussion, einerseits bezüglich der getroffenen Annahmen (u.a. Entwicklungen im Strom- und Wärmesektor, Anteil erneuerbarer Energieträger mittel- und langfristig) sowie andererseits hinsichtlich der Schlussfolgerungen, im Rahmen derer auch die Mobilisierung der LiegenschaftseigentümerInnen thematisiert wurde. Was ist zielführender – zuerst sanieren, dann Heizsystem anpassen/erneuern oder zuerst ein neues Heizsystem (in der Studie Fernwärme) und innerhalb der nächsten 15 Jahre zwingend sanieren? Logisch, Ersteres, würde man sagen. Aber wie weit kommen wir da, wenn die Sanierungsrate bei unter 1% pro Jahr liegt? Jedenfalls nicht zur Erfüllung der Klima- und Energieziele! Also ist es notwendig, die Anzahl der Gebäude, die saniert werden, drastisch zu erhöhen. Und dazu braucht es die LiegenschaftseigentümerInnen. Die Studie macht dazu einen Vorschlag, der zumindest diskussionswürdig ist und als Ausgangspunkt für ein Nachdenken über Mobilisierungsmodelle dienen kann.

Welche Ansätze aus der Studie im Projekt Smart Block II sich zur Realisierung eigenen, muss in weiteren Diskussionsrunden geklärt werden.

Andrea Kinsperger
Bernd Vogl

Magistratsabteilung 20

Smart Block II
Stadt Wien MA 20

Studie
Wärmeversorgung
Endbericht

April 2017

Inhaltsverzeichnis

| | Seite |
|--|-----------|
| 1.0 Einleitung | 3 |
| 1.1 Projekt Smart Block II | 3 |
| 1.2 Aufgabenstellung und Leistungsbild | 3 |
| 1.3 Ziele und Fragestellungen | 5 |
| 2.0 Ideenkonzepte | 6 |
| 2.1 Grundlagen und Annahmen | 6 |
| 2.2 Ressourcen | 6 |
| 2.3 Ist-Zustand und Grundvariante | 7 |
| 2.4 Varianten | 9 |
| 3.0 Bewertung | 13 |
| 3.1 Annahmen | 13 |
| 3.2 Ergebnisse und Bewertung | 14 |
| 4.0 Schlussfolgerungen | 18 |
| 4.1 Vergleich der Varianten | 18 |
| 4.2 Finanzierungsmodelle | 21 |
| 4.3 Weitere Vorgehensweise | 24 |
| Quellen | 25 |
| Bilderquellen | 25 |

1.0 Einleitung

1.1 Projekt Smart Block II

Im Fokus des von der FFG geförderten Forschungsprojekts „Smart Block II“ steht die Sanierung eines „Pilot-Blocks“ in einem dicht bebauten gründerzeitlichen Viertel Wiens (Abb. 1.1). Unter „Smart Block“ ist ein gemeinschaftliches Vorgehen bei thermisch-baulicher Sanierung mit liegenschaftsübergreifender, alternativer Energieversorgung sowie Mobilitäts-, Begrünungs- und Freiraumkonzepten für Bewohner und Bewohnerinnen zu verstehen¹. Das im Forschungsprojekt erstellte „Smart Block“-Konzept soll den Liegenschaftseigentümern und Liegenschaftseigentümerinnen vorgestellt werden, mit dem ultimativen Ziel der Realisierung. Alternative Finanzierungsmodelle zur Umsetzung sind angedacht.

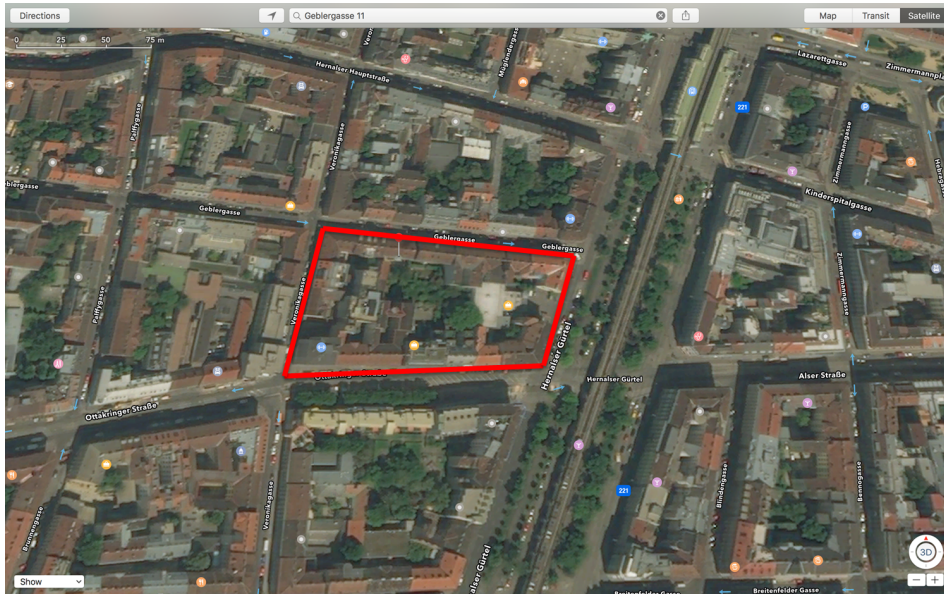


Abb. 1.1 Smart Block

1.2 Aufgabenstellung und Leistungsbild

Die wesentlichen Parameter, welche die Energieperformance eines Gebäudes bestimmen, sind²:

- Gebäudeform und -konfiguration
- Gebäudehülle
- Gebäudetechnik-Systeme zur Heizung, Kühlung, Belüftung und Beleuchtung
- Energieversorgungssysteme

Im vorliegenden Fall sind gemäß der bisherigen Erkenntnisse der mit dem Projekt betrauten Forschergruppe die ersten drei Parameter aufgrund der Eigentümerstrukturen und des derzeitigen Stadiums des Projektes schwer beeinflussbar. Ein Weiterverkauf von Strom innerhalb des Smart Blocks ist aufgrund der aktuellen Gesetzeslage nicht möglich, so dass der Fokus in der gegenständlichen Studie auf die Wärmeenergieversorgung gelegt werden soll.

Energy Design Cody Consulting GmbH wurde von der Magistratsabteilung 20, Stadt Wien als Konsulent beauftragt, um eine erste Machbarkeitsstudie bezüglich möglicher Ideenkonzepte für die Wärmeenergieversorgung zu erstellen.

Drei aus energetischer Sicht sinnvolle Ideenkonzepte für die Versorgung des Smart Blocks mit Wärmeenergie sollen entwickelt werden. Dabei wird der Smart Block als eine „Black Box“ behandelt; eine Mischung aus sanierten und nicht sanierten Wohngebäuden mit einem angenommenen Wärmeenergiebedarf. Die Ideenkonzepte werden jeweils mit einem Schemadiagramm und einer textlichen Beschreibung dargestellt und unter folgenden Gesichtspunkten miteinander qualitativ verglichen:

- Primärenergiebedarf
- CO₂-Emissionen
- Investitionskosten
- Energiekosten
- Platzbedarf
- Wartung
- lokale Lärmemissionen und Luftverschmutzung

Dabei erfolgt der Vergleich auf rein qualitativer Basis. Da zu diesem Stadium des Projektes keine harten Daten über die Kosten, Energiebedarfswerte etc. vorliegen (können), werden die o.a. Bewertungskriterien anhand von Punktwerten bewertet, um einen ersten Vergleich der Alternativen unter den genannten Gesichtspunkten zu ermöglichen.

Es wurden neben einer Grundvariante fünf Ideenkonzepte entwickelt, bewertet und miteinander verglichen.

Folgende Leistungen sind nicht Bestandteil des Leistungsbildes:

- Planungsleistungen
- detaillierte Berechnungen
- Computersimulationen
- Kostenschätzungen
- Überprüfung der Einhaltung lokaler Gesetze und Vorschriften

Zur Klärung der Rahmenbedingungen fand ein Treffen mit der Forschergruppe und eine gemeinsame Besichtigung des Pilotblocks am 12.10.2016 vor Ort statt.



Abb. 1.2 Smart Block (Besichtigung des Pilotblocks am 12.10.2016)

Im Rahmen eines zweiten Treffens (Workshop am 1.12.2016 in Wien) mit Teilnehmern aus anderen Forschungsprojekten mit ähnlichen Themen und Aufgabenstellungen wurden die Ergebnisse der Studie vorgestellt und gemeinsam diskutiert.

Dieser Abschlussbericht fasst die Ergebnisse der durchgeführten Studie einschließlich der Einarbeitung von Feedback aus dem zweiten Treffen zusammen. Im Rahmen eines dritten Treffens in Februar 2017 in Wien werden die Ergebnisse den LiegenschaftseigentümerInnen und Advisory Board vorgestellt.

1.3 Ziele und Fragestellungen

Im Rahmen des ersten Treffens am 12.10.2016 wurden die folgenden Ziele für die zu entwickelnden Ideenkonzepte definiert:

- Erreichung einer nachhaltigen Wärmeenergieversorgung
- Maximierung des Anteils von erneuerbaren Energiequellen
- Konzepte stufenweise ausbaubar

Daraus kristallisieren sich folgende zentrale Fragestellungen heraus:

- lässt sich eine nachhaltige Wärmeenergieversorgung eines solchen größtenteils nicht sanierten Blockes sinnvoll erreichen?
- wie kann der Anteil von erneuerbaren Energiequellen an der Wärmeenergieversorgung maximiert werden?
- kann ein solches Wärmeenergieversorgungskonzept so gestaltet werden, dass es einen stufenweise erfolgenden Ausbau ermöglicht?

2.0 Ideenkonzepte

2.1 Grundlagen und Annahmen

Der Block umfasst insgesamt 18 Liegenschaften. Davon gibt es drei Liegenschaftseigentümer, die vorhaben, in den kommenden Jahren zu sanieren und, die deshalb an der Beteiligung am Projekt Smart Block besonders interessiert sind. Die Bestandsfläche beträgt ca. 24 000 m² BGF. Während der letzten 10 Jahre wurden ca. 10% des Bestandes saniert.

Folgende Annahmen werden der gegenständlichen Studie zugrunde gelegt:

- bis 2020 werden weitere 10-15% des Bestands saniert und ca. 2000 m² Neubauf Flächen gebaut
- bis 2030 werden ca. 50% des Bestands saniert und insgesamt ca. 4000 m² Neubauf Flächen gebaut (s. Abb. 2.1)

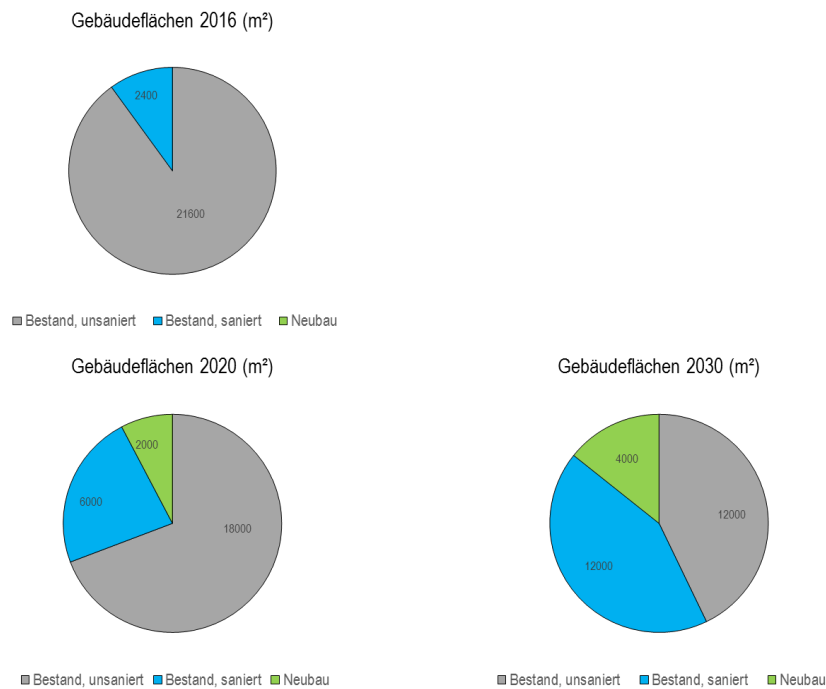


Abb. 2.1 Flächenaufteilung 2016, 2020, 2030

2.2 Ressourcen

Folgende Ressourcen zur Wärmeenergieversorgung des Smart Blocks stehen theoretisch zur Verfügung (Abb. 2.2):

Leitungsgebundene Energieträger

- Gas
- Strom
- Fernwärme

Erneuerbare Energiequelle am Standort

- Sonne
- Wind

Niedertemperatur-Wärmequellen

- oberflächennahe Geothermie
- Grundwasser
- Abwasserkanal

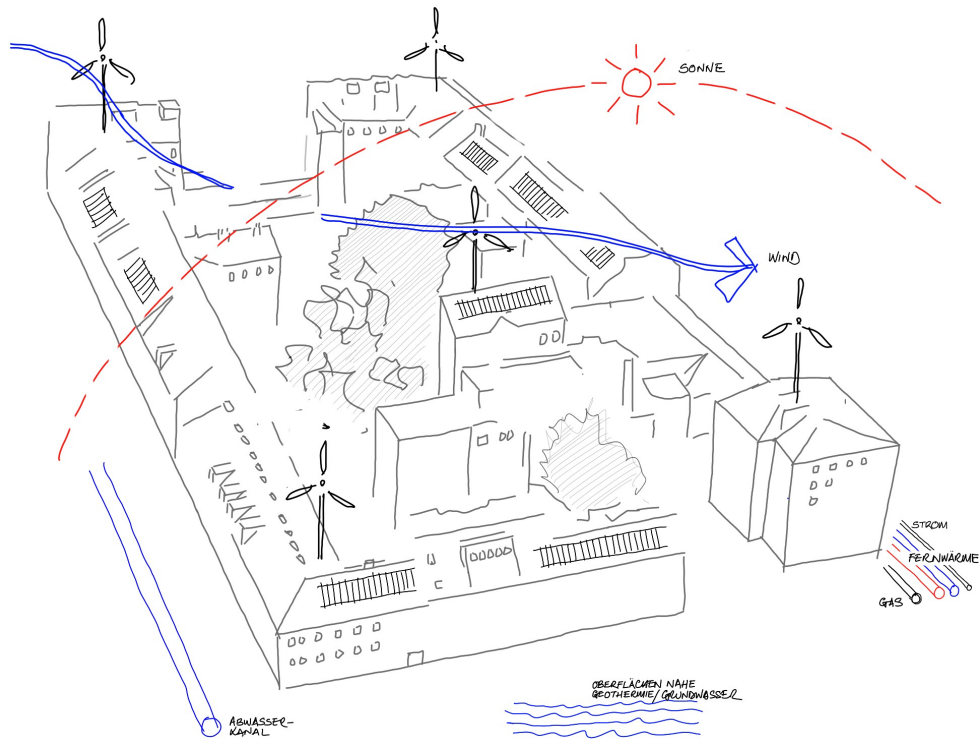


Abb. 2.2 Energieressourcen am Standort

2.3 Ist-Zustand und Grundvariante

Im Rahmen des erstens Treffens am 12.10.2016 wurden folgende Annahmen bezüglich der in den Wohnungen vorhandenen Heizungsarten getroffen.

- 10% Einzelofen
- 10% Nachtstrom
- 10% zentrale Ölheizungsanlage bzw. Gasheizungsanlage
- 5% Wärmepumpe mit oberflächennaher Geothermie als Quelle
- 65% Gasetagenheizung (Kombitherme)

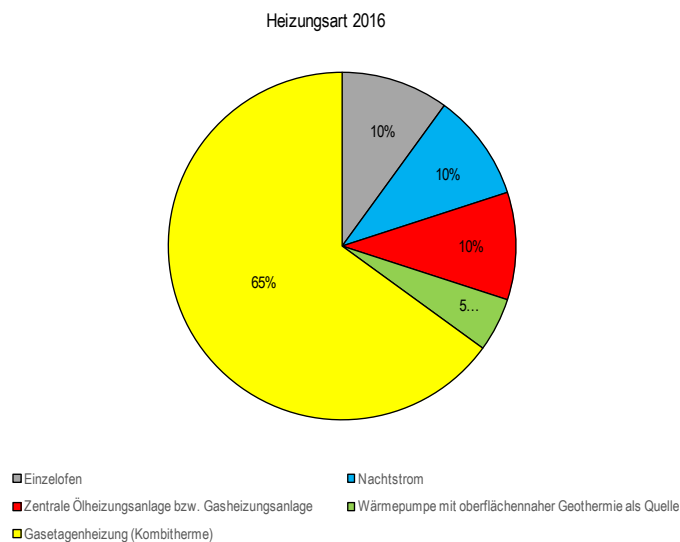


Abb. 2.3 Heizungsarten in den Wohnungen

Somit kann davon ausgegangen werden, dass ca. 80% des Bestands über eine Warmwasserheizung mit Heizkörpern in den Wohnungen verfügen.

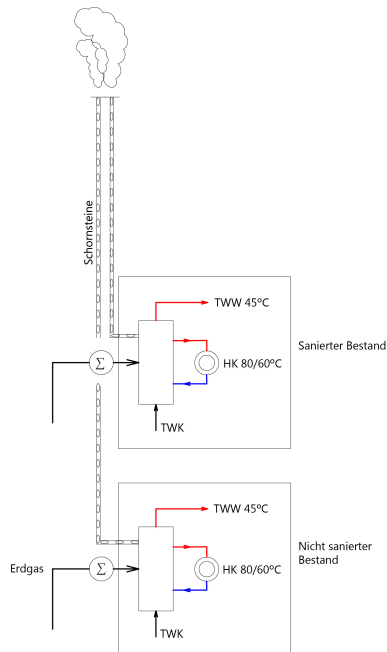


Abb. 2.4 Ist-Zustand

Als hypothetischer Fall und, um vornehmlich als Vergleichsbasis zu dienen, wurde eine Grundvariante (Variante V0) mit einer zentralen Erdgas-Brennwertkesselanlage, einem zentralen Verteilungsnetz und Übergabe in den Wohnungen mittels Wärmetauscher aufgestellt (Abb. 2.5).

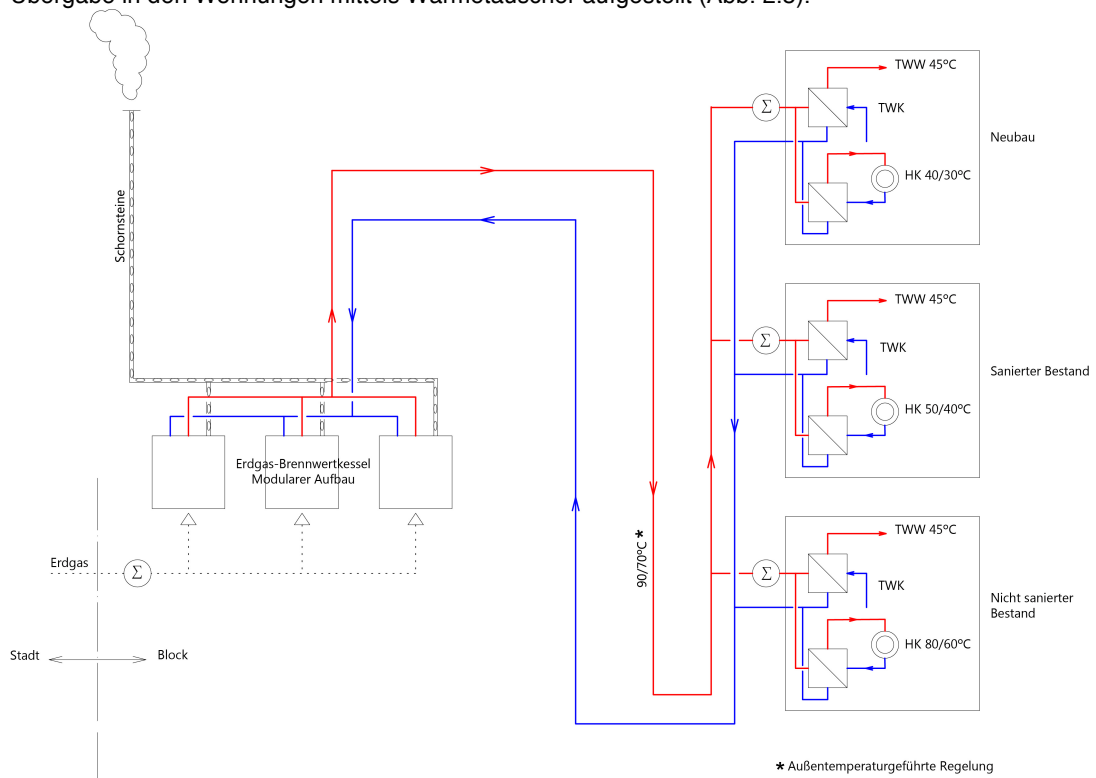


Abb. 2.5 Grundvariante, Variante V0

Die Warmwasserbereitstellung erfolgt mittels Frischwasserstation bzw. Warmwasserspeicher in den Wohnungen. Die Verwendung von Frischwasserstationen erleichtert die Umsetzung der hygienischen Auflagen zur Vermeidung von Legionellenwachstum in den Wohnungsanlagen, bedeutet jedoch, dass kleine Pufferspeicher und/oder zusätzliche Pumpen zentralnetzseitig in den Wohnungen vorgesehen werden müssen, um den Spitzenwärmebedarf zu reduzieren. Eine Alternativlösung wäre eine zentrale Warmwasserbereitung mit separatem Verteilnetz und Zirkulationsleitungen.

Obwohl diese Variante lediglich als Vergleichsbasis aufgestellt wird, sei angemerkt, dass sich folgende Vorteile gegenüber dem Ist-Zustand bei der Umsetzung dieser Variante ergeben würden:

- Eliminierung von Gasleitungen in den Wohnungen
- Eliminierung der Notwendigkeit eines Verbrennungsluftverbunds in den Wohnungen
- höhere Energieeffizienz (erhöhte Verteilungsverluste aber höherer Kessel-Wirkungsgrad)

In der Zukunft wäre es auch denkbar, dass statt Erdgas möglicherweise Biogas im öffentlichen Netz verteilt wird.

2.4 Varianten

2.4.1 Variante V1

Als erneuerbare Energiequelle bietet sich die solare Energienutzung mittels solarthermischer Kollektoren auf den Dachflächen. Die somit erzeugte Wärme wird primär zur Abdeckung der Warmwasserbereitung verwendet.

Bei dieser Variante erfolgt die restliche Wärmeversorgung mittels eines Anschlusses an das städtische Fernwärmenetz. Die Verteilung zu den Wohnungen erfolgt über ein zentrales Verteilnetz (horizontal verlaufende Rohrleitungen im Kellergeschoss, vertikale Steigleitungen in den einzelnen Häusern) wie bei der Variante V0 (Abb. 2.6). Die Warmwasserbereitstellung erfolgt mittels Frischwasserstation bzw. Warmwasserspeicher in den Wohnungen.

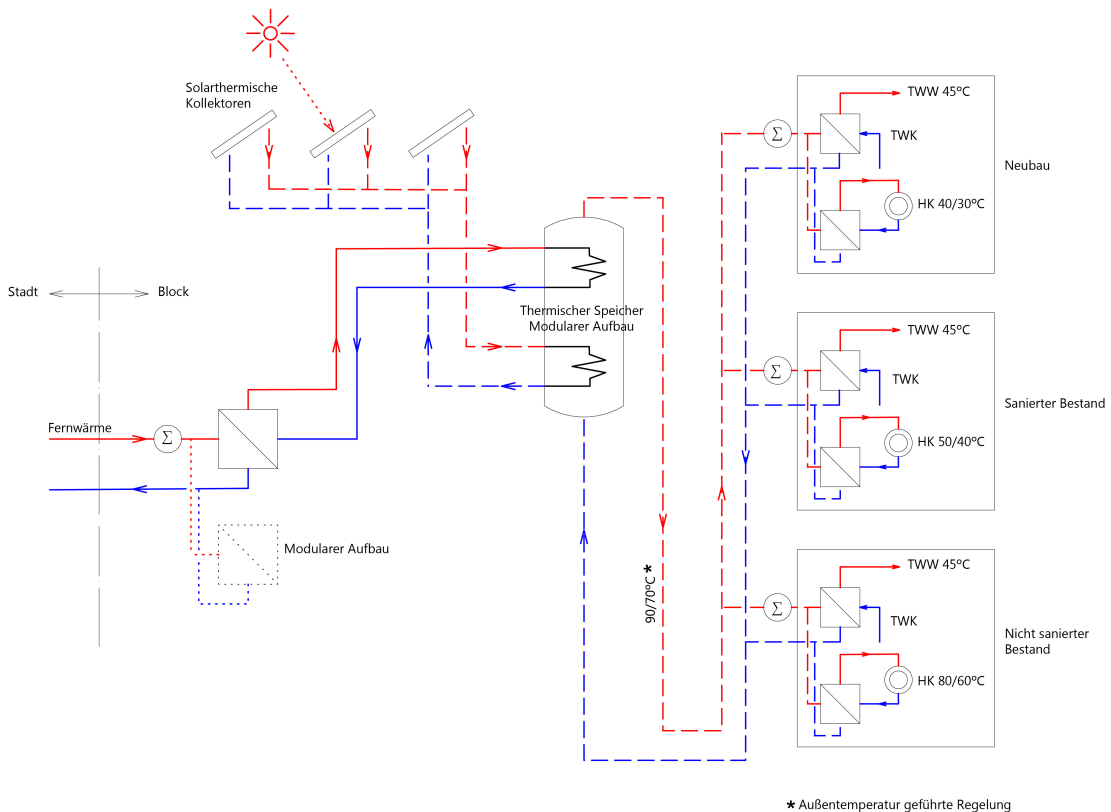


Abb. 2.6 Variante V1

Ein stufenweise erfolgreicher modularer Aufbau der Anlage ist grundsätzlich denkbar, jedoch müssten die praktisch durchführbaren Möglichkeiten mit dem Fernwärmeversorgungsunternehmen erörtert werden.

2.4.2 Variante V2

Diese Variante sieht ebenfalls solare Energienutzung mittels solarthermischer Kollektoren auf den Dachflächen mit Verwendung der somit erzeugten Wärme primär zur Abdeckung der Warmwasserbereitung vor.

Die restliche Wärmeversorgung erfolgt mittels einer Biomasseheizkesselanlage im modularen Aufbau (Abb. 2.7) mit Verteilung zu den Wohnungen über ein zentrales Verteilungsnetz. Die Warmwasserbereitstellung erfolgt mittels Frischwasserstation bzw. Warmwasserspeicher in den Wohnungen.

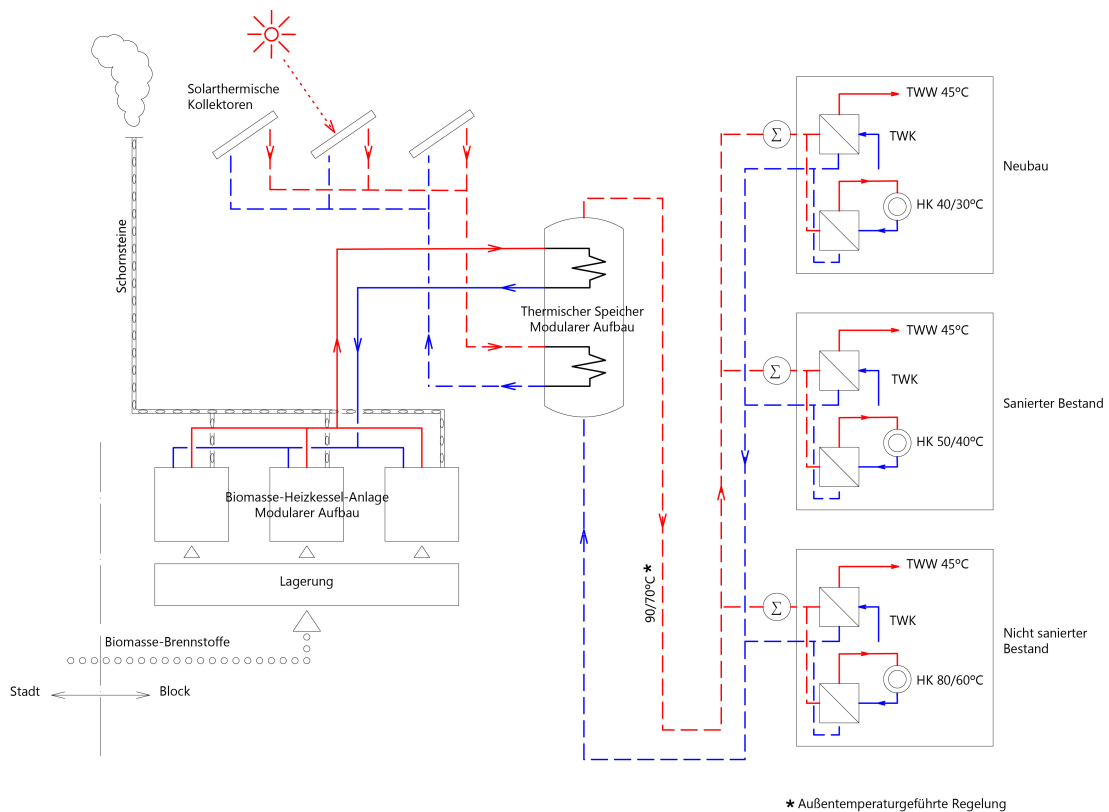


Abb. 2.7 Variante V2

Der Platzbedarf für die Brennstofflagerung und die erforderlichen Schornsteine ist zu bedenken.

Die Biomasse-Heizkesselanlage könnte zu einem späteren Zeitpunkt mit Biomasse-Blockheizkraftwerken ersetzt und der erzeugte Strom zur Abdeckung des Strombedarfs genutzt werden. Es wäre ebenfalls denkbar, eine mit Biomasse betriebene BHKW-Anlage gleich vom Anfang an vorzusehen, mit Nutzung des Stroms zunächst zur Heizung mittels Wärmepumpe mit späterer Ergänzung der Anlage mit einem Biomassekessel für Spitzenlasten, wenn der Strom zur Abdeckung des Strombedarfs möglich wird. Allerdings wäre dies eine sehr kostenintensive Variante.

2.4.3 Variante V3

Solarthermische Kollektoren auf den Dachflächen erzeugen Wärme, welche primär zur Abdeckung des Warmwasserbedarfs verwendet wird.

Wärmepumpen - mit oberflächennaher Geothermie und einem Abwasserkanal-Wärmetauscher als Wärmequellen - stellen die restliche Wärmeversorgung dar (Abb. 2.8). Grundwasser als Wärmequelle wäre ebenfalls denkbar. Allerdings ist Grundwasser im vorliegenden Gebiet laut Auskunft der Stadt Wien sehr wahrscheinlich nicht in ausreichendem Maß verfügbar.

Aufgrund des mit der Wärmepumpentechnologie sinnvoll erreichbaren Temperaturniveaus erfolgt die Warmwasserbereitstellung mittels Frischwasserstation in den Wohnungen. Um den Spitzenwärmebedarf zu reduzieren, können kleine Pufferspeicher zentralnetzseitig in den Wohnungen vorgesehen werden.

Fraglich ist bei der Nutzung der oberflächennahen Geothermie die Regeneration des Erdreiches. Das Vorsehen eines Raumkühlungssystems für den Sommer würde sich hier evtl. anbieten.

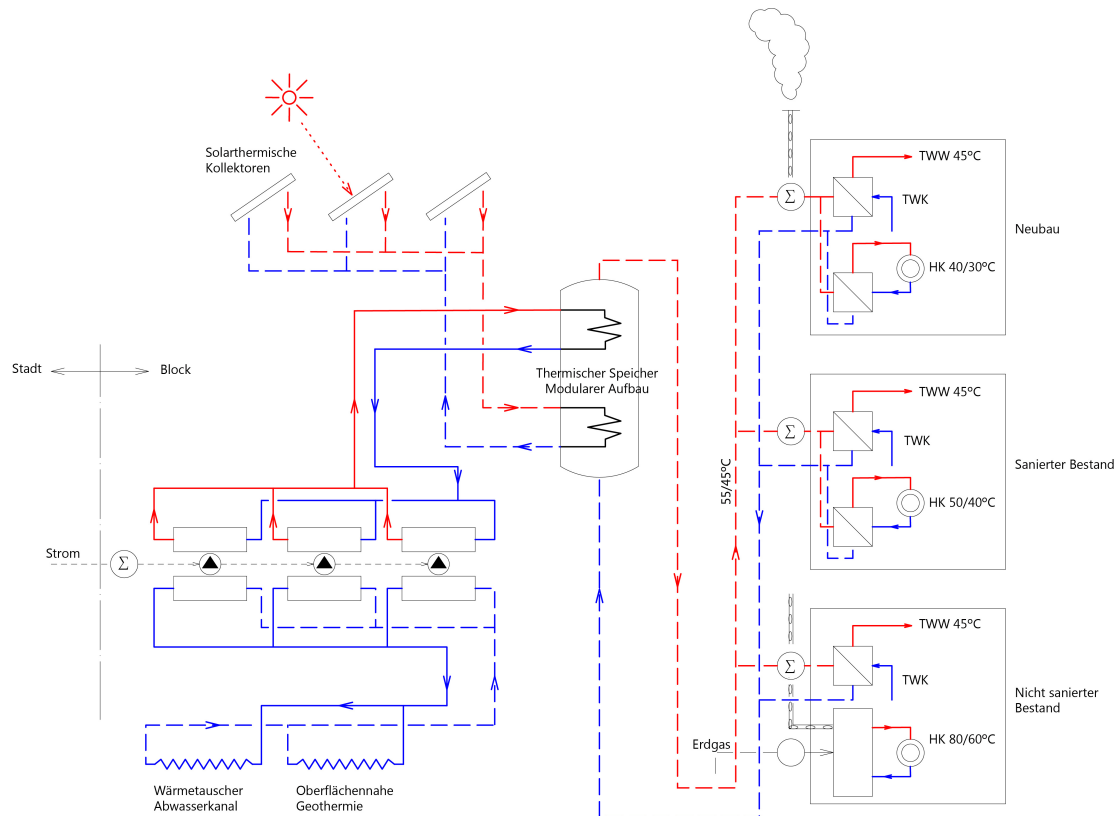


Abb. 2.8 Variante V3

2.4.4 Variante V4

Statt solarthermische Kollektoren auf den Dachflächen werden sogenannte PVT-Kollektoren, die Photovoltaik und Solarthermie kombinieren, vorgesehen. Um die Nutzung der erneuerbaren Energiequellen zu maximieren, könnten diese mit Windturbinen auf den Dächern ergänzt werden (Abb. 2.9). Die Genehmigungsfähigkeit von Kleinwindkraftanlagen im vorliegenden Gebiet wird allerdings laut Auskunft der Stadt Wien auch in 2030 wahrscheinlich nicht gegeben sein. Die erzeugte Wärme wird primär zur Abdeckung des Warmwasserbedarfs verwendet. Die erneuerbare Stromerzeugung wird zur Erzeugung von Wärme mittels Wärmepumpen genutzt.

Die zum gegebenen Zeitpunkt nicht verwendbare Wärme wird in einem (sehr großen) Langzeitspeicher saisonal gespeichert. Im Winter dienen oberflächennahe Geothermie (bzw. Grundwasser) und ein Abwasserkanal-Wärmetauscher als Wärmequellen. Im Sommer wird die Außenluft statt der Geothermie als Wärmequelle herangezogen. Fraglich ist auch hier die Regeneration des Erdreiches.

Aufgrund des mit der Wärmepumpentechnologie sinnvoll erreichbaren Temperaturniveaus erfolgt die Warmwasserbereitstellung mittels Frischwasserstation in den Wohnungen.

Das System könnte zu einem späteren Zeitpunkt so umkonfiguriert werden, dass die erneuerbare Stromerzeugung zur Abdeckung des Strombedarfs genutzt wird.

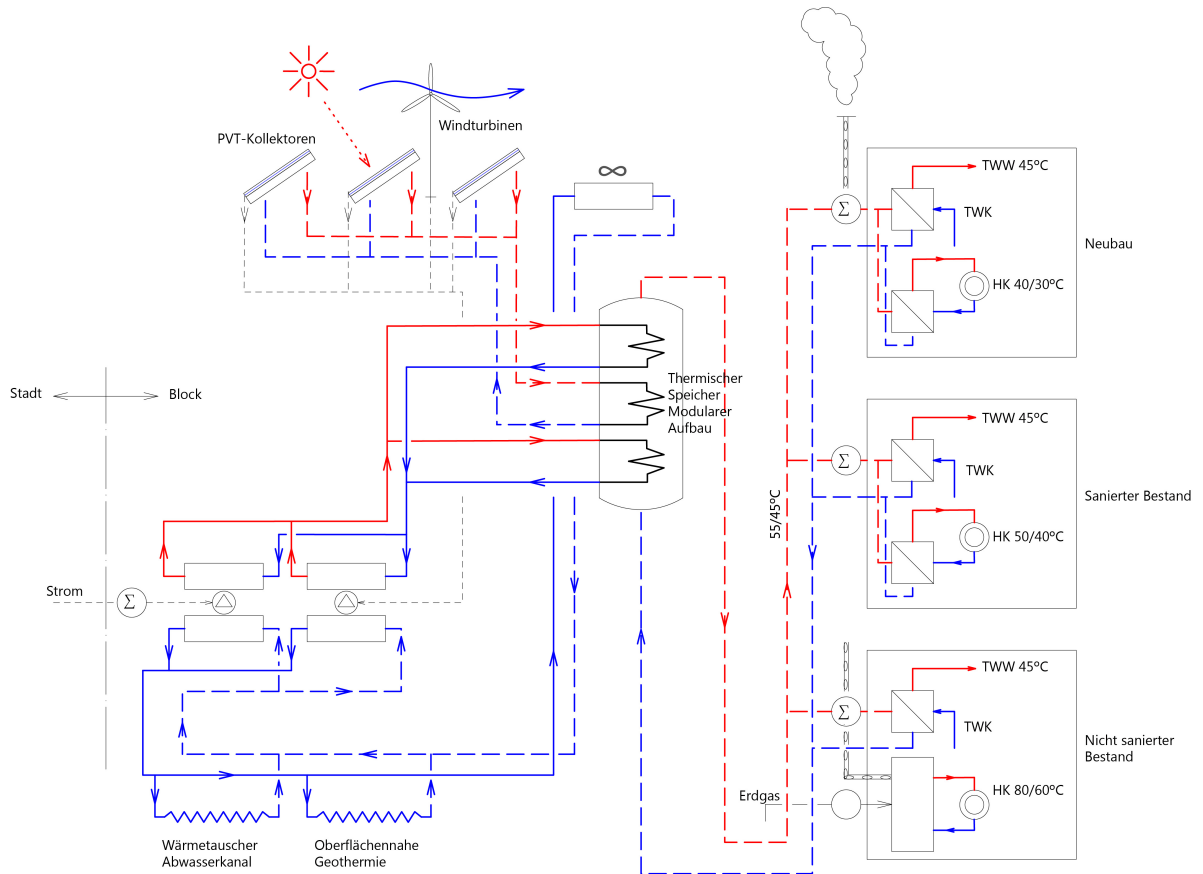


Abb. 2.9 Variante V4

2.4.5 Variante V5

Diese Variante ähnelt der Variante V4. Statt der Speicherung der Wärme auf einem relativ hohen Niveau wird jedoch ein Langzeitspeicher mit einem niedrigen Temperaturniveau (ca. 20 – 30°C) vorgesehen. Die erneuerbare Stromerzeugung wird zur Erzeugung von Wärme mittels Wärmepumpen genutzt. Sowohl die mittels der Solarthermie erzeugten Wärme als auch die mit Nutzung des erneuerbaren Stroms mittels Wärmepumpen erzeugten Wärme wird in den Langzeitspeicher eingespeist und saisonal gespeichert. Im Winter dienen oberflächennahe Geothermie (bzw. Grundwasser) und ein Abwasserkanal-Wärmetauscher als Wärmequellen. Im Sommer wird die Außenluft statt der Geothermie als Wärmequelle herangezogen. Fraglich ist auch hier die Regeneration des Erdreiches. Die Gebäude werden aus dem Langzeitspeicher über ein zentrales Niedertemperatur-Anergienetz versorgt (Abb. 2.10).

Auch dieses System könnte zu einem späteren Zeitpunkt so umkonfiguriert werden, dass die erneuerbare Stromerzeugung zur Abdeckung des Strombedarfs herangezogen werden kann. Allerdings wäre der Langzeitspeicher dann zumindest teilweise redundant (dies gilt auch bei Variante V4).

In der Zukunft könnten weitere Niedertemperatur-Wärmequellen in das System eingebunden werden. Ein Konzept zur Raumkühlung im Sommer bietet sich hier besonders an, da die so entstehende Abwärme in das Anergienetz eingespeist und somit direkt zur Abdeckung des Wärmebedarfs genutzt werden kann.

Die Warmwasserbereitstellung erfolgt wie bei der Variante V4 mittels Frischwasserstation. Um den Spitzenstrombedarf zu reduzieren, können kleine Pufferspeicher zentralnetzseitig in den Wohnungen vorgesehen werden.

Bei dieser Variante und der Variante V4 wäre der Platzbedarf für einen entsprechend dimensionierten Langzeitspeicher sehr groß.

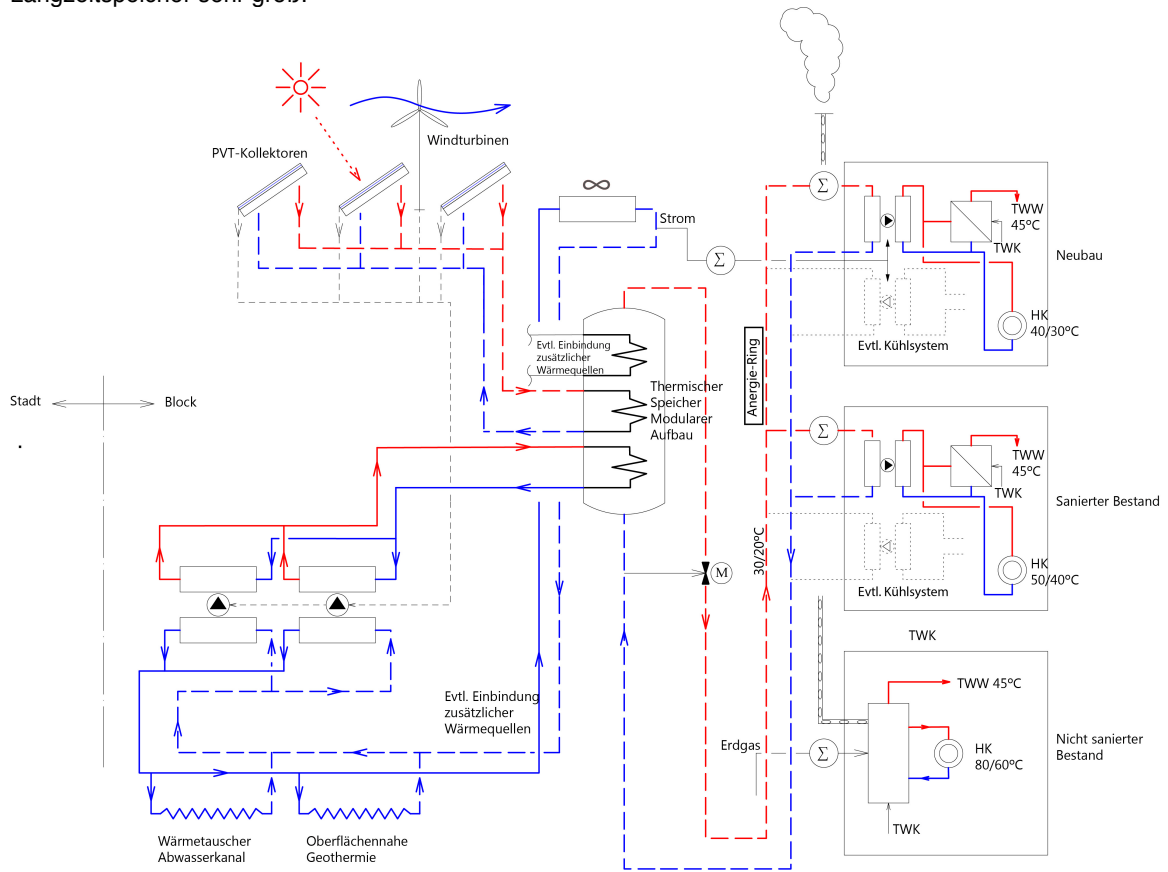


Abb. 2.10 Variante V5

3.0 Bewertung

3.1 Annahmen

Es wurde eine sehr grobe Schätzung des Primärenergiebedarfs, der CO₂-Emissionen und der Energiekosten für die verschiedenen Varianten vorgenommen. Folgende Annahmen wurden dabei aufgrund von Erfahrungswerten zu Grunde gelegt (Tab. 3.1 – 3.5):

| | 2016 | | 2020 | | 2030 | |
|--------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|
| | m ² | kWh/m ² a | m ² | kWh/m ² a | m ² | kWh/m ² a |
| Bestand, unsaniert | 21600 | 125 | 18000 | 125 | 12000 | 125 |
| Bestand, saniert | 2400 | 65 | 6000 | 65 | 12000 | 65 |
| Neubau | | | 2000 | 30 | 4000 | 30 |
| Summe | 24000 | | 26000 | | 28000 | |

Tab. 3.1 Gebäudeflächen und spezifischer Wärmeenergiebedarf

| | |
|------------------|-------------------------|
| Warmwasserbedarf | 50 l/P |
| Belegung | 30 m ² /P |
| | 24 kWh/m ² a |

Tab. 3.2 Warmwasserbedarf

| | |
|---|---------------------|
| Zur Verfügung stehende Dachflächen | 2600 m ² |
| Fläche, Solarkollektoren | 1300 m ² |
| Solarer Abdeckungsgrad WWB, Solarthermie | 60% |
| Solarer Abdeckungsgrad WWB, PVT-Kollektoren | 40% |

Tab. 3.3 Energieertrag, erneuerbare Energiequellen

| | PEF | g CO ₂ /kWh | €/kWh |
|---------------------|------|------------------------|-------|
| Erdgas | 1.16 | 236 | 0.063 |
| Strom (Wärmepumpen) | 1.32 | 276 | 0.170 |
| Biomasse | 0.06 | 4 | 0.046 |
| Fernwärme Wien | 0 | 20 | 0.108 |
| Solarthermie | 0 | 0 | 0 |

Tab. 3.4 Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar), CO₂-Emissionen und Energiekosten (Quellen ^{3 4 5})

| | |
|--|-----|
| Jahresnutzungsgrad, Gasetagenheizung | 0.7 |
| Jahresnutzungsgrad, Erdgasbrennwertkessel | 0.9 |
| Jahresnutzungsgrad, Biomasseheizkessel | 0.8 |
| Jahresnutzungsgrad, Fernwärmeübergabe | 1.0 |
| Verteilungsverluste, zentrale Verteilung * | 15% |
| JAZ Wärmepumpe, Variante V3 | 3 |
| JAZ, Wärmepumpe, Variante V4 | 5 |
| JAZ Wärmepumpe, Variante V5 | 5 |

* Verteilungsenergiebedarf (Pumpen) nicht berücksichtigt

Tab. 3.5 Anlagentechnische Kenndaten

3.2 Ergebnisse und Bewertung

Die anhand der o.a. Annahmen errechneten Werte für den Primärenergiebedarf, die CO₂-Emissionen und die Energiekosten der verschiedenen Varianten sind in den Abbildungen 3.1 bis 3.3 für die drei gewählten Zeitpunkte - heute, 2020 und 2030 – dargestellt.

In der Abbildung 3.5 werden die Werte für den Fall dargestellt, dass der gesamte Block bis 2030 thermisch saniert wird (Abb. 3.4).

Die Abbildungen 3.6 und 3.7 zeigen die Aufschlüsselung des Primärenergiebedarfs der verschiedenen Varianten nach Quelle bzw. nach dem Kriterium der Erneuerbarkeit. Dabei wird angenommen, dass Fernwärme und Strom teilweise erneuerbar sind.

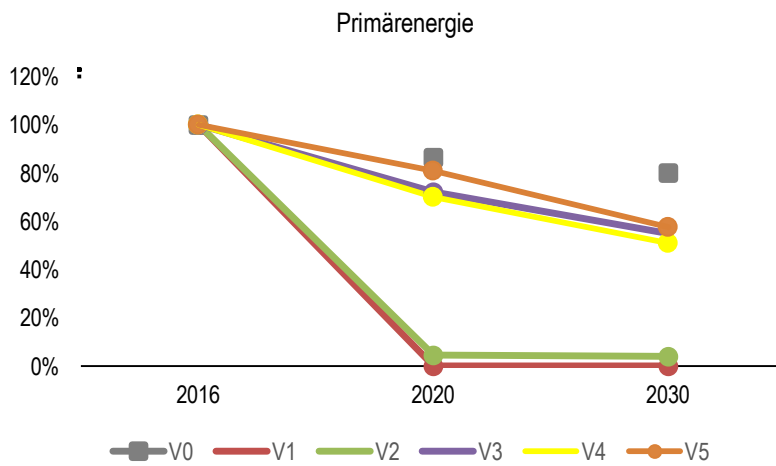


Abb. 3.1 Ergebnisse, Primärenergiebedarf

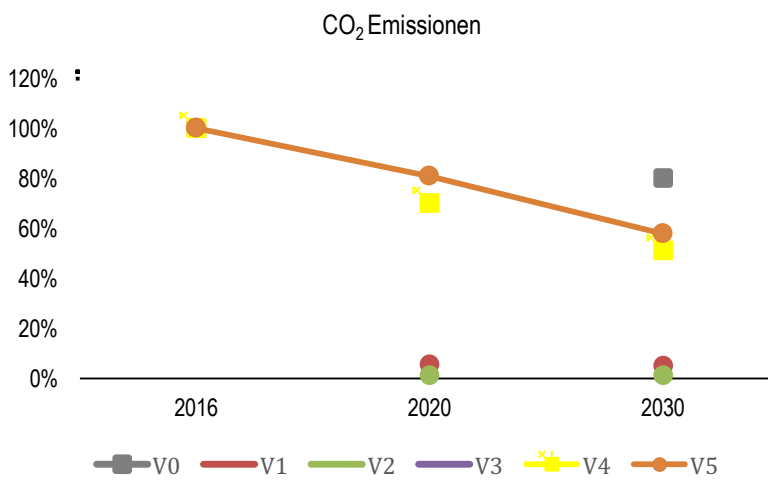


Abb. 3.2 Ergebnisse, CO₂-Emissionen

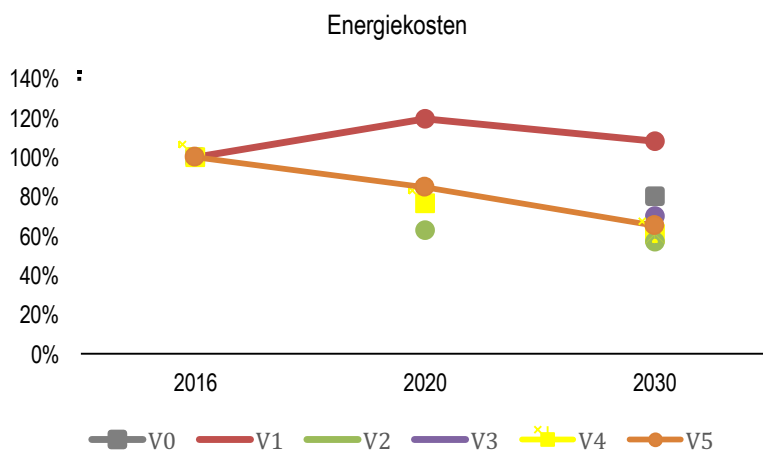


Abb. 3.3 Ergebnisse, Energiekosten

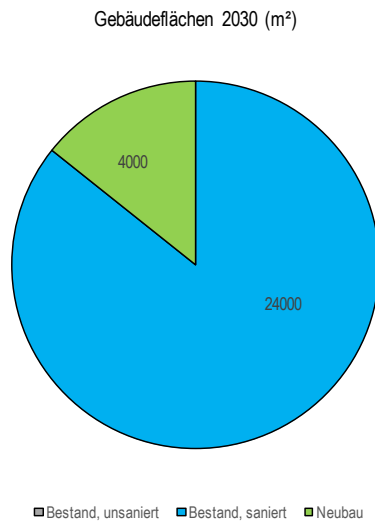


Abb. 3.4 Gebäudeflächen 2030 bei einer thermischen Gesamtsanierung

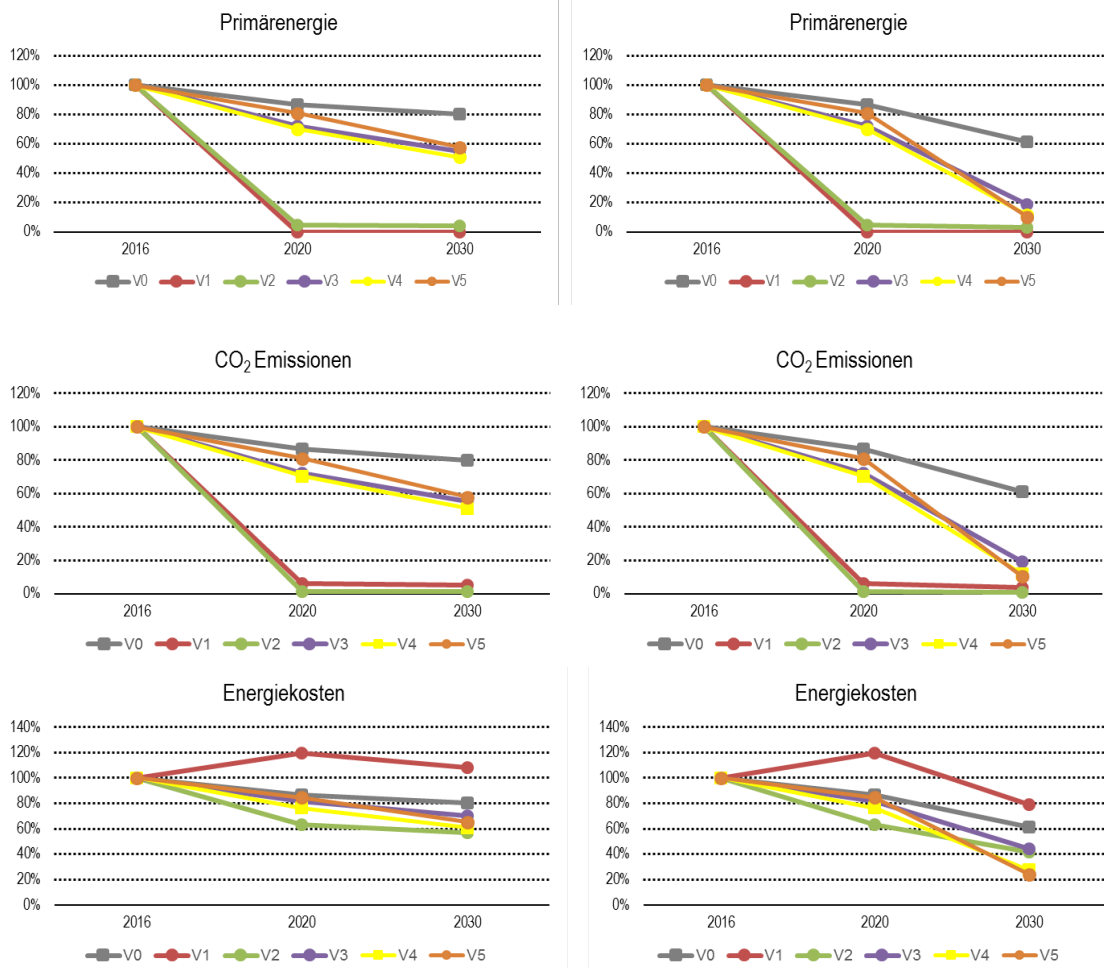


Abb. 3.5 Ergebnisse bei einer thermischen Gesamtsanierung des Blocks

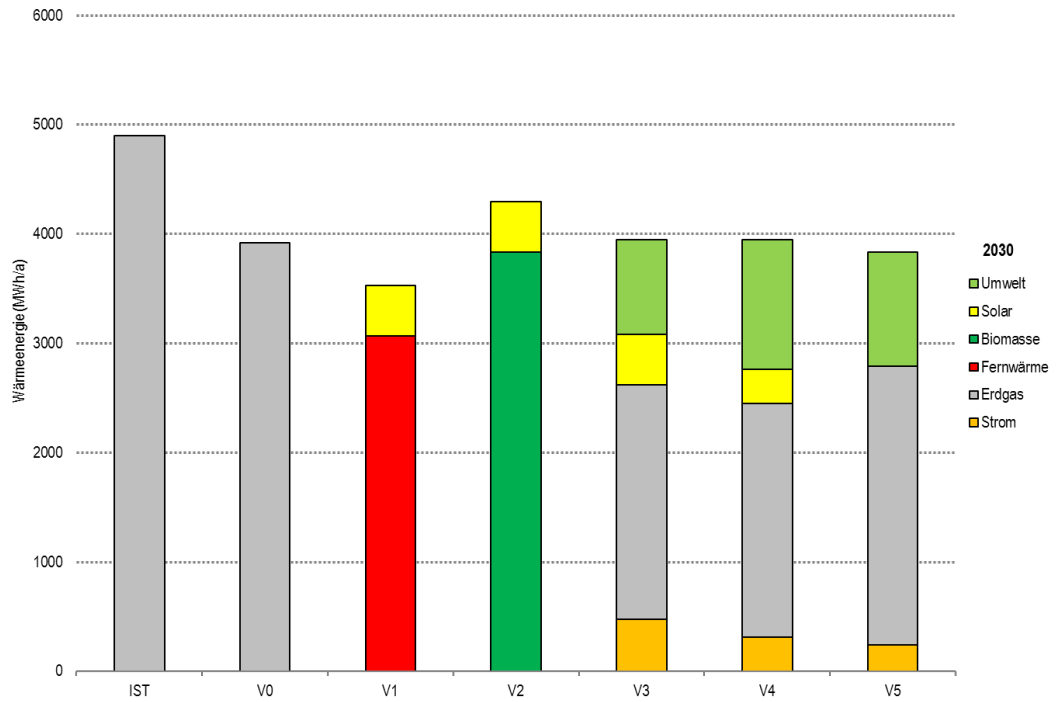


Abb. 3.6 Aufschlüsselung des Primärenergiebedarfs nach Quelle

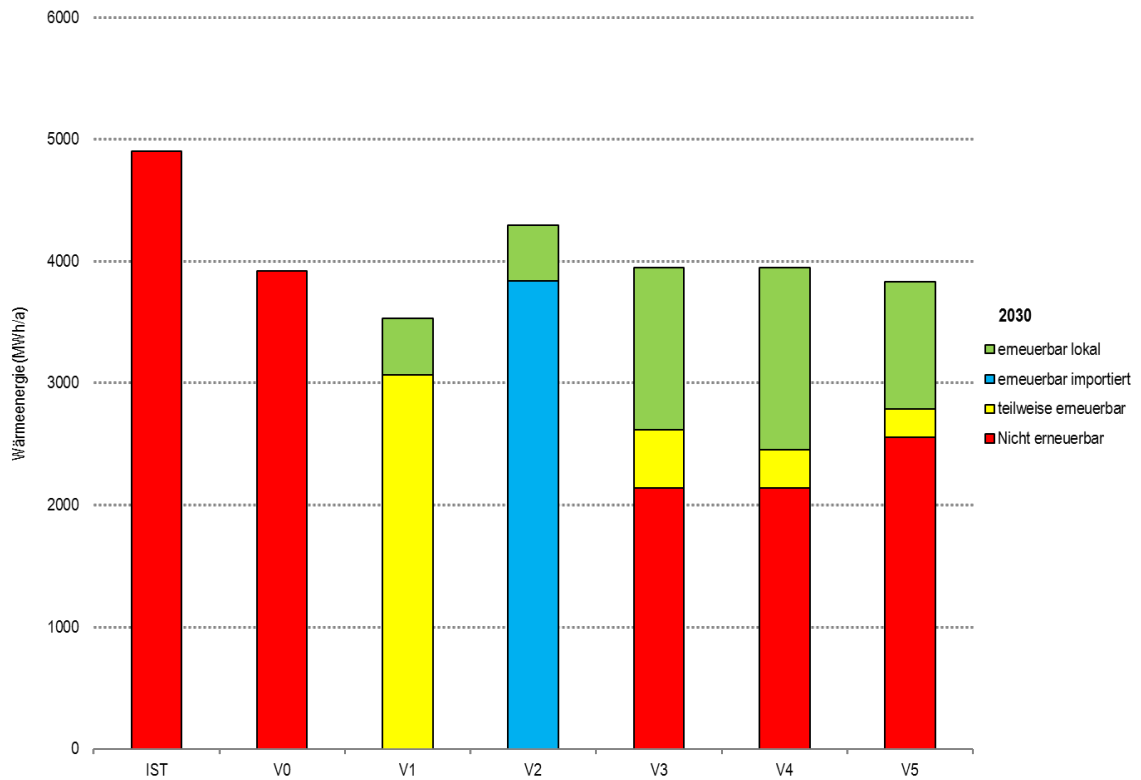


Abb. 3.7 Aufschlüsselung des Primärenergiebedarfs nach dem Kriterium der Erneuerbarkeit

4.0 Schlussfolgerungen

4.1 Vergleich der Varianten

Hinsichtlich Primärenergie und CO₂-Emissionen schneiden die Varianten V1 und V2 am besten ab – das Ergebnis ist auch deutlich besser als bei einer thermischen Gesamtsanierung des Blockes bei gleichbleibendem Energieversorgungskonzept. Das Ergebnis bei den Varianten V3, V4 und V5 ist vergleichbar mit einer thermischen Gesamtsanierung des Blockes bei gleichbleibendem Energieversorgungskonzept.

Hinsichtlich Energiekosten schneidet die Variante V2 am besten und die Variante V1 am ungünstigsten ab. Das Ergebnis bei der günstigsten Variante (V2) ist vergleichbar mit einer thermischen Gesamtsanierung des Blockes bei gleichbleibendem Energieversorgungskonzept.

V1 erhält die beste Gesamtbewertung, führt jedoch zu einer Erhöhung der Energiekosten für die Bewohner.

Dabei sind folgende Aspekte zu bedenken:

- Energiequellen für Strom- und Fernwärmeerzeugung in der Zukunft unbekannt
- ökologische Kennwerte für Strom (übertrieben?) günstig
- die ökologischen Kenndaten für Fernwärme erscheinen ebenfalls (übertrieben?) günstig
- die Performance der Varianten V3, V4 und V5 fällt aufgrund der Tatsache, dass die nicht sanierten Wohnungen damit nicht versorgt werden können, schlechter aus
- Ergebnisse basieren auf sehr grobe Schätzungen
- Energiepreisentwicklung nicht berücksichtigt
- volkswirtschaftliche Kosten der Umweltverschmutzung nicht berücksichtigt

Zu den verschiedenen Energiequellen, -trägern und -technologien lassen sich folgende allgemeine Schlussfolgerungen festhalten:

Solarthermie:

Die angenommenen zur Verfügung stehenden Dachflächen ermöglichen einen wertvollen Beitrag zur Abdeckung des Warmwasserbedarfs, sind jedoch nicht ausreichend für die Abdeckung des Heizenergiebedarfs.

Fernwärme:

Die hohen Energiekosten dieses Energieträgers stellt eine Schwierigkeit bei der Implementierung bei einem solchen Bestandsprojekt dar. Ob eine stufenweise erfolgende modulare Ausbauweise möglich ist, müsste mit dem Fernwärmeversorgungsunternehmen erörtert werden.

Biomasse:

Die Verwendung dieser Energiequelle wirft die Frage auf, ob die Verbrennung von Brennstoffen in der Stadt, insbesondere vor dem Hintergrund der Luftqualität erstrebenswert ist, und wenn ja, ob nicht eine zentralisierte Verbrennung in einem Blockheizkraftwerk zur Strom- und Fernwärmeversorgung nicht eine bessere Verwendung dafür darstellt. Hinsichtlich des Primärenergiebedarfs ist der Transportaufwand des Brennstoffes ebenfalls zu berücksichtigen.

Wärmepumpen:

Diese Technologie ist für die Beheizung des nicht sanierten Bestands aufgrund des notwendigen Temperaturhubes und des damit verbundenen relativ schlechten Wirkungsgrades (Jahresarbeitszahl) nicht geeignet.

Langzeitspeicherung:

Der sehr große Platzbedarf dieser Technologie wirft Fragen hinsichtlich der Eignung für dicht bebaute innerstädtische Gebiete auf.

Um einen ersten Vergleich der Alternativen zu ermöglichen, wurden die verschiedenen Varianten unter den folgenden Gesichtspunkten und anhand von Punktwerten (10 für sehr gut, 0 für sehr schlecht) anhand der o.a. Schätzungen und Erfahrungswerte bewertet und miteinander qualitativ verglichen:

- Primärenergiebedarf
- CO₂-Emissionen
- Investitionskosten
- Energiekosten
- Platzbedarf
- Wartung
- lokale Lärmemissionen und Luftverschmutzung

Aufgrund der eingangs erläuterten gewählten Ziele der Ideenkonzepte wurden die Kriterien Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen dabei am stärksten gewichtet (Tab. 4.1). Das Ergebnis der Bewertung ist in der Abbildung 4.1 grafisch dargestellt. Die Variante V1 liegt vorne, gefolgt von der Variante V2.

| | Gewichtung | V0 | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 |
|---|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Primärenergiebedarf | 25% | 0 | 10 | 9 | 3 | 4 | 3 |
| CO ₂ -Emissionen | 25% | 0 | 9 | 10 | 3 | 4 | 3 |
| Lokale Lärmemissionen und Luftverschmutzung | 15% | 4 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| Energiekosten | 10% | 5 | 0 | 10 | 7 | 9 | 8 |
| Wartung | 10% | 5 | 10 | 0 | 5 | 5 | 3 |
| Investitionskosten | 10% | 10 | 6 | 4 | 2 | 0 | 0 |
| Platzbedarf | 5% | 5 | 10 | 0 | 5 | 5 | 5 |
| | 100% | 2.9 | 8.4 | 6.2 | 4.7 | 5.2 | 4.4 |

Bewertungsskala : 0 - 10

Tab. 4.1 Bewertung der verschiedenen Varianten

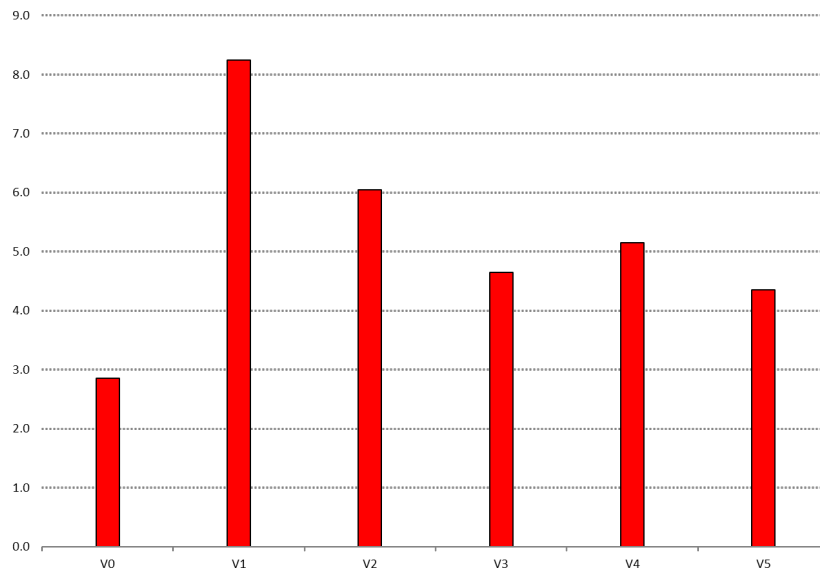


Abb. 4.1 Bewertung der verschiedenen Varianten

Die Motivationsgründe für die verschiedenen Stakeholder – Bewohner, Eigentümer, Stadt/ Gesellschaft – sind wahrscheinlich nicht die gleichen. In der Tabelle 4.2 wird der Versuch unternommen, die Wertigkeit der o.a. Gesichtspunkte aus der Sicht der verschiedenen Stakeholder bei der Bewertung einfließen zu lassen.

| | Höchste Bewertung | Niedrigste Bewertung | Stakeholder |
|---|-------------------|----------------------|-----------------|
| Primärenergiebedarf | V1 | V3/5 | Stadt |
| CO ₂ -Emissionen | V2 | V3/5 | Stadt |
| Lokale Lärmemissionen und Luftverschmutzung | V1/3/4/5 | V2 | Stadt/ Bewohner |
| Energiekosten | V2 | V1 | Bewohner |
| Wartung | V1 | V2 | Bewohner |
| Investitionskosten | V1 | V4/5 | Eigentümer |
| Platzbedarf | V1 | V2 | Eigentümer |

Tab. 4.2 Bewertung der verschiedenen Varianten aus Sicht der Stakeholder

Während aus der Sicht der Bewohner alle betrachtete Varianten – außer vielleicht der Variante V2 – insgesamt zu guten Ergebnisse führen, scheint aus Sicht der Stadt bzw. der Gesellschaft die Variante V1 die günstigste Variante darzustellen. Aus Sicht der Eigentümer ist die Variante V1 aufgrund der geringeren Investitionskosten und des Platzbedarfs zu bevorzugen. Die Tatsache, dass die Variante V1 jedoch zu einer Erhöhung der Energiekosten für die Bewohner führt, ist zu bedenken.

Die Bewertung der verschiedenen Varianten erfordert jedenfalls, dass Vorhersagen hinsichtlich der weiteren Entwicklung der verschiedenen Energieträger und –Technologien sowie über den weiteren Verlauf der Gebäudesanierung und Neubauaktivitäten am Standort getroffen werden. Eine mögliche Betrachtungsweise ist daher, einen Vergleich der jeweiligen Best Case- und Worst Case-Zukunftsszenarien für die verschiedenen Varianten zu ziehen. Nachstehend werden Best Case- und Worst Case-Zukunftsszenarien für Fernwärme, Biomasse und Wärmepumpen (Strom) kurz dargestellt.

Fernwärme

Best Case-Zukunftsszenario:

- weiterhin eine nachhaltige Quelle
- höhere Energiepreise motivieren zur Sanierung
- Energiepreise der fossilen Alternativen steigen
- reduzierter Wartungsaufwand
- keine lokale Luftverschmutzung
- keine Lärmmissionen

Worst Case-Zukunftsszenario:

- Quelle nicht nachhaltig
- Preise viel höher als Alternativen

Biomasse

Best Case-Zukunftsszenario:

- weiterhin eine nachhaltige Quelle
- nachhaltiger Transport des Brennstoffes
- niedrige Energiepreise

Worst Case-Zukunftsszenario:

- Quelle nicht nachhaltig
- Transportaufwand des Brennstoffes nicht nachhaltig
- steigende Energiepreise (bzw. niedrige Energiepreise und stagnierende Sanierungstätigkeiten)
- hoher Wartungsaufwand
- lokale Luftverschmutzungsprobleme

Wärmepumpen (Strom)

Best Case-Zukunftsszenario:

- Strom weiterhin eine nachhaltige Quelle
- keine lokale Luftverschmutzung
- keine Lärmmissionen

Worst Case-Zukunftsszenario:

- Quelle nicht nachhaltig
- höhere Energiepreise
- Sanierung geht nicht voran

Vor dem Hintergrund der betrachteten Worst Case-Zukunftsszenarien stellt die Variante V1 (Fernwärme) wahrscheinlich die beste Alternative dar. Solange Fernwärme als Nebenprodukt einer zentralen Stromerzeugung produziert wird, ist die Wahrscheinlichkeit der Entwicklung zu einer nichtnachhaltigen

Energiequelle geringer als bei den Alternativen Biomasse und Strom anzusehen. Es bestehen außerdem in Österreich reichlich ungenutzte Wärmequellen (z.B. industrielle Abwärme), welche sich für die Nutzung in Fernwärme- bzw. Nahwärmenetzen eignen würden. Die höheren Energiepreise könnten notfalls von der Stadt bzw. vom Bund abgedeckt werden.

Es ist wichtig dabei zu realisieren, dass Biomasse und Wärmepumpen (Strom) genauso wenig wie Fernwärme eine „dezentralisierte“ Lösung darstellen, da die Abhängigkeit von einer externen Energiequelle, die mindestens genauso volatil wie die Fernwärme ist, bei beiden Lösungen gegeben ist. Verglichen mit Fernwärme, sind die Herausforderungen der nachhaltigen Entwicklung der Stromerzeugung, zu mindestens mittelfristig betrachtet, höher einzustufen. Das Ausbaupotential der Wasserkraftnutzung ist gering. Durch den vermehrten Einsatz von Wärmepumpen und maschinellen Lüftungsanlagen erfolgt insbesondere in der kalten Jahreszeit eine Verlagerung von Wärme- zum Strombedarf. Die Entwicklung der Lösungen für die Speicherproblematik, die durch die unterschiedlichen zeitlichen Profile der Stromerzeugung und des Strombedarfs gegeben ist, steht noch am Anfang. Die erneuerbare Stromerzeugung in Österreich ist aufgrund der höheren Erträge durch Wasserkraft und Photovoltaik deutlich höher in der warmen Jahreshälfte als im Winter. Durch den Einsatz von Wärmepumpen, welche Strom als Antriebskraft verwenden, um Wärmeenergiebedarf abzudecken, wird jedoch der Strombedarf (sowie die Spitzenlast) im Winter erhöht, so dass die ökologische Performance (Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen) in der Heizzeit – verglichen mit den o.a. angenommenen Kenndaten für Netzstrom in Österreich - wesentlich schlechter ausfallen dürfte. Zudem zeigen Feldmessungen von Wärmepumpen, dass die tatsächlich erreichten Jahresarbeitszahlen häufig von den angenommenen Planungswerten ungünstig abweichen.

Die hygienischen Auflagen hinsichtlich der Legionellen-Problematik erfordern hohe Temperaturen bei der Warmwasserbereitung, welche die Effizienz von Wärmepumpen negativ beeinflussen. Bei einer angenommenen zentralnetzseitigen Vorlauftemperatur von 65°C und einer Wärmequellentemperatur von 10°C (Erdwärme) ergibt sich eine theoretische höchstmögliche Leistungszahl nach Carnot von ca. 6; d.h. in der Realität ca. 3. Durch den Einsatz von Frischwasserstationen kann die Leistungszahl auf ca. 4 erhöht werden. Allerdings wird dann bei einem zentralen System wie hier angedacht, der Einsatz von zentralnetzseitigen Pufferspeichern und/oder zusätzlichen Pumpen in den Wohnungen benötigt, um zu hohe Spitzlasten zu vermeiden.

In der mittelfristigen Zukunft werden die Energieversorgungssysteme in Österreich höchstwahrscheinlich weiterhin thermische Kraftwerke beinhalten, zunächst vorwiegend von fossilen Brennstoffen befeuert. Ein kompletter Verzicht auf Blockheizkraftwerke, welche einen Beitrag zur Abdeckung der Grundlast des Strombedarfs leisten, scheint aus heutiger Sicht zumindest mittelfristig nicht realistisch. Die Umwandlung aller thermischen Kraftwerke in Blockheizkraftwerke, die Abwärme als nutzbare Wärmeenergie für die Stadt liefern, sowie eine Umstellung auf Biomasse als Brennstoff wäre eine wünschenswerte Entwicklung. Daher ist die Nutzung von Fernwärme zur Beheizung von Gebäuden in innerstädtischen Lagen, um diese Abwärme zu nutzen, ein ökologisch sinnvoller Ansatz. Bei der Warmwasserbereitung bietet die Fernwärme auch den Vorteil eines höheren Wassertemperaturniveaus gegenüber Wärmepumpenlösungen.

Für Gebäude im Umland einer Stadt dagegen scheinen aus heutiger Sicht Solarwärme, Wärmepumpen mit oberflächennaher Geothermie als Wärmequelle und Biomasse befeuerte Kesselanlagen die sinnvollsten zur Verfügung stehenden Optionen darzustellen.

4.2 Finanzierungsmodelle

Auch wenn dies nicht Gegenstand dieser Studie ist, ist es wichtig an dieser Stelle anzumerken, dass die Aufstellung entsprechender Finanzierungsmodelle für den Erfolg des Projektes eine essentielle Komponente darstellt. Die Kernfrage besteht darin, wie Bewohner/ Eigentümer dazu motiviert werden können, die entsprechenden Maßnahmen zu tätigen, vor dem Hintergrund, dass - rein ökonomisch betrachtet - kein Anreiz dazu gegeben ist.

Hier wäre die Durchführung einer Studie mit Fokus auf entsprechende Finanzierungsmodelle unbedingt zu empfehlen. Es werden jedenfalls innovative Alternativmodelle zu den üblichen notwendig sein.

Als Gedankenansatz wird folgendes Modell angeführt:

Variante V1 Fernwärme + Solar:

Investitionskosten werden von der Stadt übernommen.

Die Liegenschaftseigentümer zahlen fixe Energiekosten – basierend auf den heutigen Energiekosten (Gas) für einen Zeitraum von 15 Jahren. Die Differenz zwischen diesen fixen Kosten und den tatsächlichen Energiekosten (Fernwärme) werden in diesem Zeitraum von der Stadt übernommen.

Die Liegenschaftseigentümer werden verpflichtet, den durch die wegfallende Gaspreissteigerung ersparten Aufwand in einem Gemeinschaftsfond (Rücklagen) einzuzahlen.

Nach Ablauf dieses Zeitraumes läuft die Subventionierung der höheren Energiekosten aus und es erfolgt eine thermische Gesamtanierung des Blockes mit Finanzierung über die angesparten Rücklagen.

Bei einem solchen Finanzierungskonzept wären drei verschiedene Gruppen mit jeweils unterschiedlichen Interessenlagen bzw. Motivation zu berücksichtigen:

- Gruppe A: Eigentümer, die aus heutiger Sicht keine Absicht haben, eine thermische bzw. energetische Sanierung in absehbarer Zeit durchzuführen (ca. 18 000 m²)
- Gruppe B: Eigentümer, die bereits während der letzten 10 bis 15 Jahre thermisch bzw. energetisch saniert haben (ca. 2 400 m²)
- Gruppe C: Eigentümer, die vorhaben, in nächster bzw. absehbarer Zeit, eine thermische bzw. energetische Sanierung durchzuführen (ca. 3 500 m² Bestand und 4 000 m² Neubau)

Beispielrechnung Gruppe A:

Ausgehend von ca. € 75/m² (entspricht ca. € 2 250 pro Person bzw. € 5 000 pro Haushalt) für die notwendigen Investitionskosten für die Variante V1, angenommene Kosten der thermischen Sanierung von € 135/m² und folgende angenommene Preissteigerungen bzw. Zinsraten:

| | |
|--|----|
| Angenommene Preissteigerung, Gas | 8% |
| Angenommene Preissteigerung, Fernwärme | 3% |
| Angenommener Zinssatz, Rücklagen | 3% |
| Angenommene Inflationsrate | 2% |

ergibt sich folgendes Bild:

| | |
|-------------------------------------|-------------|
| Subvention, Investitionskosten | € 1 350 000 |
| Subvention, Energiekosten | € 2 000 000 |
| Gesamt-Subvention | € 3 350 000 |
| Angesparte Rücklagen nach 15 Jahren | € 3 300 000 |
| Kosten, thermische Sanierung, 2035 | € 3 200 000 |

In Abbildung 4.2 wird diese Entwicklung graphisch dargestellt.

Beispielrechnung Gruppe B:

Hier müsste geklärt werden, in wie weit eine thermische bzw. energetische (Teil-)Sanierung zu dem geplanten Zeitpunkt notwendig bzw. sinnvoll sein wird.

Als Beispiel nehmen wir Sanierungskosten von ca. € 80/m² an:

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Subvention, Investitionskosten | € 180 000 |
| Subvention, Energiekosten | € 130 000 |
| Gesamt-Subvention | € 310 000 |
| Angesparte Rücklagen nach 15 Jahren | € 260 000 |
| Kosten, thermische Sanierung, 2035 | € 250 000 |

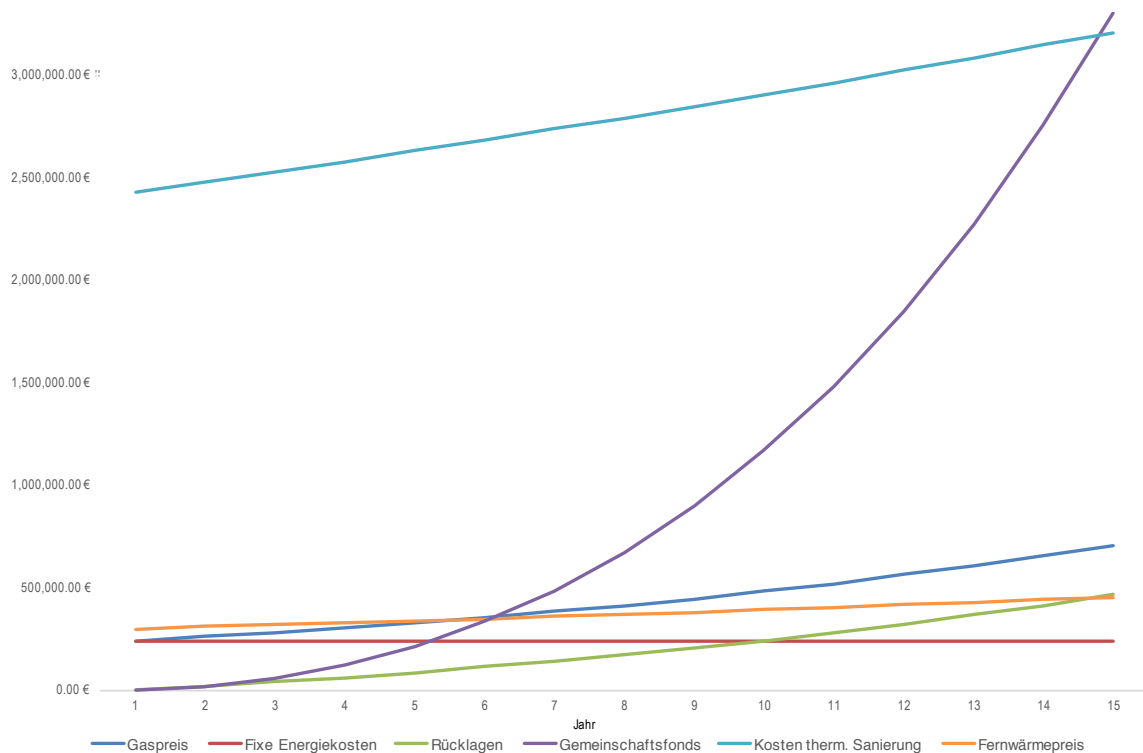


Abb. 4.2 Finanzierungsmodell

Beispielrechnung Gruppe C:

Diese Gruppe sollte möglichst überzeugt werden, dass sie sich ebenfalls an das geplante zentrale Wärmeenergieversorgungssystem anschließen. Wenn sie sich für den Anschluss an das geplante Zentralsystem entscheiden, ersparen sie den höheren Aufwand eines eigenen Systems der Wärmeenergieversorgung mit vergleichbar Effizienz und Nachhaltigkeit. Ein weiterer Vorteil ergibt sich durch die Einsparungen bei den Betriebskosten (Wartung und Instandhaltung) der Wärmeversorgungsanlage.

Die Differenz zwischen den Investitionskosten könnte als eine Art finanzieller Anreiz verstanden und eine ähnliche Vereinbarung wie bei den Gruppen A und B eingegangen werden. Hier würde jedoch statt in den Gemeinschaftsfonds die Differenz zwischen den fixen Energiekosten und den angenommenen steigenden Gaspreisen an die Stadt zurückgezahlt werden, so dass sowohl die subventionierten tatsächlich höheren Fernwärmekosten sowie beispielsweise 50% des ersparten Aufwandes bei den Investitionskosten über den 15-jährigen Zeitraum zurückbezahlt werden. Der Effekt würde im Prinzip einer Art Darlehen mit niedrigen Zinsen gleichkommen.

Angenommen, die veranschlagenden Investitionskosten des eigenen Wärmeversorgungssystems betragen ca. € 150/m²:

| | |
|--------------------------------|-----------|
| Subvention, Energiekosten | € 270 000 |
| Eingesparte Investitionskosten | € 570 000 |

| | |
|--|-----------|
| Rückzahlung an die Stadt über 15 Jahre | € 585 000 |
|--|-----------|

Dies entspricht einem mehr oder weniger zinslosen Darlehen zur Rückzahlung der subventionierten Energiekosten sowie 50% der eingesparten Investitionskosten.

Folgende Vorteile könnten sich bei dieser Art des Finanzierungsmodelles ergeben:

- durch den finanziellen Anreiz wird die größte Gruppe (A) motiviert, in das Konzept der Energiesystemumstellung und der thermischen Gesamtsanierung einzusteigen
- der ökologische Effekt ist höher als bei einer thermischen Gesamtsanierung bei gleichbleibendem Energieversorgungskonzept
- die thermische Gesamtsanierung des Blockes wird gesichert (verhältnismäßig einfacher, die Eigentümer auf eine Sanierung zu einem späteren Zeitpunkt zu verpflichten)
- bis zum Zeitpunkt der Sanierung können auch neue innovativere Lösungen für die thermische Sanierung des teilweise historisch wichtigen Bestandes gefunden werden

Bei Verkauf des Wohnungseigentums vor Ablauf des 15-jährigen Zeitraums ist die Investition (Rücklagen für die Sanierung) mittels Wertsteigerung der Immobilie abgesichert.

Die ersparten CO₂-Emissionen betragen – basierend auf die vorgenommenen Annahmen - ca. 1 000 Tonnen pro Jahr bzw. 15 000 Tonnen nach 15 Jahren. Der Effekt ist äquivalent zu dem Fall, dass ca. 350 Autos in Wien aus dem Verkehr gezogen werden (angenommen 3 Tonnen CO₂ pro Auto und Jahr), so dass bei einer angenommenen Anzahl von ca. 345 Haushalte im gesamten Block und 1 Auto pro Haushalt, der Effekt dem Fall ähnelt, dass der gesamte Block „autofrei“ gemacht wird.

Nach der thermischen Sanierung sind dann höhere Einsparungen bei den Energiekosten und den CO₂-Emissionen zu erwarten.

Die grob überschlagenen Kosten der CO₂-Emissionsreduktion – basierend auf einen Gesamtzeitraum von 30 Jahren – betragen somit ca. € 100/ t CO₂.

4.3 Weitere Vorgehensweise

Die o.a. Angaben und Ergebnisse basieren auf den getroffenen Annahmen. Die groben Schätzungen und durchgeführten Berechnungen können detailliertere technische Berechnungen nicht ersetzen, welche erforderlich sind, um die notwendigen Entscheidungen zu treffen und die richtigen Schritte zu setzen.

Die zur Verfügung stehenden Dachflächen sollten ermittelt und die solare Energieerzeugung im endgültigen Konzept möglichst maximiert werden.

U.U. sollte eine detaillierte Untersuchung der zur Verfügung stehenden niederwertigen Wärmequellen in der Umgebung vorgenommen werden.

Im Rahmen der weiteren Untersuchungen sollten auch Kostenberechnungen durchgeführt werden und entsprechende Finanzierungsmodelle aufgestellt werden.

Mögliche Förderungen wären zu erörtern.

Gespräche und Verhandlungen mit den zuständigen Behörden, Energieversorgungsunternehmen sowie mit den betroffenen Eigentümern, Bewohner etc. müssten durchgeführt werden.

In der Studie wurde der Fokus bewusst auf die Blockebene gelegt. Im Rahmen der weiteren Untersuchungen sollten nochmals die Vor- und Nachteile anderer denkbare Umsetzungsebenen, beispielsweise Stadtebene, Quartiersebene, Gebäudeebene und Wohnungsebene erörtert und mit denen der Blockebene verglichen werden.

Quellen

1. <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/energieplanung/pdf/smart-block.pdf>
2. Cody B., "Form follows Energy", in: xia Intelligente Architektur Ausgabe 80, 07-09/2012, Leinfelden-Echterdingen, ISSN 0949-2356
3. <https://www.wien.gv.at/wohnen/baupolizei/pdf/merkblatt-waermeschutz-2015.pdf>
4. <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/energieplanung/pdf/waermebereitstellungssysteme.pdf>
5. <http://www.propellets.at/de/pelletpreise/details/>

Bilderquellen

Alle Bilder sind Copyright von Energy Design Cody Consulting GmbH