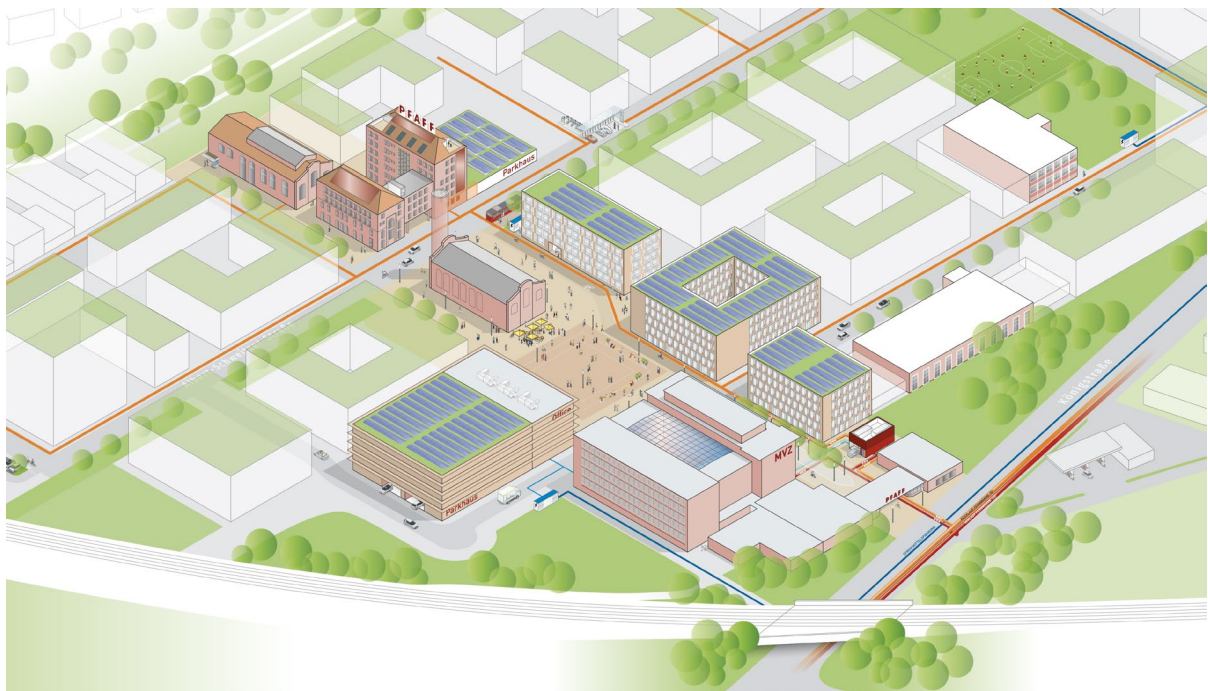


# Forschungsbericht

## Vorgehensmodell Quartiersenergiekonzept

Forschungsbericht erstellt im Rahmen des Schlussberichts  
zum Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff  
„Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern“



# < Forschungsbericht

## Vorgehensmodell

## Quartiersenergiekonzept >

Forschungsbericht erstellt im Rahmen des Schlussberichts zum  
Verbundvorhaben EnStadt:Pfaff:

„Implementierung des Reallabors Pfaff-Areal Kaiserslautern - Integrierte  
Konzepte, innovative Technologien und sozialwissenschaftliche Forschung  
im Leuchtturm für klimaneutrale Quartiere“

Teilvorhaben EnStadt:Pfaff: „IfaS Lebenszyklusbetrachtung“

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Förderndes Ministerium: | Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)   |
| Projektträger:          | Forschungszentrum Jülich GmbH  |
| Förderkennzeichen:      | 03SBE112H  |
| Projektlaufzeit:        | 01.10.2017 – 31.12.2024  |
| Autoren:                | Patrick Huwig  |
| Ausführende Stelle:     | Hochschule Trier - Trier University of Applied Sciences - Umwelt-<br>Campus Birkenfeld - Institut für angewandtes<br>Stoffstrommanagement (IfaS) |
| Veröffentlicht:         | Dezember 2024  |

Die Verantwortung der Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Das Verbundprojekt EnStadt:Pfaff wurde von 8 Partnern  
durchgeführt und als Leuchtturmprojekt gemeinsam gefördert  
vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)  
und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Weitere Informationen zu EnStadt:Pfaff: <https://pfaffquartier-klimaneutral.de/>

## Inhaltsverzeichnis

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | Hintergrund .....  | 4  |
| 2 | Zielsetzung / Leitbild .....                                 | 5  |
| 3 | Städtebauliche Rahmenplanung optimieren .....                | 6  |
| 4 | Bedarfsanalyse .....   | 7  |
| 5 | Potenzialanalyse .....                                       | 8  |
| 6 | Variantenuntersuchung / Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ..... | 10 |
| 7 | THG-Bilanz & Öko-Bilanzierung.....                           | 11 |

# 1 Hintergrund

Die Erstellung von praxisnahen Energiekonzepten ist mit einer Vielzahl von Abhängigkeiten beteiligter Akteure verbunden, die jeweils andere, teilweise gegensätzliche Ziele verfolgen. Im Sinne einer klimaneutralen Quartiersplanung beginnt die Ausrichtung des Energiekonzepts bei der städtebaulichen Rahmenplanung bzw. den Ausschreibungen für städtebauliche Wettbewerbe. Um an dieser Stelle nur ein paar Beispiele zu nennen: Ästhetik, Naherholung, Retentionsflächen und Mikroklima führen oftmals zu Dachterrassen, Dachgärten und Gründächern welche die Potenzialflächen für Solarenergie verringern. Staffelgeschosse sowie insbesondere die Höhenstaffelung im Süd-Nord-Verlauf führen zu Verschattungen im Quartier (geringere PV-Erträge), kleinteilige und verschachtelte Gebäudekomplexe führen zu hohen AV-Verhältnissen (Verhältnis zwischen Hüllfläche und Gebäudevolumen), was wiederum höhere Transmissionswärmeverluste und damit höhere Wärmebedarfe bedeutet.

Soll die Planung eines klimaneutralen Quartiers, welches sich möglichst aus eigenen Potenzialen versorgen soll, ernsthaft verfolgt werden, müssen bereits frühzeitig die entsprechenden Voraussetzungen dafür geschaffen werden. Die Erfahrung zeigt, dass bereits existierende städtebauliche Rahmenplanungen nur selten wieder überarbeitet werden, da bereits viel Zeit, Geld und Arbeit in die Erstellung geflossen sind und weitere Änderungen abermals Zeit und Geld erfordern.

Es ist daher ratsam bereits von Beginn an (Ausschreibungen, Städtebauliche- Architektur-Wettbewerbe etc.) auch die ökologischen Kriterien in die Planung aufzunehmen und möglichst genaue Vorgaben zu treffen wie das Quartier beschaffen sein soll und welche Voraussetzungen beachtet werden sollen (z. B. niedrige AV-Verhältnisse zur Gewährleistung geringer Wärmebedarfe, optimale Gebäudehöhen in Nord-Süd-Richtung zur Vermeidung von Dach- und Fassaden-Verschattungen, Ausrichtung der Straßenverläufe bzw. Hauptfassaden für passive Solareinträge etc.).

Ein wichtiger Aspekt bei der Planung von Stadtquartieren stellt zunächst eine geeignete Zielstellung dar, die mit allen relevanten Akteuren abgestimmt ist und die in einem Leitbild für die weiteren Planungen niedergelegt wird. Der zweite Baustein des Vorgehensmodells bildet die Optimierung der städtebaulichen Rahmenplanung, um die Wärmebedarfe so weit wie möglich zu reduzieren und die Potenziale bestmöglich nutzen zu können. **Erst die Kombination aus Verbrauchsreduzierter Planung und Potenzialoptimierung ermöglicht es in dicht und mehrgeschossig bebauten Stadtquartieren mit hohen Energie-Bedarfen eine nennenswerte Eigenversorgungsquote zu erhalten.**

Die im Folgenden dargelegten Kapitel beschreiben wie Bedarfs- und Potenzialanalysen erstellt werden können, wie ein technisches Konzept mit verschiedenen Variantenuntersuchungen aufgebaut werden kann und welche Empfehlungen daraus abgeleitet werden können.

## 2 Zielsetzung / Leitbild

**Ziele des Arbeitspaketes: gemeinsames Verständnis des Projekts schaffen, Ziele, Interessen, Voraussetzungen, Herausforderungen und Hürden identifizieren sowie Kompromisse erarbeiten.**

Der erste Schritt bei der Planung von Stadtquartieren stellt zunächst die Erarbeitung einer geeigneten und realistischen Zielstellung dar, auf die alle beteiligten Akteure hinarbeiten sollten. Voraussetzung dafür ist, dass alle relevanten Partner und städtischen Gewerke / Abteilungen an der Zielsetzung bzw. dem Leitbild mitarbeiten. Nur so kann gewährleistet werden, dass alle Interessen, Voraussetzungen und Einflussfaktoren von Beginn an berücksichtigt und damit die Ziele und Planungen darauf ausgerichtet werden können. Eine Auswahl gängiger Akteure welche im Verlauf von Stadtplanungsprozessen erforderlich sein können, bietet die folgende Auflistung, wobei je nach Projektgebiet und Ausrichtung nicht alle Akteure relevant sind bzw. noch weitere Akteure hinzukommen können:

- Stadtplanungsamt / Bauamt / Naturschutzamt (u.a. hinsichtlich Ausgleichsmaßnahmen)
- Abteilungen / Referate aus dem Bereich Energie, Umwelt, Klimaschutz, Grünflächen
- Stadtentwässerung (Betreiber Kanalnetz / Kläranlage)
- Architekten / Stadtplaner / Raumplaner / Verkehrsplaner
- Flächenvermarkter & Investoren (sofern bereits vorhanden)
- Politik (Bürgermeister, Gemeinde-/Stadtrat, Fraktionen, sonstige Gremien und Ausschüsse)
- Stadtwerke / Netzbetreiber (u.a. relevant bei E-Ladesäulen oder Großwärmepumpen)
- Beratende Organisationen / Unternehmen (Institute, Agenturen, Fachbüros etc.)
- Potenzielle Bewohner, Nutzer, sowie Anwohner im Umfeld
- Städt. Abteilungen im Bereich Familie / Soziales / Bürger (Gebietstyp: Wohnen, Mischgebiet)
- Wirtschaftsförderungsgesellschaften / Handelskammern (Gebietstyp: Gewerbe, Mischgebiet)
- Abteilungen / Referate aus dem Brand- und Katastrophenschutz
- ggf. Denkmalschutzbehörde (sofern zu erhaltende Gebäude vorhanden sind)
- ggf. Gewässeramt / Schutzbehörde sofern Flüsse vorhanden sind (z.B. Flusswärmepumpen)

Die Vielzahl möglicher Akteure zeigt bereits wie viele unterschiedliche Interessen im Rahmen einer Quartiersplanung vorhanden sein können. Es ist daher ratsam frühzeitig einen gemeinsamen Termin mit allen relevanten Akteuren zu forcieren, um ein gemeinsames Verständnis für die jeweiligen Ziele, Interessen, Anforderungen und Herausforderungen zu schaffen und diese in einer gemeinsamen Zielsetzung bzw. einem gemeinsamen Leitbild festzuhalten. Ein **moderierter Workshop** kann dabei helfen **Kompromisse zu definieren**, da sich einige der Ziele und Interessen überschneiden, miteinander konkurrieren oder gar ausschließen. Die folgende Auflistung soll einen Eindruck davon vermitteln welche Aspekte im Rahmen einer städtebaulichen Rahmenplanung zu berücksichtigen sind, die zum Teil gegensätzliche Ziele verfolgen bzw. miteinander konkurrieren:

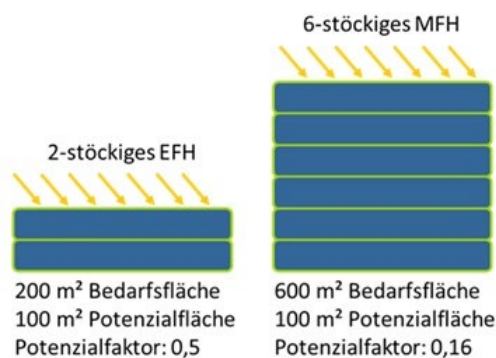
- Ästhetische Faktoren (Wohnen, Leben, Arbeiten in einem optisch ansprechenden Quartier)
- Energieeffizienz (z. B. Vorgabe von Gebäudeeffizienzstandards über das GEG hinaus)
- Energieversorgung (Solaranlagen, Nahwärme, ggf. Großwärmespeicher)
- Retentionsflächen (Gründächer, PV-Gründächer)
- Verkehr (Anbindung ÖPNV, Mobilitätsstationen, Reduzierung MIV, Parkflächen)
- Lärmemissionen (u.a. Luft-Wärmepumpen im Stadtgebiet)
- Frischluft und Mikroklima (Ausrichtung der Baukörper, Dach- und Fassadenbegrünung)
- Naherholung (Dachterrassen / Staffelgeschosse, Dachgärten)
- Baumaterial (Recyclingfähigkeit, graue Energie)
- Soziales (bezahlbarer Wohnraum, günstige Energieversorgung, Barrierefreiheit)

Werden als übergeordnetes Ziel beispielsweise „Null-Emission“ oder ein möglichst hoher Selbstversorgungsgrad gewählt, sind zwangsläufig Kompromisse mit anderen Bereichen einzugehen, z. B. was Ästhetik, Dachterrassen, Staffelgeschosse oder Dachgärten anbelangt, welche die Solarpotenziale reduzieren.

### 3 Städtebauliche Rahmenplanung optimieren

**Ziele des Arbeitspaketes:** Wärmebedarfe weitmöglichst reduzieren und gleichzeitig die Nutzung der vorhandenen Potenziale durch bauliche / architektonische / stadtplanerische Maßnahmen optimieren.

Wie im Abschnitt zuvor beschrieben, gilt es zunächst einen Kompromiss aus allen vorhandenen Zielen und Interessen zu definieren. In diesem Abschnitt werden lediglich die energetischen Aspekte berücksichtigt, mit dem Ziel eine aus energetischer Sicht optimierte Ausgangslage auf städtebaulicher Ebene zu gewährleisten. Eine grundsätzliche Herausforderung in Stadtquartieren stellt der Umstand dar, dass eine dichte, mehrstöckige Bebauung, oftmals mit energieintensiven Nutzungsarten (z. B. Gewerbe, Handel, Gastronomie) vorhanden bzw. geplant ist. Es liegt demnach ein hoher Energiebedarf vor, wobei die Potenzialflächen (z. B. für Solarenergie) sehr begrenzt sind und diese zudem Nutzungskonkurrenzen unterliegen (siehe Abschnitt zuvor).



Die Grafik soll verdeutlichen wie sich der Potenzialfaktor mit zunehmender Stockwerksanzahl verringert. Während der Potenzialfaktor bei einem zweistöckigen Gebäude mit Flachdach bei etwa 0,5 liegt, sinkt der Potenzialfaktor mit jedem weiteren Stockwerk. In der Folge steigt mit jedem Stockwerk der Energiebedarf, wohingegen die mögliche Erzeugung gleichbleibt – die mögliche Eigenversorgungsquote sinkt. Zusätzliche Reduzierungen der Dachfläche (z. B. durch Staffel-Geschosse, Dachterrassen oder Dachgärten) verstärken diesen Umstand.

Abbildung 1: Potenzialflächen (IfaS)

Ebenfalls große Auswirkungen auf die Relation zwischen Energiebedarf und Energieproduktion hat die Bauweise der Gebäude. Die Kompaktheit von Gebäuden kann durch das Verhältnis zwischen Gebäudehülle und Gebäudevolumen beschrieben werden (AV-Verhältnis). Generell kann die Aussage getroffen werden, dass kleinteilige, verschachtelte Gebäude im Verhältnis einen höheren Wärmebedarf aufweisen, als dies bei kompakten Baukörpern der Fall ist. Der Grund hierfür ist die größere Oberfläche gegen Außenluft, wodurch auch die Transmissionswärmeverluste steigen. Auch hier gilt es einen Kompromiss zwischen Ästhetik / Zweckmäßigkeit und energetischen Belangen zu finden.

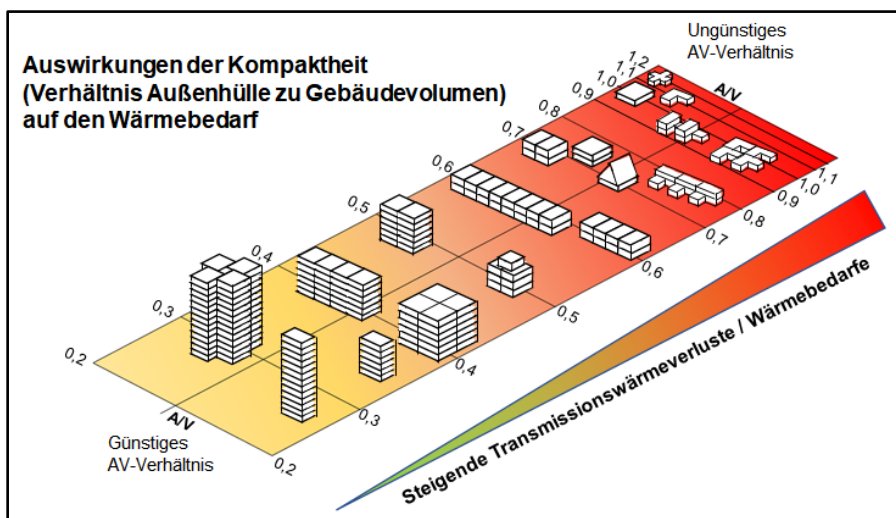


Abbildung 2: Auswirkungen des AV-Verhältnis (IfaS, in Anlehnung an Solarfibel Baden-Württemberg)

Ein weiterer Ansatz Wärmebedarfe einzusparen und gleichzeitig die Potenzialnutzung zu optimieren stellt eine optimale Gestaltung der Bauhöhen im Nord-Süd-Verlauf dar. Es sollte darauf geachtet werden, dass südliche Gebäude stets geringe Bauhöhen aufweisen, als die nördlich gelegenen Gebäude, um diese nicht zu verschatten. Von Süden nach Norden hin können die Gebäude demnach höher werden, keinesfalls umgekehrt. Auch sollte bei Hochpunkten darauf geachtet werden diese eher im nördlichen Bereich zu verorten, um zeitweilige Verschattungen von Dachflächen zu vermeiden.

Im gleichen Zuge sollte darauf geachtet werden die Straßenführungen so zu gestalten, dass die Hauptfassaden möglichst nach Süden ausgerichtet sind. Je nachdem welche Dachformen zur Anwendung kommen sollen (Flachdächer, Satteldächer oder Pultdächer), kann auch der Fokus im Zuge der Ausrichtungsplanung auf die Dachflächen gelegt werden. Es ist jedoch anzumerken, dass eine Südausrichtung von Solaranlagen inzwischen nicht mehr zwangsweise die bessere Wahl ist. So haben beispielsweise Ost-West-ausgerichtete Anlagen den Vorteil, dass diese über den Tag hinweg gleichmäßiger besonnt werden und insbesondere die Eigenstromnutzung aufgrund einer besser verteilten Stromerzeugung, auch morgens und abends, gesteigert werden kann.

Ein weiterer Vorteil der optimalen Ausrichtung der Hauptfassaden ist die passive Nutzung der Solarenergie durch die Fensterflächen hindurch, insbesondere wenn auch die Verteilung der Fensterflächen optimiert wird. Dazu werden entlang der besonnten Hauptfassade bevorzugt mehr und größere Fensterflächen angeordnet, als auf der Nordseite. Um im Sommer Überhitzungen der Gebäude zu vermeiden, sind jedoch geeignete Verschattungssysteme zu installieren. Dieses Vorgehen ermöglicht es insbesondere in den Wintermonaten die passiven Einträge optimal zu nutzen, was den aktiven Einsatz von Heizenergie reduziert. Bei hocheffizienten Gebäuden kann diese Einsparung von Heizenergie durch die passiven Einträge bis zu 30 % betragen.<sup>1</sup>

## 4 Bedarfsanalyse

**Ziele des Arbeitspaketes: Die Energiebedarfe (Strom, Heizwärme, Warmwasser, Kälte, ggf. Prozessenergie) bestmöglich prognostizieren und ggf. verschiedene Szenarien abbilden.**

Die Bedarfsanalyse bildet die Grundlage für die weiteren Berechnungen. Je nach Ausgangslage und welche Art von Quartier geplant ist, kann die Bedarfsanalyse mit unterschiedlichen Methoden erstellt werden. Ein neues Wohngebiet mit Einfamilienhäusern unterscheidet sich in der Bedarfsstruktur erheblich von Mischgebieten und Gewerbegebieten, zudem werden in Stadtgebieten oftmals Gewerbe- oder Industriebrachen nach deren Standortschließung überplant, wobei nicht selten bestehende Gebäude beibehalten werden sollen (ggf. sogar mit Denkmalschutz).

Als Basis für die Bedarfserhebungen dient die Flächenbilanz der städtebaulichen Rahmenplanung. Im Idealfall liegen für jede Parzelle bereits die maximal bebaubaren Flächen vor (Platzhalter), sowie eine Vorgabe der maximalen Stockwerke, welche in der Flächenbilanz (Tabelle) aufgelistet werden. Ist dies nicht der Fall, kann anhand der Grundflächenzahl und der Geschossflächenzahl eine Abschätzung der maximalen Grund- und Geschossflächen je Parzelle getroffen werden.

Für Neubauten mit wohnlicher Nutzung bietet es sich an eine exemplarische Simulation auf Basis der aktuellen gesetzlichen Mindestanforderungen durchzuführen, die restlichen Gebäude können anschließend über die Geschossfläche hochgerechnet werden. Bei Mischgebieten mit vielen unterschiedlichen oder gar noch unbekannten Nutzungsarten lassen sich nur bedingt praxisnahe Simulationen durchführen, da jeweils die Simulation eines Referenzgebäudes erforderlich wäre, wofür jedoch detaillierte Angaben zum Gebäude und dessen Nutzung erforderlich sind.

---

<sup>1</sup> Simulationen mit Solar-Computer und TRANSYS, vgl. auch Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie - Hinweise zum Energiesparen, Merkblatt 27, Passive Sonnenenergienutzung  
Hochschule Trier, IfaS

Während sich ein typisches Bürogebäude noch weitgehend einfach simulieren lässt, ist dies bei anderen Branchen mit vielseitigeren Nutzungszonen nur bedingt möglich. Hier bietet es sich an stattdessen auf branchenspezifische Kennwerte ( $\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}$ ) für die jeweiligen Bedarfe (Strom, Heizwärme, Warmwasser, Kälte) zurückzugreifen. Online finden sich hierzu diverse Kennwertstudien, Monitoringberichte und Tabellenwerke.

Im Ergebnis liegen für alle einzelnen Gebäude und Bedarfsformen (Strom, Heizwärme, Warmwasser, Kälte) die Bedarfe in  $[\text{kWh/a}]$  vor. Bei kleineren Projekten können die einzelnen Bedarfe summiert werden und damit die weiteren Berechnungen durchgeführt werden. Bei größeren Projekten mit mehreren Bauabschnitten (über einen längeren Ausbauhorizont) empfiehlt es sich die Bedarfe gemäß den Bauabschnitten zu summieren, da je nach zeitlichem Ausbau ggf. Einzellösungen je Bauabschnitt oder zumindest Übergangslösungen sinnvoll bzw. erforderlich sein können. Die Darstellung eines Endszenarios, im voll ausgebauten Zustand, ist ebenfalls ratsam, um auch eine langfristige Versorgung des finalen Ausbauszustandes abbilden zu können.

## 5 Potenzialanalyse

**Ziele des Arbeitspaketes: Erfassung aller verfügbaren Rohstoff- und Energiequellen, die innerhalb oder des unmittelbaren Umfeldes zur Verfügung stehen.**

Nachdem die Bedarfsanalyse die Frage beantwortet hat was im Quartier benötigt wird (Verbraucherseite), werden im Rahmen der Bedarfsanalyse alle verfügbaren Quellen quantifiziert, die im Quartier und ggf. in der unmittelbaren Umgebung (Umfeldanalyse) zur Verfügung stehen (Erzeugerseite).

In städtischen Quartieren sind die Potenzialflächen in der Regel sehr begrenzt und beschränken sich im Wesentlichen auf die Dach- und Fassadenflächen der Gebäude zur Nutzung von **Solarenergie** (Strom und Wärme). Um eine möglichst eigenständige Versorgung aus lokalen Quellen abbilden zu können, ist es daher umso wichtiger die unter Abschnitt 3 beschriebenen Methoden zur Verbrauchseinsparung bzw. Potenzialoptimierung zu berücksichtigen. Die Verabschiedung einer **Solarsatzung** (siehe [https://www.kaiserslautern.de/mb/themen/pbw/bebauungsplaene/innenstadt/koenigstr-a-s-s-pfaffstr/02\\_tf\\_pfaffgelaende\\_20200912.pdf](https://www.kaiserslautern.de/mb/themen/pbw/bebauungsplaene/innenstadt/koenigstr-a-s-s-pfaffstr/02_tf_pfaffgelaende_20200912.pdf)) kann dabei helfen die Solarpotenziale auch in Gänze nutzbar zu machen. Die Ergebnisse aus dem aus EnStadt:Pfaff heraus erarbeiteten **Solarleitfaden** (siehe <https://solar.stoffstrom.org>) können dabei helfen die Potenziale für weitere Quartiere zu erfassen und von den Erkenntnissen aus den verschiedenen Untersuchungen zu lernen. Insbesondere vor dem Hintergrund einer möglichst hohen Selbstversorgungsquote sollte der Fokus daher nicht mehr auf einer strikten Südausrichtung der Solaranlagen liegen, sondern auf Ost-West-ausgerichteten Modulen, welche über den Tag hinweg eine gleichmäßigere Solarstromerzeugung ermöglichen und somit den Eigenverbrauchsquote erhöhen. Die Potenziale selbst müssen nicht zwangsweise für das gesamte Quartier simuliert werden. Oftmals genügt es eine exemplarische Simulation für ein repräsentatives Gebäude durchzuführen, um die standortspezifischen Parameter zu berücksichtigen. Die Ertragsdaten können anschließend über die in der Flächenbilanz (siehe Abschnitt Bedarfsanalyse) enthaltenen Dachflächen hochgerechnet werden. Sind Flachdächer im Quartier vorgesehen, können die in der Flächenbilanz enthaltenen Gebäude-Grundflächen als Anhaltspunkt für die Dachflächen genommen werden (inkl. Abschlägen für Attika, Randabstände, ggf. Staffelgeschosse, Dachterrassen und sonstige Aufbauten). Bei vorgesehenen Satteldächern (mit  $40^\circ$  Neigung) kann die Gebäude-Grundfläche mit dem Faktor 1,3 multipliziert werden, um auf die Dachfläche schließen zu können. Sind Quartiers-Batteriespeicher oder ein quartiersübergreifendes Energiemanagement vorgesehen, empfiehlt es sich jedoch das gesamte Quartier zu simulieren, um die entsprechenden Technologien anhand der Lastgänge dimensionieren zu können.

**Kleinwindkraftanlagen** sind im städtischen Bereich aus verschiedenen Gründen schwierig umzusetzen bzw. wirtschaftlich zu betreiben. Zunächst ist zu beachten, dass der Baukörper die entsprechende Statik sowie weitere bauliche Voraussetzungen erfüllen muss (Vermeidung von Körperschallübertragung, Abdämpfen von Schwingungen, größere Windlast etc.), was die Baukosten vergrößert, die von einem Investor mitgetragen werden müssen. Zudem muss der Standort eine ausreichende Windhöffigkeit aufweisen, was in städtischen Bereichen, wenn überhaupt, nur an hochgelegenen Bereichen („Bergen“) und Hochhäusern der Fall ist (laminare Strömung erforderlich). Die schalltechnischen Auswirkungen auf das Quartier sind ebenfalls zu berücksichtigen.

**Geothermische Quellen** werden in der Regel mit Hilfe von Erdsonden (i.d.R. bis 200 m Tiefe) oder Erdkollektoren erschlossen. Erdsonden können unter Parkplätzen oder Grünflächen sowie prinzipiell auch unter den Gebäudefundamenten installiert werden, was jedoch bereits frühzeitig in die Gründungsplanungen mit einbezogen werden muss. Flächenkollektoren benötigen in Bezug auf die beheizte Geschossfläche erfahrungsgemäß etwa die doppelte Bodenfläche im Außenbereich. Bei nicht-wohnlichen Nutzungen ist ggf. mehr Kollektorfläche erforderlich, zudem hat auch die Entzugsleistung bzw. die Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs großen Einfluss auf die benötigte Kollektorfläche. Generell gilt es die Kollektorfläche keinesfalls zu klein zu dimensionieren, da sonst das Wärmepumpensystem nur sehr ineffizient arbeitet oder gar die erforderliche Heizleistung nicht dauerhaft gewährleisten kann.

Mit Altlasten kontaminierte Böden oder der Betrieb von Grundwassersanierungsanlagen (insbesondere bei ehemaligen Industriebrachen) können die Nutzung geothermischer Systeme einschränken oder gar verhindern, da beim Bohren die Gefahr besteht weitere Schadstoffeinträge in das Grundwasser zu verursachen. Auch bei Flächenkollektoren können Altlasten zum Problem werden, etwa weil der kontaminierte Boden nicht wieder eingebracht, sondern kostspielig entsorgt werden muss. Beim Vorhandensein von Altlasten sollte daher frühzeitig Kontakt zur entsprechenden Genehmigungsbehörde aufgenommen werden.

**Biomasse** spielt im städtischen Bereich eher eine untergeordnete Rolle. Zunächst ist es im städtischen Bereich oft schwierig bis unmöglich größere Verbrennungsanlagen genehmigen zu lassen, zudem sind die verfügbaren Potenziale an Biomasse i.d.R. sehr begrenzt (ein überregionaler Zukauf wird an dieser Stelle nicht als ökologische Lösung angesehen). Insbesondere wenn sich die Biomassepotenziale lediglich auf das Quartier beschränken (Bioabfall, Garten- und Straßenbegleitgrün), reicht dieses Potenzial bei weitem nicht für eine eigenständige Quartiersversorgung aus. *Exkurs: Das in der gesamten Stadt anfallende Grüngut sollte jedoch nicht kostenpflichtig entsorgt, sondern beispielsweise zur Beheizung öffentlicher Gebäude (z. B. Schulen) genutzt werden.*

Die Nutzung des Kanalsystems für den Betrieb von **Abwasser-Wärmepumpen** stellt insbesondere im städtischen Bereich eine interessante Option dar. Je nach Größe des Quartiers und des Trockenwetterabflusses im Kanal lassen sich Quartier damit ganz oder zumindest anteilig über die Abwasserwärme versorgen. Generell hat sich ein Trockenwetterabfluss von etwa 20 Litern pro Sekunde als Mindestmaß für einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb erwiesen, wobei manche Hersteller auch mit kleineren Abflussmengen für kleinere Einzellösungen werben. Für Stadtquartiere sind jedoch Trockenwetterabflüsse ab 50 l/s oft erst interessant, da erst ab diesem Bereich mehrere hundert Kilowatt Wärmepumpenleistung generiert werden können. Prinzipiell gibt es zwei verschiedene Methoden die Abwasserwärme nutzbar zu machen. Die gängigste Methode ist einbringen / einschieben von Wärmetauschern (Inliner), die nach und nach miteinander verbunden werden. Das Abwasser läuft anschließend über die Wärmetauscher und führt ein gewisses Maß an Wärme an den Kältekreislauf der Wärmepumpe ab. Das Abwasser wird dabei in der Regel um 1 bis 3 Kelvin abgekühlt (je nach Einstellung des Systems und Absprache mit dem Kanalnetz- bzw. Kläranlagenbetreiber). Sollte eine Einbringung in den Kanal nicht möglich sein (z. B. fehlende Zugänge, Erreichung der kapazitiven Grenze was eine weitere Querschnittverengung nicht zulässt), bietet sich als zweite Option eine Bypass-Lösung an. Hierbei wird in der Nähe des Quartiers ein Hebeschacht errichtet, das Abwasser über einen oberirdischen Wärmetauscher geleitet und anschließend wieder in den Kanal abgeschlagen.

Voraussetzung hierfür ist, dass ein entsprechendes Hebewerk im Straßenraum installiert werden kann und ortsnahe eine Freifläche für eine kleine Heizzentrale (für Wärmetauscher und Wärmepumpe) vorhanden ist. Containerlösungen sind hierbei ebenfalls möglich, welche anschließend verschönert / umbaut und in das Gesamtbild integriert werden können.

**Fluss- und Seewärmepumpen** gewinnen derzeit immer mehr an Bedeutung. Dabei wird Fluss- oder Seewasser in großen Mengen über einen Wärmetauscher gepumpt und dem Wasser ein gewisses Maß an Wärme entzogen (ca. 1 bis 3 Kelvin). Pro 100 kW Wärmepumpenleistung werden etwa 200 bis 300 m<sup>3</sup> Wasser pro Stunde umgesetzt. Voraussetzungen hierfür sind ein ausreichender Volumenstrom, eine ausreichende Gewässertemperatur im Winter (mindestens 3 bis 5°C), sowie geeignete Entnahmestellen und ortsnahe Freiflächen für eine Heizzentrale. Als erster Schritt sollte Kontakt zur Genehmigungsbehörde (Wasserbehörde, Wasserwirtschaftsverwaltung, ggf. Schifffahrtsamt) aufgenommen werden, um die Rahmenparameter abzustimmen (maximale Entnahmemenge, maximaler Temperaturentzug, Auflagen zum Fischschutz etc.).

Im Rahmen der **Umfeldanalyse** werden insbesondere nahegelegene Industrie- und Gewerbegebiete analysiert und potenzielle Abwärmequellen ermittelt. Die örtlichen Netzbetreiber und Energieversorger können dabei helfen Großverbraucher zu identifizieren. Werden für die Quartiersversorgung Nahwärmenetze in Betracht gezogen, bietet es sich auch an weitere Wärmesenken zu ermitteln (z. B. Schwimmbäder, Schulen, Krankenhäuser, Pflegeheime, öffentliche Gebäude etc.), wodurch sich ein Nahwärmenetz ggf. wirtschaftlicher darstellen lässt.

Letztendlich sollten für alle ermittelten Potenziale die möglichen Heizleistungen und Energiemengen erfasst werden, um eine Auswahl der relevantesten Quellen treffen zu können. Diese Auswahl bildet anschließend die Grundlage für das technische Konzept bzw. die Variantenuntersuchung.

## 6 Variantenuntersuchung / Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

**Ziele des Arbeitspaketes: Ökonomische und ökologische Gegenüberstellung verschiedener Versorgungsoptionen anhand einer einheitlichen Berechnungsmethodik auf Vollkostenbasis (z. B. Wärmegestehungskosten nach VDI-Richtlinie 2067).**

Verschiedene Versorgungsvarianten lassen sich nur adäquat vergleichen, wenn alle anfallenden Kosten mit der gleichen Methodik erfasst werden. Ein Vergleich der Investitionen alleine erlaubt keine Aussage über die langfristige Wirtschaftlichkeit einer Anlagentechnik.

Eine ökonomische Bewertung kann beispielsweise auf einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für gebäudetechnische Anlagen nach VDI-Richtlinie 2067 erfolgen. Dabei erfolgt die Berechnung der Kapital-, Betriebs- und Verbrauchskosten, welche zusammen die Jahresgesamtkosten ergeben. Die Kapitalkosten umfassen alle notwendigen Investitionen in die Anlagentechnik und bauliche Maßnahmen sowie die entsprechenden Kosten für Lieferung und Montage. Die Investitionen werden in diesem Zuge mit den in der Richtlinie angegebenen technischen Nutzungsdauern und einem selbst gewählten Fremdkapitalzinssatz abgezinst und als jährliche Annuität ausgewiesen. Die Verbrauchskosten enthalten alle laufenden Kosten für den Betrieb der Anlagentechnik, wozu die Strom- oder Brennstoffverbräuche sowie die erforderliche Hilfsenergie (z. B. Stromverbrauch von Pumpeinrichtungen oder Stellantrieben) gezählt werden. Die Betriebskosten umfassen alle laufenden Kosten für die Wartung und Instandhaltung (Prozentsätze aus der Richtlinie) der Anlagentechnik sowie notwendiger Bauwerke (z. B. Betriebsgebäude). Zusätzlich werden unter den Betriebskosten die Kosten für die Verwaltung der Anlagen (z. B. Rohstoffbeschaffung oder Vergabe von Reparaturaufträgen) sowie notwendige Versicherungen berücksichtigt. Werden Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten zusammengerechnet, ergeben sich die Jahresgesamtkosten, die für die verschiedenen Varianten miteinander verglichen werden können.

Aus den Jahresgesamtkosten können zudem die Wärmegestehungskosten für die einzelnen Varianten errechnet werden, die als Vergleichskriterium genutzt werden können. Es ist anzumerken, dass diese

Wärmegestehungskosten insbesondere bei einer Nahwärmeversorgung nicht dem späteren Wärmelieferpreis (Arbeitspreis) entsprechen. Eine netzgebundene Versorgung zeichnet sich gemäß Fernwärmeverordnung stets durch einen Arbeits- und einen Grundpreis aus, wobei der Arbeitspreis die verbrauchsabhängigen Kosten beinhaltet (Energie / Brennstoff) und der Grundpreis die investiven Maßnahmen abdeckt (Netz / Anlagentechnik).

Alle wirtschaftlichen Analysen sollten zudem eine Betrachtung über die nächsten 20 Jahre enthalten, mit der ebenfalls Preissteigerungen für verschiedene Energieträger berücksichtigt werden. Insbesondere Technologien die hohe Investitionen, dafür jedoch niedrige laufende Kosten verursachen (z. B. Solarthermische Großanlagen) profitieren von dieser Methode, da einmal in solche Anlagen investiert wurde, jedoch nur wenig laufende Kosten (z. B. für die Spitzenlastversorgung) anfallen.

Je nach Größe des Quartiers werden oftmals mehrere Bauabschnitte ausgewiesen, die über Jahre oder gar Jahrzehnte hinweg sukzessive ausgebaut werden. In solchen Fällen ist es oftmals erforderlich Übergangslösungen oder Einzellösungen pro Bauabschnitt in Erwägung zu ziehen. Beispiele hierfür stellen Nahwärmenetze oder Saisonwärmespeicher dar, die hohe Investitionen erfordern, welche über den Wärmeabsatz finanziert werden müssen. Werden Nahwärmenetze oder Großwärmespeicher direkt zu Beginn für das gesamte Plangebiet errichtet, obwohl die volle Nutzung erst nach etlichen Jahren erreicht wird, ist ein wirtschaftlicher Anlagenbetrieb oft nicht gewährleistet. Darüber hinaus bedeuten überdimensionierte Anlagen (inkl. Wärmeerzeugern) ggf. hohe Effizienzverluste, was höhere Energiebedarfe als erforderlich verursacht. Es sollte jedoch von Anfang ein End-Szenario berücksichtigt werden, um eine zentrale Versorgung im Endzustand ohne großen Aufwand zu ermöglichen. Gegebenenfalls vorhandene Übergangslösungen (z. B. kleinere stationäre oder mobile Heizzentralen pro Bauabschnitt) können anschließend zurückgebaut oder umgenutzt werden.

## 7 THG-Bilanz & Öko-Bilanzierung

Die Entwicklung einer zielführenden und umfassenden Methodik ist ein entscheidender Schritt zur Erfassung, Bewertung und Reduktion der Treibhausgasemissionen (THG) bzw. zur Schaffung eines klimaneutralen Quartiers. Im Rahmen der Entwicklung gilt es zunächst festzulegen, was unter dem Begriff „Klimaneutralität“ verstanden wird. Mit Klimaneutralität ist im Pfaff-Projekt, in Anlehnung an die Definition der Bundesregierung im Bundesklimaschutzgesetz 2021, die „Netto-Null“ der bilanzierten, relevanten Treibhausgase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O) gemeint. Dies kann, je nach definiertem Bilanzumfang und betrachteten Bereichen sowohl auf energetische als auch nicht energetische Emissionen angewendet werden. Es bedeutet, dass sämtliche THG-Emissionen weitestgehend zu reduzieren sind, während nicht vermeidbare THG-Emissionen durch natürliche und technische Treibhausgas-Senken ausgeglichen werden können. Jeder Ausgleich von Emissionen sollte dabei nur auf zertifizierte Methoden für den Abbau von Treibhausgasen beschränkt werden, um Gewissheit zu haben, dass der Kohlenstoff dauerhaft gebunden ist. Um das Ziel der Klimaneutralität für das betrachtete Pfaff-Quartier quantifizieren und einordnen zu können, wurde im Rahmen einer ganzheitlichen Betrachtung der künftigen Quartierenergieversorgung eine Energie- und Treibhausgasbilanz als Monitoring-Instrument erstellt. Basisparameter einer Energie- und THG-Bilanz sind dabei die Systemgrenzen, der Betrachtungszeitraum, die gewählte Bilanzierungsmethode sowie die Festlegung des Bilanzumfangs.

Die Systemgrenze legt fest, welche Bereiche und Elemente in die Energie- und Treibhausgasbilanz (THG-Bilanz) einbezogen werden. In diesem Fall umfasst die Systemgrenze das gesamte Pfaff-Quartier, inklusive aller bestehenden und neuen Gebäude. Das bedeutet, dass alle Energieflüsse, die innerhalb dieses geografischen Bereichs stattfinden, in die Bilanz einbezogen werden.

Der Betrachtungszeitraum bezieht sich auf den Zeitraum, über den die Energie- und THG-Bilanz erstellt wird. Für das Pfaff-Quartier wurde ein langfristiger Zeitraum bis zum Jahr 2045 gewählt, welches als Zieljahr für den Endausbau festgelegt wurde. Dies bedeutet, dass die energetischen Bedarfe und die damit verbundenen Emissionen für ein vollständig entwickeltes Quartier im Jahr 2045 berechnet

werden. Diese langfristige Perspektive ermöglicht es, die Auswirkungen von Energieeinsparmaßnahmen und den Einsatz erneuerbarer Energien umfassend zu bewerten.

Die Bilanzierungsmethode beschreibt, wie die Energie- und Treibhausgasflüsse erfasst und berechnet werden. In diesem Fall wurde die Methode der endenergiebasierten Territorialbilanz angewendet, basierend auf den Empfehlungen des Praxisleitfadens „Klimaschutz in Kommunen“, herausgegeben vom Deutschen Institut für Urbanistik. Eine schematische Darstellung zeigt die folgende Abbildung:

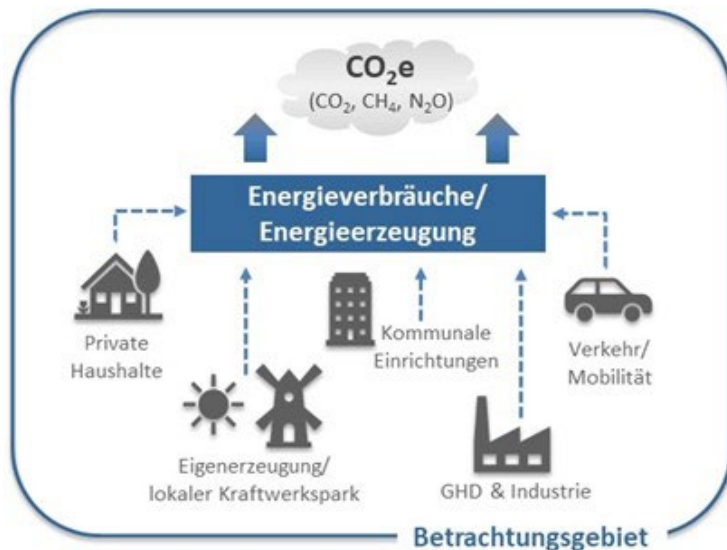


Abbildung II-1: Territorialprinzip - © IfaS

Beim endenergiebasierten Territorialprinzip werden alle Energieverbräuche und die damit einhergehenden THG-Emissionen ermittelt, die bei den relevanten Verbrauchergruppen auf dem Territorium des Betrachtungsgebietes (hier: Pfaff-Quartier) entstehen. Die Betrachtung der Energiemengen bezieht sich auf die Form der Endenergie wie beispielsweise Fernwärme, Kraftstoff und Strom. Die verwendeten Emissionsfaktoren berücksichtigen die relevanten Treibhausgase  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  sowie  $\text{N}_2\text{O}$  und werden als  $\text{CO}_2$ -Äquivalente ( $\text{CO}_2\text{e}$ ) ausgewiesen. Die angewendeten Emissionsfaktoren stammen aus dem Globalen Emissions-Modell integrierter Systeme (GEMIS) in der Version 5.0. in Ergänzung mit spezifischen Angaben der Stadtwerke Kaiserslautern zur energetischen und emissionsseitigen Bewertung der Fernwärme. Alle Faktoren beziehen sich auf den Endenergieverbrauch und berücksichtigen dabei auch die Vorketten, wie z.B. vorgelagerte Prozesse aus der Anlagenproduktion, die Förderung der Rohstoffe, Transport oder Brennstoffbereitstellung.

Im Ergebnis werden somit alle Energieflüsse innerhalb des Quartiers erfasst und bilanziert. Diese Methode ermöglicht eine detaillierte Analyse der Energieverbräuche und der damit verbundenen Emissionen, da sie die spezifischen Gegebenheiten und Strukturen des Quartiers berücksichtigt.

Der Bilanzumfang definiert, welche spezifischen Energieverbräuche und Emissionen in die Bilanz einbezogen werden. Im Fall des Pfaff-Quartiers wurde der Nutzenergiebedarf als Ausgangspunkt genommen, um die erforderliche Endenergie zu ermitteln. Der Nutzenergiebedarf umfasst die Energie, die für Heizen, Kühlen, Beleuchtung, Warmwasserbereitung und andere Nutzungen benötigt wird. Auf dieser Basis wurde die Endenergie berechnet, die für die verschiedenen Verbrauchergruppen (Wohnen, Büro / Dienstleistungen, Gewerbe, Parken und Mobilität) erforderlich ist. Außerdem wurden die Vorketten der Endenergiebedarfe berücksichtigt. Diese umfassende Betrachtung stellt sicher, dass alle relevanten Emissionen erfasst werden und die spezifischen Klimawirkungen der verschiedenen Energieträger und Nutzergruppen transparent dargestellt werden können.

Zusammengefasst ermöglichen die vier zuvor beschriebenen Parameter eine detaillierte und umfassende Erfassung und Bewertung der Energieverbräuche und der Treibhausgasemissionen im Quartier, was die Grundlage für eine effektive Planung und Umsetzung von Maßnahmen zur Erreichung der Klimaneutralität bildet.