

Masterprojekt - Erneuerbare Energien

Abschlussbericht

# Energiekonzept für den Ort Kreuzberg im Ahrtal (SolAhrtal)

Im Studiengang Erneuerbarer Energien M.Sc.

**Betreuung:** Prof. Dr. -Ing. Eberhard Waffenschmidt

**Vorgelegt von:**

Philipp Steffens, Nicolas Milan Stark, Joshua Marvin Wickenhäuser

Freitag, 15. 03. 2024



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>Formelverzeichnis</b> .....	<b>VII</b>
<b>1. Allgemeines</b> .....	<b>1</b>
1.1. Einleitung & Motivation.....	1
1.2. Ortsgemeinde Kreuzberg.....	2
1.3. Konzepte energieautarker Kommunen.....	2
1.4. Erfolgsfaktoren .....	4
<b>2. Methodisches Vorgehen</b> .....	<b>5</b>
2.1. Bestandsaufnahme .....	5
2.2. Potentialanalyse .....	6
2.3. Netzberechnung .....	7
2.4. Energiesystemmodellierung .....	7
2.5. Erstellung des Energiekonzepts .....	8
<b>3. Bestandsaufnahme</b> .....	<b>8</b>
3.1. Erfassung des Status Quo in Kreuzberg durch eine Umfrage.....	8
3.2. Bewertung der Umfrageergebnisse in Kreuzberg.....	13
3.3. Aktuelle Energiebedarfsschätzung für Strom und Wärme.....	14
3.3.1. Strombedarfsanalyse Aktuell und in Zukunft .....	15
3.3.2. Wärmebedarfsanalyse .....	16
3.3.3. Maßnahmen zur Steigerung der Gebäudeeffizienz .....	17
3.4. Bestehende Infrastruktur in Kreuzberg.....	20
3.4.1. Verkehrsinfrastruktur.....	20
3.4.1.1. Öffentlicher Nahverkehr .....	20
3.4.1.2. Straßen .....	21
3.4.1.3. Fahrrad .....	21
3.5. Vorhandene erneuerbarer Energiequellen.....	22
3.6. Bestehende Abfallentsorgung .....	23

<b>4. Potentialanalyse.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1. Erneuerbare Energien .....</b>	<b>24</b>
4.1.1. Photovoltaik .....	24
4.1.2. Windenergie .....	29
4.1.3. Bioenergie .....	31
4.1.4. Wasserkraft .....	35
<b>4.2. Speicherung.....</b>	<b>39</b>
<b>4.3. Mobilität.....</b>	<b>41</b>
<b>4.4. Vorläufige Konzeptidee Wärmeversorgung.....</b>	<b>43</b>
<b>5. Netzberechnung.....</b>	<b>46</b>
<b>5.1. Stromnetzplan Kreuzberg.....</b>	<b>46</b>
<b>5.2. Netzberechnung – PandaPower .....</b>	<b>48</b>
5.2.1. Netzzustandsberechnung .....	50
5.2.2. PV-Szenario (Gebäude) - Netzberechnung .....	51
5.2.3. PV-Szenario (Freifläche) - Netzberechnung .....	55
5.2.4. Maßnahmen - Netzberechnung .....	56
<b>6. Energiesystemmodellierung.....</b>	<b>58</b>
<b>7. Vorläufiges Energiekonzept.....</b>	<b>62</b>
<b>7.1. Allgemeines Energiekonzept.....</b>	<b>62</b>
<b>8. Realisierungskonzept.....</b>	<b>66</b>
<b>8.1. Einleitung .....</b>	<b>66</b>
8.1.1. Ausgangssituation.....	66
8.1.2. Ziele des Energiekonzeptes.....	67
8.1.3. Herausforderungen der Umsetzung.....	68
<b>8.2. Experten-Interview .....</b>	<b>70</b>
<b>8.3. Technische Umsetzung .....</b>	<b>75</b>
8.3.1. Fachfirmen & Spezialisten .....	75
8.3.2. Projektablaufplan .....	76
8.3.3. Beschreibung des Energiekonzeptes .....	82
8.3.4. Beschreibung des Flusswasser-Wärmepumpensystems .....	86
8.3.5. Netzplan und Energiezentrale.....	94
<b>8.4. Finanzierung &amp; Wirtschaftlichkeit.....</b>	<b>95</b>

8.4.1.	Kosten der Komponenten .....	95
8.4.2.	PV-Kosten .....	96
8.4.3.	Großwärmepumpen (GWP)-Kosten .....	96
8.4.4.	Flusswasser-Wärmetauscher-Kosten .....	98
8.4.5.	Nahwärmenetz und PV-Kosten .....	100
8.4.6.	Fördermöglichkeiten .....	102
8.4.7.	Wirtschaftliche Zusammenfassung des Projekts .....	104
<b>8.5.</b>	<b>Gesellschaftsform .....</b>	<b>110</b>
<b>8.6.</b>	<b>Betriebskonzept .....</b>	<b>110</b>
<b>Fazit</b>	<b>.....</b>	<b>112</b>
<b>9. Anhang</b>	<b>.....</b>	<b>114</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>.....</b>	<b>CXVI</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verteilung der Energieträger in Kreuzberg nach der Umfrage [4].....	9
Abbildung 2: Beheizte Wohnfläche der Teilnehmer in Kreuzberg [4] .....	9
Abbildung 3: Energieverbrauch zur Wärmebereitstellung in Kreuzberg in kWh [4] .....	10
Abbildung 4: Sanierungsgrad/Maßnahmen der Gebäude in Kreuzberg [4].....	10
Abbildung 5: Stromverbrauch der Gebäude in Kreuzberg [4].....	11
Abbildung 6: Interesse oder bereits installierte PV-Anlage [4].....	12
Abbildung 7: Leistung installierter und geplanter PV-Anlagen in Kreuzberg [4] .....	12
Abbildung 8: Elektromobilität in Kreuzberg [4].....	13
Abbildung 9: Abschätzung des aktuellen und zukünftigen Strombedarf in Kreuzberg [8] .....	16
Abbildung 10: Wärmebedarf von Kreuzberg abgeschätzt nach den verschiedenen Altersklassen [9] [10] [11].....	17
Abbildung 11: Bewertung der Maßnahmen zur Effizienzsteigerung bei der Anlagentechnik [12] .....	18
Abbildung 12: Bewertung der Maßnahmen zur Effizienzsteigerung in Bezug auf eine Dämmung [12] 19	
Abbildung 13: Bewertung der Maßnahmen zur Verhaltensänderung und der Systemoptimierung [12]19	
Abbildung 14: VRM-Liniennetzplan 2023, Ausschnitt Kreuzberg. Entnommen aus [13] [15]. .....	21
Abbildung 15: Solarpotential des Ortsteil Kreuzberg. Ermittelt mit dem Solarkataster RLP [21]. .....	25
Abbildung 16: Biotop-/Artenschutzgebiet, Natura2000 Netz, Kreuzberg [24].....	30
Abbildung 17: Nationale Schutzgebiete, Kreuzberg [24] .....	30
Abbildung 18: Biotopkataster, Kreuzberg [24] .....	31
Abbildung 19: Gemarkungsgrenzen von Kreuzberg [24].....	33
Abbildung 20: Schema der Wärmeversorgung in Kreuzberg.....	43
Abbildung 21: Netzplan von Kreuzberg [32] .....	46
Abbildung 22: Ausschnitt um den Transformator "Schule" in Kreuzberg [32].....	47
Abbildung 23: Ausschnitt von der Ahrbrücke .....	47
Abbildung 24: Grafische Darstellung des implementierten Netzes mit künstlichen Koordinaten.....	48
Abbildung 25: Spannungsabweichung an den Knoten beim Worst Case mit 100 % PV-Leistung. Darstellung der Knoten mit einer Spannungsüberschreitung von über 3 %. .....	53
Abbildung 26: Maximale Ströme auf den Leitungen Knoten beim Worst Case mit 100 % PV-Leistung. Darstellung der Leitungen mit einem maximalen Strom von über 270 A. ....	53
Abbildung 27: PyPSA Energiesystemmodell Kreuzberg.....	58
Abbildung 28: Darstellung der Arbeitspakete zur Realisierung des Energiekonzeptes .....	81
Abbildung 29 System Schema bei gutem Gebäudestandard .....	82
Abbildung 30 Systemschema bei schlechtem Gebäudeschema .....	83
Abbildung 31 Systemschema Trinkwarmwasser .....	84
Abbildung 32 Auslegung Wärmepumpe [43] .....	89
Abbildung 33: Modelldarstellung der Krananlage inklusive Wärmeübertrager-Stacks .....	92
Abbildung 34 Praxisbeispiel MEFA, Kupferzell [44].....	93
Abbildung 35 Registerbauform, Datenblatt multiQ water 1235 [45].....	93

Abbildung 36: Schematische Darstellung des Wärmenetzes inkl. Energiezentrale.....	94
Abbildung 37: Darstellung der Gesamtinvestitionen für das Energiekonzept inkl. 40% Förderung für das Wärmenetz.....	108
Abbildung 38: Darstellung der Gesamtinvestitionen für das Energiekonzept ohne Förderung für das Wärmenetz.....	109
Abbildung 39: Landwirtschaftliche Flächen Rheinland-Pfalz (Statistisches Monatsheft RLP 04.2021) .....	114
Abbildung 40: Ausschnitt aus dem Python-Code der PyPSA-Modellierung .....	115

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bewertung/Zusammenfassung der Erkenntnisse aus der Umfrage in Kreuzberg .....	14
Tabelle 2: Benötigte Kapazität pro Netzanschlusspunkt [8].....	15
Tabelle 3: Bestandsanalyse vorhandener EE-Anlagen in Kreuzberg .....	22
Tabelle 4: Annahmen für die Berechnung des PV-Potentials.....	26
Tabelle 5: PV-Potential für Kreuzberg Übersicht .....	26
Tabelle 6: PV-Potential auf öffentlichen Gebäuden .....	28
Tabelle 7: Übersicht der einzelnen PV-Konzepte für Kreuzberg .....	29
Tabelle 8: Darstellung der Bioenergie-Potentiale .....	32
Tabelle 9: Messdaten Altenahr, Ahr Abfluss, 1946 - 2019, Landesamt für Umwelt RLP [27].....	35
Tabelle 10: Technische Daten, Laufwasserkraftwerke, EnBW [28].....	36
Tabelle 11: Technische Daten für das Wasserkraftwerk an der Ahr.....	37
Tabelle 12: Bewertung zur Umsetzung eines Wasserkraftwerks an der Ahr.....	38
Tabelle 13: Kabeltypen von Kreuzberg [32].....	49
Tabelle 14: Transformator-Leistungen und Übersetzungsverhältnisse [32] .....	49
Tabelle 15: Transformatorauslastung bei der maximalen Last in Kreuzberg.....	50
Tabelle 16: Ergebnisse der Spannungsabweichung und des maximalen Stroms bei maximaler Last in Kreuzberg .....	51
Tabelle 17: Transformatorauslastung im Worst-Case 100% PV-Szenario in Kreuzberg.....	52
Tabelle 18: Ergebnisse der Anzahl der Überschreitungen der Spannungsabweichung und des maximalen Stroms im Worst-Case 100% PV-Szenario in Kreuzberg.....	52
Tabelle 19: Transformatorauslastung im Worst-Case 24% PV-Szenario in Kreuzberg.....	54
Tabelle 20: Ergebnisse der Anzahl der Überschreitungen der Spannungsabweichung und des maximalen Stroms im Worst-Case 24% PV-Szenario in Kreuzberg.....	54
Tabelle 21: Maximal mögliche PV-Leistung einer Freiflächen-Anlage am jeweiligen Transformator in Kreuzberg .....	56
Tabelle 22: Ergebnisse der Energiesystemmodellierung.....	60
Tabelle 23: Ergebnisse der Temperaturerhöhung der Ahr .....	91
Tabelle 24: Stränge und Länge des Wärmenetzes in Kreuzberg .....	95
Tabelle 25: Kosten der Arbeitspakete.....	100
Tabelle 26: Gesamtkosten für die Wärmeversorgung .....	101
Tabelle 27: Jährliche Betriebskosten .....	101
Tabelle 28: Wirtschaftliche Berechnung des Wärmenetzes anhand der Annuitätenmethode .....	104
Tabelle 29: Übersicht der Kenndaten des Wärmekonzeptes.....	105
Tabelle 30: Übersicht der Kenndaten des PV-Konzeptes.....	106

## Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung der benötigten Leistung in Kreuzberg .....	15
Formel 2: Berechnung der PV-Leistung für Szenario 3 .....	55
Formel 3: Erhöhung der PV-Leistung auf 8% ohne Überschreitung.....	56
Formel 4: Erhöhung der PV-Leistung auf 20% ohne Überschreitung.....	57
Formel 5: Berechnung der Jahresarbeitszahl .....	86
Formel 6: Berechnung des SCOP .....	90
Formel 7: Berechnung der Temperaturerhöhung der Ahr.....	91
Formel 8: Berechnung der Wärmeübertragerfläche in m <sup>2</sup> .....	98
Formel 9: Berechnung der notwendigen Profilplatten für den Wärmetauscher .....	98
Formel 10: Berechnung des Grundpreises für das Wärmenetz.....	105
Formel 11: Berechnung des Arbeitspreises für das Wärmenetz .....	105
Formel 12: Berechnung der Erlösung aus Einspeisung.....	106
Formel 13: Berechnung der Erlösung aus dem vermiedenen Netzbezug .....	106
Formel 14: Berechnung der Bilanzsumme für PV.....	107
Formel 15: spezifische Erlöse pro kWp .....	107
Formel 16: Berechnung der spezifischen Investitionskosten pro kWp PV-Leistung.....	107
Formel 17: Berechnung der Amortisationszeit aller Anlagen.....	107

Disclaimer: Die Erstellung dieses Berichts gliedert sich sowohl zeitlich als auch inhaltlich in zwei Hauptabschnitte. Die Konzeptentwicklung erfolgte im Rahmen des Masterprojekts "SolAhrtal" an der Technischen Hochschule Köln über einen Zeitraum von zwei Semestern. Im ersten Abschnitt konzentrierte sich das Projekt auf die Ermittlung grundlegender Daten, die Bewertung lokaler und sozialer Gegebenheiten sowie auf die Erstellung eines vorläufigen Energiekonzepts, das anschließend der Kreuzberger Bevölkerung präsentiert wurde. Der zweite Abschnitt widmete sich dem Realisierungskonzept, in welches sowohl das Feedback der Kreuzberger Bürgerinnen und Bürger als auch Erkenntnisse aus Experteninterviews eingeflossen sind. Basierend auf diesem Feedback wurden bestimmte Aspekte des Konzepts reevaluiert und entsprechend angepasst. Diese Anpassung hat zur Folge, dass sich einige relevante Kernpunkte im Energiekonzept der beiden Hauptabschnitte unterscheiden.



## 1. Allgemeines

### 1.1. Einleitung & Motivation

Im Rahmen der Bemühungen um eine nachhaltige Entwicklung rückt die Gestaltung der Energieversorgung und der Mobilität in Kommunen immer stärker in den Fokus. Insbesondere nach den verheerenden Folgen der Flutkatastrophe im Ahrtal im Jahr 2021 ist es für den Ortsteil Kreuzberg ein wichtiges Anliegen, sich für eine klimafreundliche Zukunft einzusetzen. Ein nachhaltiges Energiekonzept für Kreuzberg kann dazu beitragen, die Umweltbelastung zu reduzieren, die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen minimieren und die Resilienz gegen künftige Klimaveränderungen erhöhen. Durch die Umstellung auf erneuerbare Energien und eine höhere Energieeffizienz können die Energiekosten und Abhängigkeiten von fossilen Brennstoffen gesenkt werden.

Um eine nachhaltige Energieversorgung für Kreuzberg zu entwickeln, hat sich die Gemeinde Kreuzberg dazu entschlossen, ein studentisches Team der Technischen Hochschule Köln zu beauftragen, sie bei der Erstellung des Energiekonzepts zu unterstützen. Das Team besteht aus Ingenieuren im Masterstudium der Erneuerbaren Energien, die ihre Fachkenntnisse und Fähigkeiten im Entwicklungsprozess des Energiekonzepts zur Anwendung bringen. In enger Zusammenarbeit mit den lokalen Behörden, Vertretern der Gemeinde und Bürgern von Kreuzberg werden die Studierenden ein nachhaltiges Energiekonzept entwickeln, das auf die spezifischen Bedürfnisse und Möglichkeiten von Kreuzberg zugeschnitten ist.

Der vorliegende Bericht beschreibt den Entwicklungsprozess des Energiekonzepts und zeigt, welche Maßnahmen ergriffen werden können, um eine nachhaltige und klimafreundliche Energieversorgung in Kreuzberg zu erreichen. Dabei werden die unterschiedlichen Schritte des Konzeptentwicklungsprozesses beschrieben, die von der Potentialanalyse über die Bestandsaufnahme und Energiebedarfsanalyse bis hin zur Zielsetzung, Maßnahmenplanung und Umsetzung reichen. Zudem werden die konkreten Schritte und Maßnahmen beschrieben, die zur Umsetzung des Konzepts notwendig sind.

Die Zusammenarbeit zwischen der Technischen Hochschule Köln und der Gemeinde Altenahr zeigt, dass eine enge Kooperation zwischen lokalen Behörden, Bildungseinrichtungen und Bürgern ein wichtiger Schritt hin zu einer nachhaltigen Entwicklung sein kann. Gemeinsam können wir Kreuzberg zu einem Vorzeigebispiel für nachhaltige Energieversorgung in der Region machen und einen positiven Beitrag für die Umwelt und unsere Gemeinschaft leisten.

## 1.2. Ortsgemeinde Kreuzberg

Kreuzberg ist ein Ortsteil der Gemeinde Altenahr im Landkreis Ahrweiler, gelegen im nördlichen Rheinland-Pfalz. Eingebettet im Ahrtal, grenzt Kreuzberg im Süden an den Ahrbrücker Ortsteil Pützfeld und im Osten an den Altenahrer Ortsteil Altenburg. Die Landschaft ist von zahlreichen Erhebungen geprägt, darunter der Lingenberg mit einer Höhe von 243 m und der Pützberg mit 375 m. Die Ahr fließt durch den Ort und wird von den Zuflüssen Sahrbach und Vischelbach gespeist. Kreuzberg kann auf eine lange Geschichte zurückblicken, die bis ins Jahr 893 zurückreicht. Ein besonderes Merkmal des Ortes ist die Burg Kreuzberg, die im 18. Jahrhundert erbaut wurde und sich im Herzen des Ortes befindet [1].

## 1.3. Konzepte energieautarker Kommunen

Es gibt verschiedene Konzepte für energieautarke Kommunen, die auf unterschiedlichen Ansätzen basieren:

**Netto-Null-Energie-Konzept:** Dieses Konzept zielt darauf ab, dass eine Gemeinde so viel Energie produziert, wie sie verbraucht. Die Gemeinde nutzt erneuerbare Energiequellen wie Solar-, Wind- oder Wasserkraft, um Strom zu erzeugen, und verbessert die Energieeffizienz von Gebäuden und Infrastruktur, um den Energieverbrauch zu reduzieren [2].

**Virtuelle Kraftwerke:** Hierbei werden dezentrale Energieerzeuger (z.B. Solaranlagen auf Dächern) und Speicher (z.B. Batterien) vernetzt und durch intelligente Steuerung zu einem virtuellen Kraftwerk gebündelt. Auf diese Weise kann der Strombedarf der Gemeinde gedeckt werden [3].

**Power-to-X-Konzepte:** Hierbei wird überschüssiger Strom aus erneuerbaren Energien (z.B. Wind- oder Solarstrom) genutzt, um mittels Elektrolyse Wasserstoff zu erzeugen. Dieser kann dann als Brennstoff für Heizsysteme, als Speichermedium für Energie oder zur Herstellung von synthetischen Kraftstoffen verwendet werden.

**Quartierskonzepte:** Hierbei wird der Fokus auf eine lokale Energieversorgung gelegt, bei der ein Stadtteil oder eine Gemeinde mit erneuerbaren Energien versorgt wird. Dazu können auch eine intelligente Steuerung von Energieerzeugung und -verbrauch sowie die Nutzung von Energie-Contracting gehören.

**Bioenergiedörfer:** Hierbei wird die Energieversorgung auf Basis von Biomasse umgesetzt. Dabei werden lokale Biomasse-Ressourcen genutzt, um Strom und Wärme zu erzeugen.

Diese Konzepte können miteinander kombiniert werden, um eine nachhaltige und energieautarke Gemeinde zu schaffen. Es gibt keine "One-Size-Fits-All"-Lösung, wenn es um die Schaffung einer energieautarken Gemeinde geht. Die geeignete Kombination der Konzepte hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie beispielsweise der Größe und Topographie der Gemeinde, der Verfügbarkeit und Potenzial der erneuerbaren Energiequellen, den Bedürfnissen und Verhaltensweisen der Einwohner sowie den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen.

Jede Gemeinde muss daher eine individuelle Strategie entwickeln, die auf ihren spezifischen Gegebenheiten basiert. Hierbei sollten alle Aspekte der Energieversorgung in Betracht gezogen werden, einschließlich der Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Nutzung von Energie. Letztendlich ist es wichtig, dass die Gemeinde ihre Bürger und Unternehmen in den Planungs- und Umsetzungsprozess einbezieht, um sicherzustellen, dass alle Interessengruppen einbezogen werden und die Energieautarkie für die Gemeinde eine umfassende und tragfähige Lösung darstellt.

#### 1.4. Erfolgsfaktoren

Ein gelingendes Konzept für eine nachhaltige Energieversorgung einer Kommune wie Kreuzberg ist ein komplexes Vorhaben, das viele verschiedene Aspekte und Faktoren berücksichtigt. Es gibt kein einfaches Erfolgsrezept für ein solches Vorhaben, aber es gibt einige wichtige Faktoren, die dazu beitragen können, dass das Konzept erfolgreich umgesetzt wird:

**Einbindung der Stakeholder:** Eine frühzeitige Einbindung und Beteiligung der relevanten Stakeholder, wie z.B. Bürgerinnen und Bürger, lokale Unternehmen und politische Entscheidungsträger, ist von entscheidender Bedeutung. Nur so kann das Konzept auf die Bedürfnisse und Anforderungen der Gemeinde angepasst werden und eine hohe Akzeptanz in der Bevölkerung erreichen.

**Ganzheitlicher Ansatz:** Ein ganzheitlicher Ansatz, der alle relevanten Aspekte der Energieversorgung einer Kommune abdeckt, ist wichtig. Dazu gehört die Berücksichtigung von Energieeffizienz, erneuerbaren Energien, Mobilität, Gebäudesanierung und -modernisierung sowie die Integration von Energiespeichern und intelligenten Netzen.

**Finanzierung:** Eine ausreichende Finanzierung ist notwendig, um das Konzept umzusetzen. Dabei können sowohl öffentliche als auch private Mittel eine Rolle spielen.

**Kontinuierliches Monitoring und Evaluation:** Eine kontinuierliche Überwachung und Bewertung des Konzepts ist erforderlich, um sicherzustellen, dass die gesteckten Ziele erreicht werden und gegebenenfalls Anpassungen vorgenommen werden können.

**Kommunikation:** Eine transparente und effektive Kommunikation mit den Bürgerinnen und Bürgern sowie den anderen Stakeholdern ist wichtig, um eine hohe Akzeptanz für das Konzept zu erreichen und die Beteiligung der Gemeinde zu fördern.

Diese Faktoren können dazu beitragen, dass ein nachhaltiges Energiekonzept für eine Kommune wie Kreuzberg erfolgreich umgesetzt wird und eine positive Auswirkung auf die Umwelt, die Wirtschaft und die Lebensqualität der Menschen hat.

## 2. Methodisches Vorgehen

### Methodisches Vorgehen zur nachhaltigen Energieversorgung von Kreuzberg

Ziel unserer Forschung ist es, ein robustes, zukunftsorientiertes und nachhaltiges Energiekonzept für die Gemeinde Kreuzberg zu entwickeln. Dies erfordert ein methodisches Vorgehen, das auf einer fundierten Datenbasis und systematischen Analysen beruht. Hierbei unterteilen wir das Vorgehen in fünf aufeinander aufbauende Phasen:

#### 2.1. Bestandsaufnahme

Ziel der Datenerhebung ist die Generierung einer fundierten Datengrundlage bezüglich des Energieverbrauchs in der Gemeinde Kreuzberg. Die Daten wurden über drei verschiedene Kanäle gesammelt, die jeweils unterschiedliche Qualitäts- und Auflösungsmerkmale aufweisen. Ein zentrales Problem dieser Studie besteht in der Erstellung einer zuverlässigen Datengrundlage für die Verbrauchswerte der einzelnen Gebäude. Der erste Schritt dient der Erhebung einer soliden Datenbasis.

- **Umfrage:** Durch ein strukturiertes Befragungsdesign werden sowohl quantitative als auch qualitative Daten direkt von den Bewohnern Kreuzbergs erhoben, um ein umfassendes Bild über den gegenwärtigen energetischen Zustand der Gemeinde zu erhalten.
- **Digitale Kartendienste und Online-Ressourcen:** Diese Instrumente bieten uns die Möglichkeit, die infrastrukturelle Gegebenheit Kreuzbergs zu analysieren, wobei der Fokus insbesondere auf Verkehrsinfrastrukturen, bestehenden erneuerbaren Energiequellen und Abfallentsorgungskonzepten liegt.

Die ermittelten Daten wurden mit spezifischen Energiekennwerten korreliert, die aus den Richtlinien der Deutschen Energieagentur (DENA) und der Simulationssoftware nPro abgeleitet wurden. Die daraus resultierenden Verbrauchswerte wurden mit den Rückmeldungen aus der Online-Befragung abgeglichen und entsprechend angepasst. Durch die zur Verfügung gestellten Stromnetzpläne von Kreuzberg können Stromnetzberechnungen und Modellierung durchgeführt werden.

## Schlüsselindikatoren

- Teilenergiekennwerte
- Verbrauchskennwerte

Durch die Kombination dieser Methoden und Indikatoren wird eine umfassende und zuverlässige Datengrundlage für die Analyse des Energieverbrauchs in der Gemeinde Kreuzberg geschaffen.

## 2.2. Potentialanalyse

Zur systematischen Analyse der Potentiale für lokale erneuerbare Energieerzeugung wurden in der Gemeinde Kreuzberg verschiedene Energiequellen wie Photovoltaik (PV), Windenergie, Biomasse, Wasserkraft und Industrieabwärme berücksichtigt.

**Photovoltaik (PV):** Zur Ermittlung des Potentials für die Stromerzeugung durch Photovoltaik wurden existierende Anlagen mittels Google Maps kartiert. Zusätzlich wurde das Dachflächenpotential aller Gebäude in der Gemeinde durch das Solarkataster des Landes Rheinland-Pfalz analysiert. Diese Analyse berücksichtigt sowohl die Ausrichtung der Dachflächen als auch potenzielle Verschattungssituationen.

**Windenergie:** Zur Ermittlung des Windenergiepotentials wurden geeignete Flächen für die Errichtung von Windenergieanlagen vor dem Hintergrund von Schutzgebieten und der Topologie gesucht. Hierzu wurden Informationen aus dem LANIS, dem Geoportal der Naturschutzverwaltung Rheinland-Pfalz, herangezogen.

**Biomasse:** Die Energiegewinnungspotentiale aus Biomasse wurden durch die Analyse der Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Abwasserwirtschaft innerhalb der Gemeindegrenzen ermittelt. Dabei wurde ebenfalls auf das LANIS und Google Maps zurückgegriffen.

**Wasserkraft:** Angesichts der geographischen Gegebenheiten wurde auch das Potential der Wasserkraft untersucht. Hierzu wurden Wasserstände und Durchflussmengen der Ahr und deren Nebenflüsse im Jahresverlauf analysiert.

**Industrieabwärme:** Obwohl Industriepotentiale in diesem Konzept berücksichtigt wurden, wird nicht darauf aufgebaut. Der Grund hierfür ist die potenzielle Abhängigkeit der Wärmeversorgung von der Industrie, die bei einer Verlagerung oder Einstellung der Betriebe wegfallen würde. Es gibt keine Industrie in Kreuzberg die nutzbare Abwärme bereitstellen könnte.

Durch die Integration dieser zusätzlichen Datenquellen und Erhebungsmethoden wird eine umfassende und zuverlässige Datengrundlage für die Analyse sowohl des Energieverbrauchs als auch der Energieerzeugungspotentiale in der Gemeinde Kreuzberg geschaffen.

### 2.3. Netzberechnung

Mit den von Westnetz bereitgestellten Daten führen wir eine umfassende Netzberechnung durch.

**PandaPower:** Dieses spezialisierte Python-Framework ermöglicht es uns, komplexe Szenarien im Kontext des bestehenden und zukünftigen Stromnetzes durchzuspielen, um mögliche Herausforderungen und Chancen zu identifizieren. Dabei werden insbesondere Szenarien mit hoher PV-Einspeisung analysiert und die Leistungsfähigkeit des Stromnetzes untersucht.

### 2.4. Energiesystemmodellierung

Die Modellierung des zukünftigen Energiesystems ist von zentraler Bedeutung für die Planung und Implementierung.

- **PyPSA und Gurobi-Solver:** Durch diese Kombination können wir eine Optimierung des Energiesystems vornehmen, wobei die Effizienz und Wirtschaftlichkeit im Vordergrund steht. Dabei werden die benötigten Systemkomponenten optimiert und die Autarkie bestimmt.

## **2.5. Erstellung des Energiekonzepts**

Abschließend werden alle erhobenen Daten und Analyseergebnisse zu einem kohärenten Energiekonzept für Kreuzberg zusammengesetzt. Dabei legen wir Wert auf eine umfassende Darstellung, die verschiedene Szenarien berücksichtigt und mithilfe von nPRO simuliert wird, um die zukünftige Energieversorgung aus verschiedenen Perspektiven darzustellen.

Durch dieses strukturierte methodische Vorgehen streben wir an, eine fundierte Grundlage für die Entwicklung und Implementierung eines nachhaltigen Energiekonzepts für Kreuzberg zu schaffen.

## **3. Bestandsaufnahme**

Eine Bestandsaufnahme der vorhandenen Energieinfrastruktur in Kreuzberg ist notwendig, um den aktuellen Energieverbrauch, die Art der verwendeten Energiequellen und die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erfassen. Bei der Bestandsaufnahme wurde zuerst eine digitale Befragung der Bürger in Kreuzberg durchgeführt. Die Ergebnisse des Fragebogens sind in dem folgenden Kapitel ersichtlich.

### **3.1. Erfassung des Status Quo in Kreuzberg durch eine Umfrage**

Um eine Analyse des aktuellen Energieverbrauchs in der Gemeinde Kreuzberg zu verifizieren und um den aktuellen Stand der Energieversorgung zu ermitteln, wurde eine Umfrage in Kooperation mit der Ortsbürgermeisterin Frau Hupperich durchgeführt. Insgesamt haben 28 Teilnehmer an dieser digitalen Umfrage teilgenommen. Bei einigen Fragen war eine Mehrfachnennung von Antworten möglich, sodass die Gesamtanzahl teilweise höher als 28 ist.

In Abbildung 1 ist die Verteilung der Energieträger in Kreuzberg anhand der Umfrage aufgetragen. Es ist ersichtlich, dass fossile Energieträger wie Erdgas, Heizöl 26 % ausmachen. Unter „sonstiges“ haben die Teilnehmer der Umfrage mehrheitlich anderweitige Energieträger wie Kaminholz angegeben. Kaminholz wird aber mehrheitlich nicht als primäre Heizungsanlage genutzt. Insgesamt ist aber zu verzeichnen, dass circa 54 % der Teilnehmer mit regenerativen Energiequellen (Strom, Umweltwärme, Pellets und Holz) heizen.



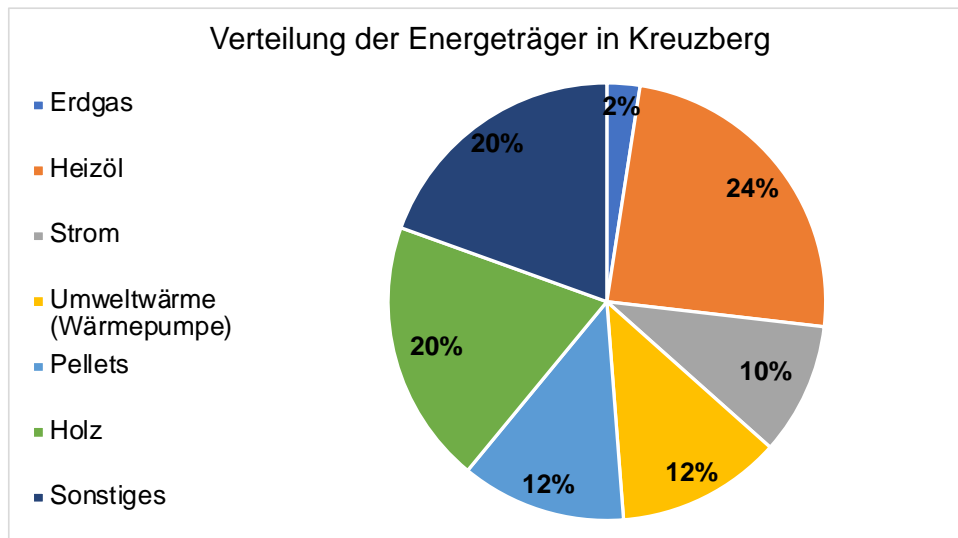


Abbildung 1: Verteilung der Energieträger in Kreuzberg nach der Umfrage [4]

In Abbildung 2 ist die beheizte Wohnfläche der Bewohner in Kreuzberg dargestellt. Es ist zu erkennen, dass es kaum Ausreißer nach unten gibt und 27 Teilnehmer der Umfrage eine Fläche zwischen 80 m<sup>2</sup> und 250 m<sup>2</sup> beheizen. Lediglich ein Gebäude hat eine sehr große Fläche von 800 m<sup>2</sup>. Es handelt sich dabei um einen Hotelbetrieb im Ort.

Für weitere Kalkulationen wird anhand der durchgeführten Umfrage ein Mittelwert von 167 m<sup>2</sup> als beheizte Fläche angenommen.

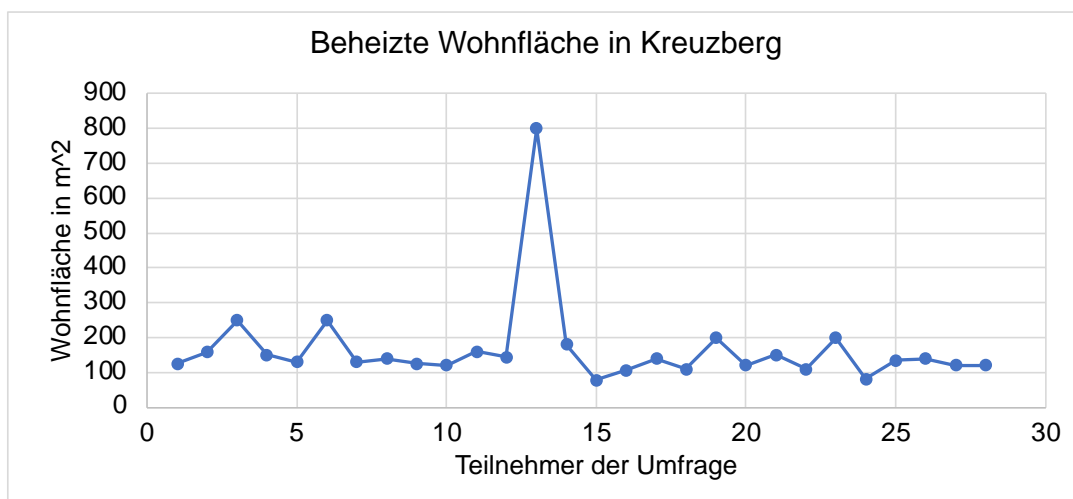


Abbildung 2: Beheizte Wohnfläche der Teilnehmer in Kreuzberg [4]

Der Energieverbrauch zur Wärmebereitstellung wurde auch mithilfe der Umfrage bei den 28 Teilnehmern abgefragt. Dabei wurde abhängig von dem Energieträger unterschiedliche Einheiten angegeben. Mithilfe des Brennwertes für Heizöl, Flüssiggas, Pellets und Scheitholz wurden diese Werte in kWh umgerechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3 ersichtlich. Auch hierbei ist eine konstante Verteilung bis auf dem Ausreißer bei Teilnehmer 13 erkennbar. Der Mittelwert aller vorhandenen Energieverbräuche in Kreuzberg beträgt 21.715 kWh.

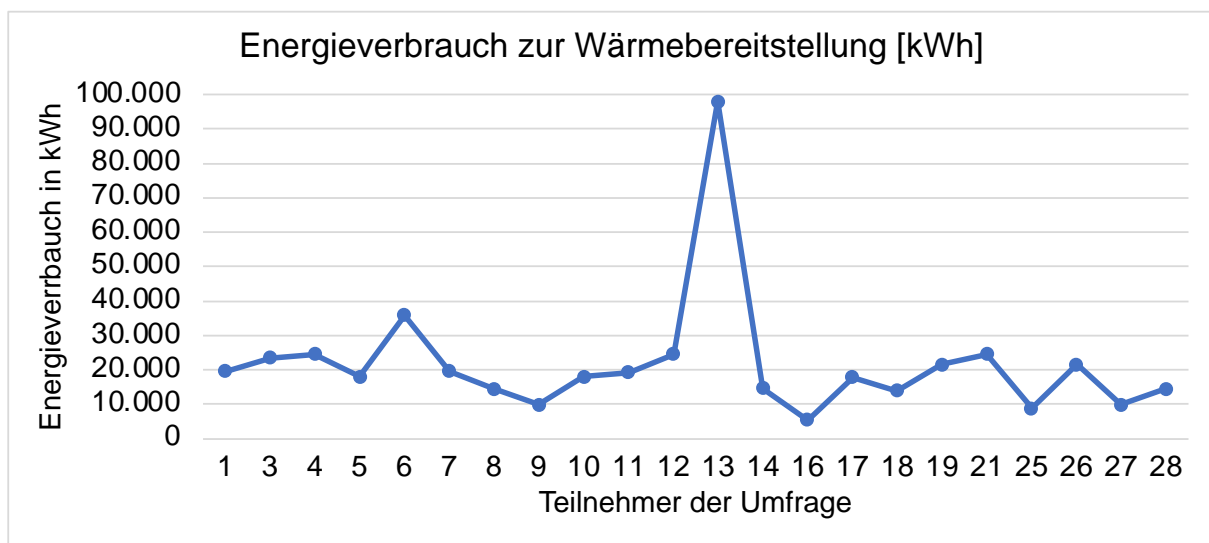


Abbildung 3: Energieverbrauch zur Wärmebereitstellung in Kreuzberg in kWh [4]

Nachdem der Energieverbrauch der Teilnehmer in Abbildung 3 ermittelt wurde ist in Abbildung 4 die geplanten Sanierungsmaßnahmen dargestellt.

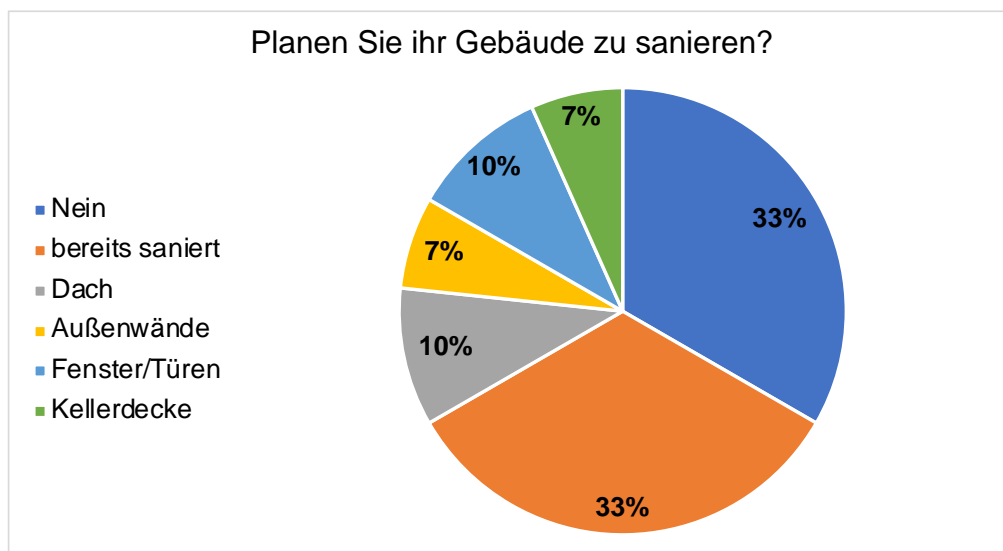


Abbildung 4: Sanierungsgrad/Maßnahmen der Gebäude in Kreuzberg [4]

Insgesamt ergibt sich aus Abbildung 4 eine hohe Bereitschaft der Teilnehmer aus Kreuzberg zur energetischen Sanierung ihrer Wohngebäude. 33 % haben ihr Gebäude schon saniert, was auch zum Teil mit den Flutschäden aus der Ahrtalflut 2021 zusammenhängt. Weitere 34 % haben schon konkrete Sanierungsmaßnahmen wie beispielsweise Dach, Außenwände, Fenster/Türen oder Kellerdecke geplant und wollen diese zeitnah umsetzen. Lediglich 33 % haben keine Maßnahmen geplant, was aber auch mit dem Wohnverhältnis als Mieter zusammenhängt.

Im Hinblick auf den Stromverbrauch wurde auch eine Umfrage durchgeführt. In Abbildung 5 sind die Ergebnisse dargestellt.

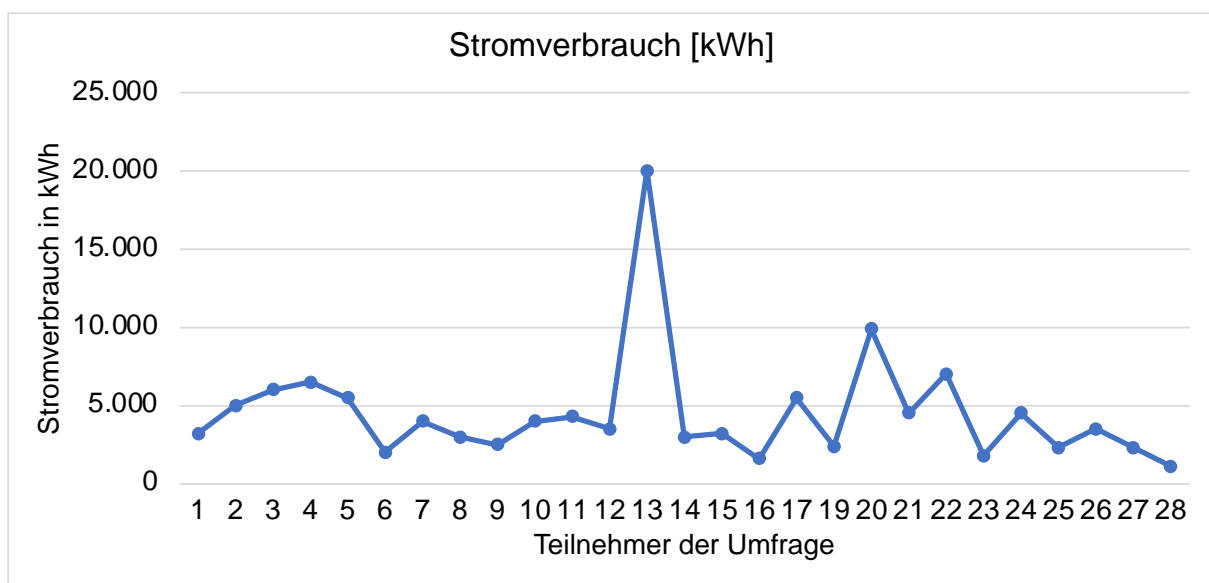


Abbildung 5: Stromverbrauch der Gebäude in Kreuzberg [4]

Auch hier ist wieder eine gleichmäßige Verteilung zu erkennen. Bis auf den Ausreißer mit einem Verbrauch von 20.000 kWh/a bewegen sich die anderen Teilnehmer der Umfrage zwischen 3.000 und 10.000 kWh/a.

Der Mittelwert liegt bei einem Stromverbrauch von 4.522 kWh/a.

Um abzuschätzen inwieweit die Bürger in Kreuzberg bereit wären eine PV-Anlage zu installieren oder bereits eine in Betrieb haben wurden sie nach diesem gefragt. In Abbildung 6 sind die Ergebnisse abgebildet. Es ist ersichtlich, dass 46 % der Teilnehmer keine PV-Anlage installiert haben und dieses auch nicht in Zukunft beabsichtigen. Im Gegenzug dazu besitzen bereits 29 % eine Anlage und weitere 25 % beabsichtigen eine zu installieren. Insgesamt ist also bei den Teilnehmern eine hohe Akzeptanz für den Einsatz von PV-Anlagen erkennbar.

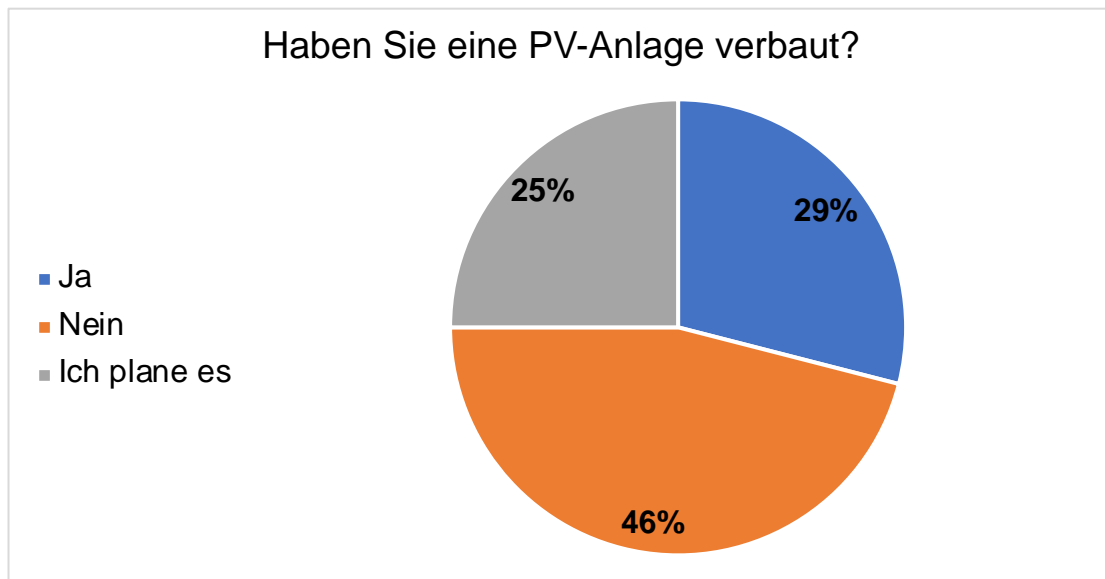


Abbildung 6: Interesse oder bereits installierte PV-Anlage [4]

Um die Einspeiseleistung der bereits bestehenden und geplanten PV-Anlagen zu identifizieren wurde die Leistung dieser abgefragt. In Abbildung 7 ist in blau die installierte PV-Leistung pro Teilnehmer und in orange die geplante Leistung aufgetragen. Es fällt dabei auf, dass der Mittelwert für installierte PV-Anlagen bei 7,73 kWp und für geplante Anlagen bei 7,3 kWp liegt. Insgesamt ist also die Größe der Anlagen bei circa 7 kWp.

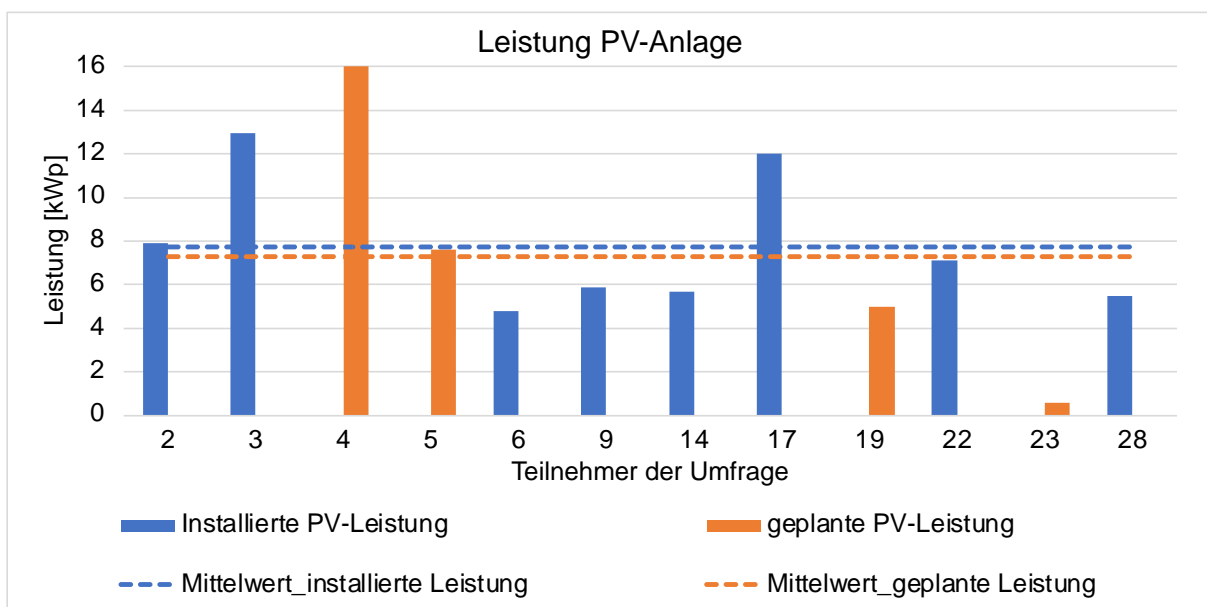


Abbildung 7: Leistung installierter und geplanter PV-Anlagen in Kreuzberg [4]

Da für ein Energiekonzept auch die Mobilität der Bürger in Kreuzberg entscheiden ist, wurden die Teilnehmer der Umfrage nach dem Besitz eines Elektro PKW befragt. Es ist in Abbildung 8 klar ersichtlich, dass 90 % keinen Elektro PKW besitzen und auch nicht planen einen anzuschaffen. Im Gegensatz dazu sind 7% der Befragten bereits

im Besitz eines solchen Fahrzeugs und 3% planen dieses in der kommenden Zeit zu sein. Insgesamt lässt sich aber feststellen, dass unter den 28 befragten Bürgern Elektromobilität nur eine sehr geringe Rolle spielt.



Abbildung 8: Elektromobilität in Kreuzberg [4]

### 3.2. Bewertung der Umfrageergebnisse in Kreuzberg

Nachdem die Ergebnisse der Umfrage in Kreuzberg dargestellt wurden, erfolgt im Anschluss eine Bewertung des energetisch Stand des Ortes Kreuzberg. Um die Übersichtlichkeit zu bewahren ist dieses in Tabelle 1 erkennbar. Die Bewertung erfolgt hinsichtlich der Klimaneutralität in den Kategorien Positiv, Neutral und Negativ. Es lässt sich anhand der Bewertung erkennen, dass die Bewohner von Kreuzberg sich im klaren für die notwendige Investition in erneuerbare Energien ist.

Tabelle 1: Bewertung/Zusammenfassung der Erkenntnisse aus der Umfrage in Kreuzberg

Kategorie	Bewertung (Positiv, Neutral, Negativ)
<b>Verwendete Energieträger</b>	<b>Positiv</b> , lediglich <b>26 %</b> der Teilnehmer verwenden fossile Energieträger.
<b>Wohnfläche</b>	<b>Neutral</b> der Mittelwert der beheizten Wohnfläche liegt bei <b>167 m<sup>2</sup></b> . In Rheinland-pfalz liegt der Durchschnitt bei 104,6 m <sup>2</sup> [5]
<b>Energiebedarf für Wärme</b>	<b>Neutral</b> , der durchschnittliche Energiebedarf liegt bei <b>21.715 kWh</b> . Durchschnitt in Deutschland für EFH liegt bei 25.000 kWh/a [6]
<b>Sanierungsgrad</b>	<b>Positiv</b> , 33 % der Gebäude sind bereits saniert und weitere 34 % haben aktuell konkrete Maßnahmen geplant.
<b>Strombedarf</b>	<b>Neutral</b> , der durchschnittliche Strombedarf liegt bei <b>4.522 kWh/a</b> . Ein 4 Personen Haushalt liegt im Durchschnitt bei 4.250 kWh/a [6]
<b>PV-Anlagen</b>	<b>Positiv</b> , <b>29 %</b> haben bereits eine PV-Anlage verbaut und <b>46 %</b> planen konkret eine. Hoher Zuspruch für Solarstrom.
<b>Leistung der PV-Anlage</b>	<b>Neutral</b> , die durchschnittliche Leistung liegt bei bestehenden bzw. geplanten Anlagen bei <b>7,73 bzw. 7,3 kWp</b> . Der Durchschnitt liegt bei 5 bis 10 kWp pro EFH [7]
<b>Elektromobilität</b>	<b>Negativ</b> , nur 7 % besitzen aktuell ein E-PKW und 3 % planen eine Anschaffung. Bisher ist die Akzeptanz sehr gering.
<b>Gesamtbewertung</b>	<b>Neutral bis leicht positiv.</b> Die Bewohner in Kreuzberg sind sich der Energiewende bereits bewusst und haben neben der Installation von PV-Anlagen bereits in die Sanierung der Wohngebäude investiert. Lediglich die E-Mobilität konnte sich bis jetzt noch nicht durchsetzen.

### 3.3. Aktuelle Energiebedarfsschätzung für Strom und Wärme

Nachdem eine Umfrage zum Energieverbrauch in Kreuzberg durchgeführt wurde, erfolgt nun eine Analyse des Energiebedarfs der Kommune. Dabei wird zwischen dem Strom und Wärmebedarf unterschieden.

### 3.3.1. Strombedarfsanalyse Aktuell und in Zukunft

Insgesamt wurden anhand der vorliegenden Pläne 201 Gebäude in Kreuzberg identifiziert. Der Ort Kreuzberg wird als ländliches Netzgebiet mit Einfamilienhäusern charakterisiert. Anhand der Kapazitätsplanung bei einem neuen Netzanschluss der Verteilnetzbetreiber aus dem Bericht zum Zustand und Ausbau der Verteilnetze 2021 wird die benötigte elektrische Leistung für den gesamten Ort abgeschätzt. Dabei sind aus dem Bericht die Kapazität pro Netzanschlusspunkt von privaten Wohngebäuden in Tabelle 2 aufgetragen. LE steht in diesem Fall für Ladeeinrichtung und WP für Wärmepumpe. Es ist zu erkennen, dass die Benötigte Kapazität pro Netzanschlusspunkt deutlich bis auf 12,1 kW ansteigt. Der Mittelwert beträgt aller Kapazitäten beträgt 8,35 kW.

Tabelle 2: Benötigte Kapazität pro Netzanschlusspunkt [8]

Netzanschlusstyp	Benötigte Leistung pro Anschluss [kW]	Benötigte Leistung in Kreuzberg [kW]
Keine LE	4,2	882
Keine LE + 4 kW WP	5,6	1.176
11 kW LE	8,1	1.701
11 kW LE + 4 kW WP	9,7	2.037
22 kW LE	10,4	2.184
22 kW LE + 4 kW WP	12,1	2.541
<b>Mittelwert</b>	<b>8,35</b>	<b>1.754</b>

Mithilfe von diesen Werten und der Anzahl der Wohngebäude ergeben sich die benötigten elektrischen Leistungen für den gesamten Ort in Tabelle 2. Hierbei ist wichtig anzumerken, dass es sich um die vom Netzbetreiber empfohlene bereitgestellte Kapazität handelt und nicht um einen tatsächlichen Verbrauch. Dafür müsste ein Gleichzeitigkeitsfaktor berücksichtigt werden.

Formel 1: Berechnung der benötigten Leistung in Kreuzberg

$$\text{Benötigte Leistung}_{\text{Kreuzberg}} = \text{Gebäudeanzahl} * \text{Netzanschlusstyp}$$

In Abbildung 9 ist die benötigte Leistung für den gesamten Ort Kreuzberg dargestellt. Da ausgehend von der Umfrage eine Durchdringung von Elektrofahrzeugen aktuell als sehr gering eingestuft wird und Wärmepumpen aktuell auch nicht sehr weit verbreitet

sind wird für den aktuellen Strombedarf ein Mittelwert aus den Kategorien keine LE, keine LE + 4 kW WP und 11 kW LE gebildet. Daher ergibt sich für den aktuellen Leistungsbedarf ein Wert von 1,25 MW. Durch eine weitere Durchdringung von E-Fahrzeugen und Wärmepumpen wird für die Zukunft ein Leistungsbedarf von 2,25 MW prognostiziert. Dieser Wert setzt sich aus den Mittelwerten der Anschlusstypen 1 kW LE + 4 kW WP, 22 kW LE und 22 kW LE + 4 kW WP zusammen.

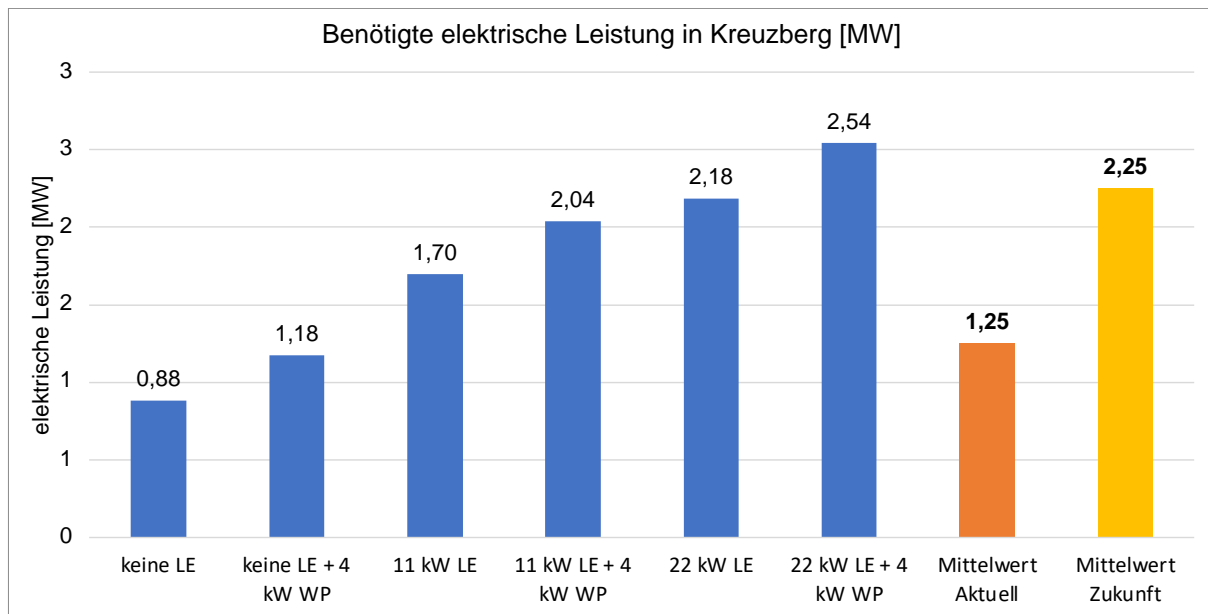


Abbildung 9: Abschätzung des aktuellen und zukünftigen Strombedarf in Kreuzberg [8]

### 3.3.2. Wärmebedarfsanalyse

Um eine detaillierte Wärmebedarfsanalyse zu erstellen, wurde im Rahmen einer umfassenden Analyse der Ortschaft Kreuzberg sowohl die Anzahl als auch die Grundfläche aller Wohngebäude erfasst. Wie bereits zuvor erwähnt, existieren in der besagten Ortschaft insgesamt 210 Wohngebäude. Anhand der vorliegenden Pläne wird die gesamte Grundfläche aller dieser Gebäude auf 23.581 m<sup>2</sup> geschätzt. Da die Gebäude in Kreuzberg unterschiedliche Geschossanzahlen aufweisen und es nicht genau festgestellt werden konnte, ob sowohl Kellerräume als auch Dachböden beheizt werden, wird für die Analyse eine durchschnittliche beheizte Geschosszahl von 1,5 angenommen.

Um den variierenden Modernisierungsgrad der Gebäude angemessen zu berücksichtigen, wurden diverse Studien mit den spezifischen Energiebedarfen zu Referenzgebäuden herangezogen. Es handelt sich um folgende Studien/Gesetze:

- Gebäudeenergiegesetz, Energieeffizienzklasse A+ bis H
- DENA-Gebäudereport, Altersklasse 1918 bis ab 2009



- Endenergie und Primärenergie
- Institut für Wohnen und Umwelt (IWU)
  - Modernisierungsgrad Level 1 bis Level 3
  - Altersklasse 1 bis 12

Um den Wärmebedarf zu ermitteln wird der Mittelwert aus jeder Studie gebildet und mit der zu beheizenden Wohnfläche multipliziert. Aus diesen Analysen ergibt sich der Wärmebedarf in Abbildung 10. Es ist zu erkennen, dass der Mittelwert aller Studien bei 4.254 MWh liegt. Weiterhin kann dieser Bedarf bei einer Modernisierung aller Gebäude auf Level 3 (IWU) auf 2.065 MWh gesenkt werden.

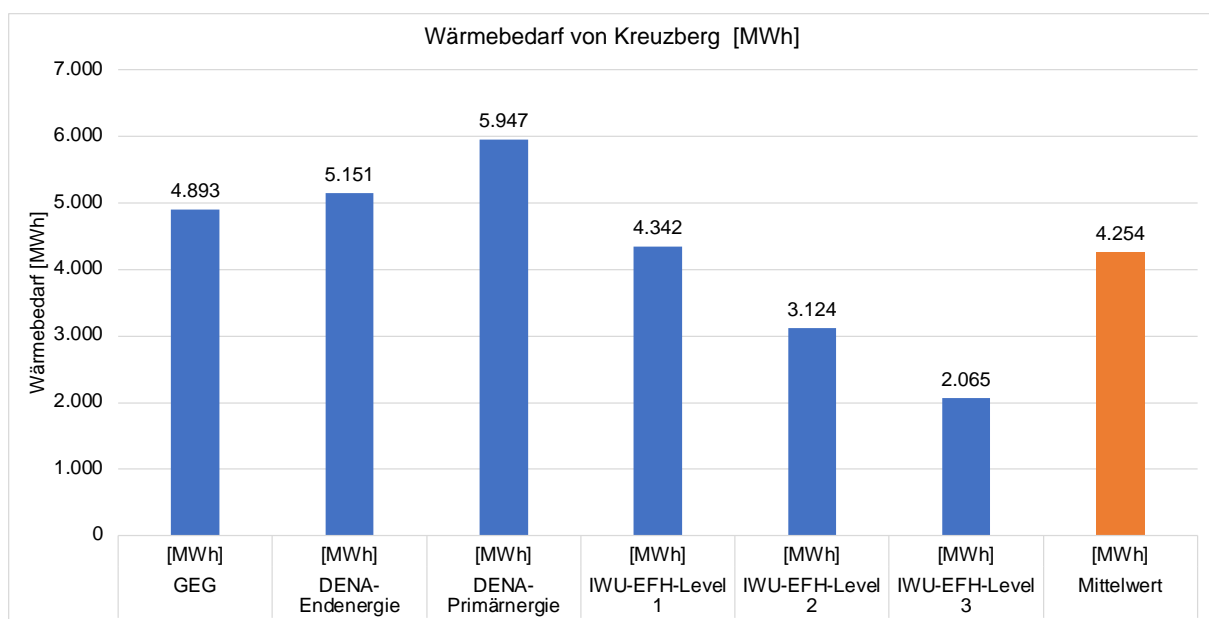


Abbildung 10: Wärmebedarf von Kreuzberg abgeschätzt nach den verschiedenen Altersklassen [9] [10] [11]

### 3.3.3. Maßnahmen zur Steigerung der Gebäudeeffizienz

Durch eine Steigerung der Gebäudeeffizienz kann der Wärmebedarf, der bereits ins Kreuzberg bestehenden Gebäude reduziert werden. Wie bereits in Abbildung 10 zu erkennen weichen die Referenzwerte der verschiedenen Studien deutlich voneinander ab.

Im Folgenden werden kurzfristige und langfristige Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in privaten Wohngebäuden dargelegt. Diese werden in insgesamt 3 verschiedenen Oberkategorien zusammengefasst. Es handelt sich dabei um:

- Anlagentechnik
- Dämmung von Bauteilen oder der Gebäudehülle
- Verhaltensänderung der Nutzenden und Energiemanagement

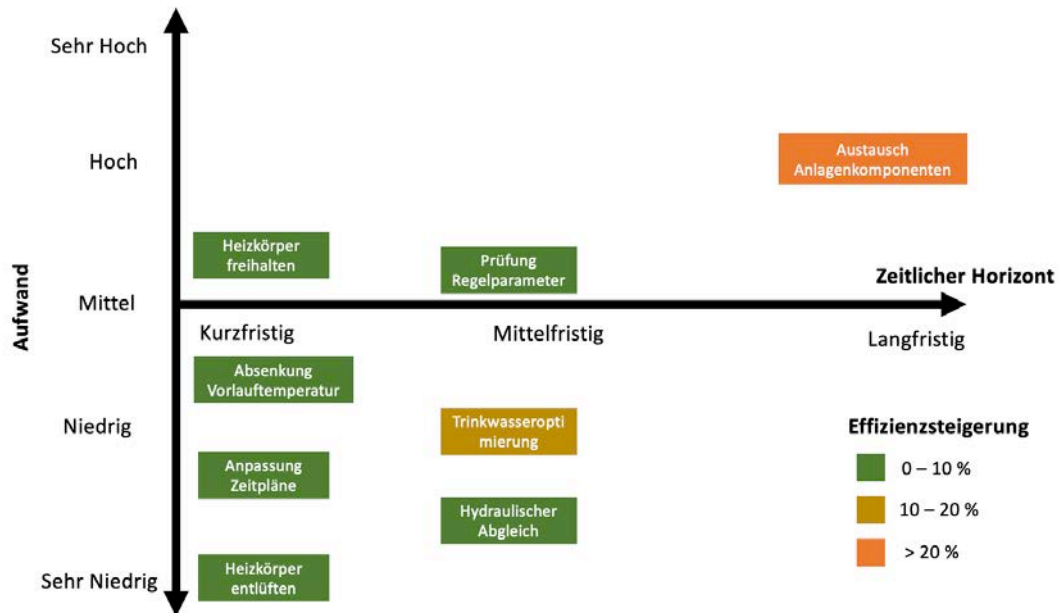


Abbildung 11: Bewertung der Maßnahmen zur Effizienzsteigerung bei der Anlagentechnik [12]

In Abbildung 11 ist eine Übersicht über Maßnahmen zur Effizienzsteigerung der Anlagentechnik für private Wohngebäude dargestellt. Zur Bewertung dieser Maßnahmen wird der zeitliche Horizont auf der X-Achse und der jeweilige Aufwand auf der Y-Achse abgetragen. Durch verschiedene Farbkodierungen lässt sich der Grad der Effizienzsteigerung ablesen. Ein Austausch der Anlagenkomponenten kann eine Effizienzsteigerung von über 20 % ermöglichen, allerdings ist diese Maßnahme langfristig ausgerichtet und mit hohem Aufwand verbunden. Für die Gebäude in Kreuzberg werden kurzfristige Maßnahmen, wie die Absenkung der Vorlauftemperatur, Anpassung der Zeitpläne, Freihalten von Heizkörpern und Entlüften der Heizkörper, zur Verbesserung der energetischen Effizienz dringend empfohlen. Dadurch können schon Effizienzsteigerungen von bis zu 10 % erreicht werden.

Bezüglich der Gebäudedämmung wurde eine analoge Analyse durchgeführt, deren Ergebnisse in Abbildung 12 dargestellt sind. Es ist hervorzuheben, dass eine umfassende Dämmung des Gebäudes – inklusive Fassade und Kellerdecke – die größte Effizienzsteigerung mit mehr als 20 % ermöglicht. Allerdings erfordern diese Maßnahmen sowohl einen hohen Aufwand als auch mittelfristige Planung. Alternativ können kurzfristige Maßnahmen mit geringerem Aufwand, wie die Dämmung von Armaturen und Befestigungsschellen, Rohrisolierung und Dämmung des Dachgeschosses, umgesetzt werden.

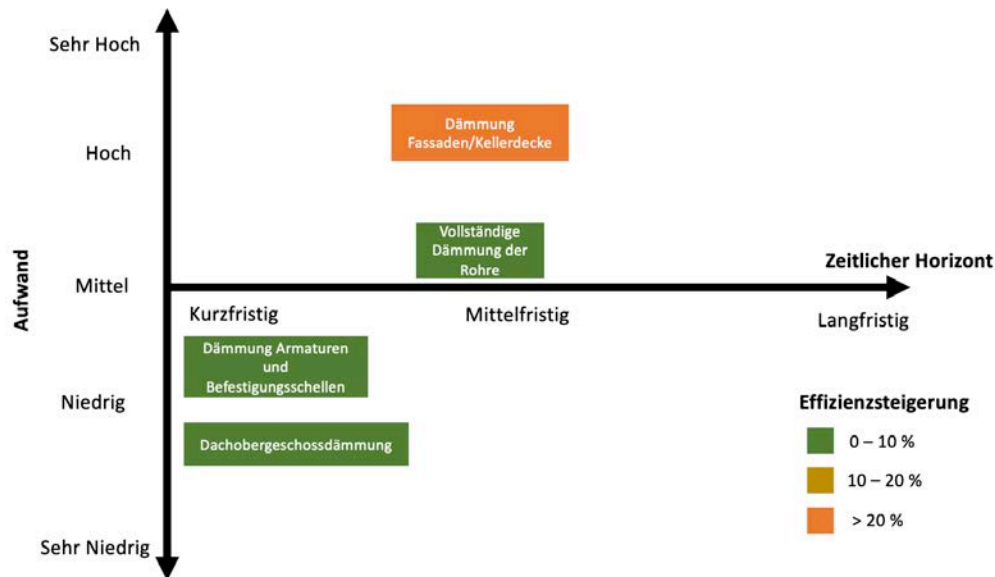


Abbildung 12: Bewertung der Maßnahmen zur Effizienzsteigerung in Bezug auf eine Dämmung [12]

Zuletzt wird die Analyse der Maßnahmen im Rahmen einer Verhaltensänderung der Nutzer sowie der Systemoptimierung vorgenommen. Durch Betriebsoptimierung, Einsatz von erneuerbaren Energien und eine für Kunden sichtbare Visualisierung des Verbrauchs lässt sich eine Effizienzsteigerung von über 20 % erzielen. Diese Maßnahmen werden jedoch als aufwendig und planungsintensiv eingestuft. Kurzfristig umsetzbare Maßnahmen, wie eine angepasste Lüftungspraxis und Monitoring, können bereits Einsparungen von bis zu 10 % bewirken. Die Bewertung ist in Abbildung 13 ersichtlich.

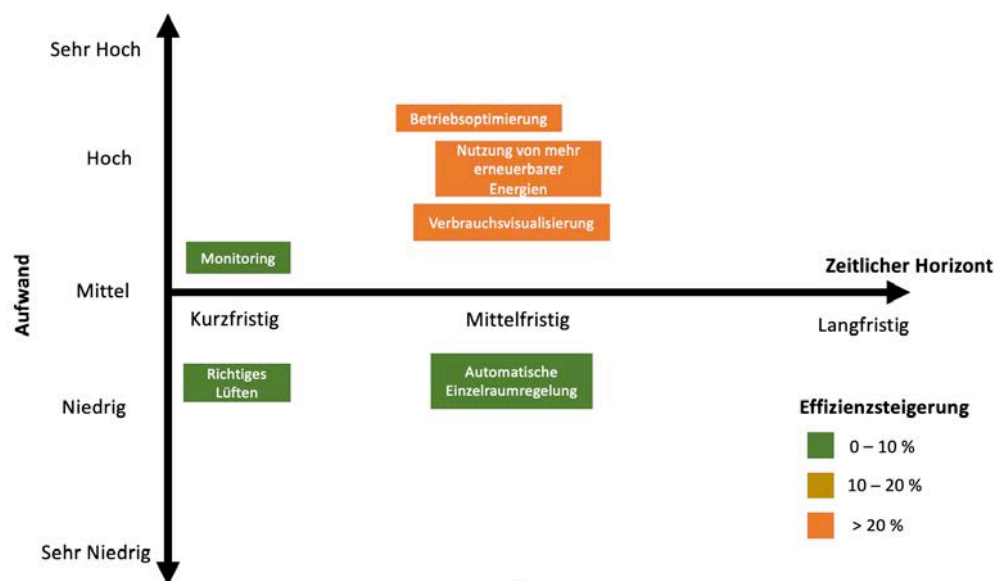


Abbildung 13: Bewertung der Maßnahmen zur Verhaltensänderung und der Systemoptimierung [12]

### **3.4. Bestehende Infrastruktur in Kreuzberg**

#### **3.4.1. Verkehrsinfrastruktur**

Die Analyse der Verkehrsinfrastruktur in Kreuzberg ist ein wichtiger Bestandteil des Energiekonzepts, um klimafreundliche Mobilität, wie Elektromobilität und Fahrradverkehr, zu fördern. Dabei ist die Erfassung der bestehenden Infrastruktur und des Verkehrsaufkommens entscheidend, um Verbesserungspotenziale zu identifizieren. Die Evaluierung von Maßnahmen wie Ladeinfrastruktur, Carsharing, öffentlicher Nahverkehr und Radwege ist notwendig, wobei technische Machbarkeit, Umweltauswirkungen, Wirtschaftlichkeit und gesetzliche Rahmenbedingungen zu berücksichtigen sind. Die Untersuchung des Einflusses der Maßnahmen auf das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung und die Zusammenarbeit mit Stakeholdern sind für eine erfolgreiche Umsetzung wesentlich. Insgesamt trägt die Analyse der Verkehrsinfrastruktur zur Entwicklung zielgerichteter Maßnahmen bei, um Energieverbrauch und Emissionen im Verkehrssektor zu reduzieren und die angestrebte Klimaneutralität zu unterstützen.

##### **3.4.1.1. Öffentlicher Nahverkehr**

Kreuzberg ist als Teil des Verkehrsverbundes Rhein-Mosel (VRM) gut an den öffentlichen Nahverkehr (ÖPNV) angeschlossen. Stündlich verkehrt ein Schienenersatzverkehr (SEV) in Richtung Ahrbrück, dem nächstgelegenen Standort für Einkaufsmöglichkeiten. Anschließend besteht eine direkte Busverbindung nach Adenau. Ebenfalls im Stundentakt fährt der SEV nach Bad Neuenahr-Ahrweiler, von wo aus Verbindungen zur Bahn nach Remagen, Bonn und Koblenz bestehen. Des Weiteren ist Rheinbach über die Linie 840 erreichbar, wobei auf dem Weg dorthin auch die Sommerrodelbahn, Kalenborn und Hilberath angefahren werden [13] [14].

Kreuzberg besitzt einen Bahnhof, welcher an das Schienennetz der Unteren Ahrtalbahn (Remagen – Ahrbrück) angeschlossen war. Dort verkehrte im Personennahverkehr die Linie RB 30 („Rhein-Ahr-Bahn“), die bis nach Bonn Hbf. fuhr. Durch die Flutkatastrophe wurden zahlreiche Bahnbrücken zerstört und der Bahnhof Kreuzberg ist daher noch nicht erreichbar.



### 3.5. Vorhandene erneuerbarer Energiequellen

Für die Bestandsanalyse ist die Berücksichtigung der vorhandenen erneuerbaren Energiequellen entscheidend. In Kreuzberg sind ausschließlich private Photovoltaik- und Solarthermieanlagen (STA) installiert, die in der folgenden Tabelle dargestellt werden. Diese Abschätzung basiert auf Luftaufnahmen (Stand: 2023, vgl. [17]) und durchschnittlichen PV-Modulleistungen von 250 Watt pro Modul. Bei den Solarthermieanlagen wird von einer Kollektorleistung von 500 Watt pro Quadratmeter ausgegangen, wobei ein ST-Modul etwa 2 m<sup>2</sup> aufweist.

Tabelle 3: Bestandsanalyse vorhandener EE-Anlagen in Kreuzberg

Gebäude	Modulanzahl [n]	PV-Leistung [kW <sub>el</sub> ]	ST-Leistung [kW <sub>th</sub> ]
Am Sahrbach 3	40	10,0	-
Im Mühlengarten 2	26	6,5	-
Im Roten Feld 3	32	8,0	-
Bahnhofstraße 7 B	0 + (5 STA)	-	2,5
Bahnhofstraße 7 A	70	17,5	-
In Dangeln 8	22 + (5 STA)	5,5	2,5
In Dangeln 1	27	6,75	-
Münstereifeler Str. 4	26	6,5	-
Im Vischeltal 6	44 + (3 STA)	11,0	1,5
Am Brunnen 13	8	2,0	-
Am Brunnen 25	14	3,5	-
Staufenberg 38	20	5,0	-
<b>Gesamt</b>	<b>334</b>	<b>82,25</b>	<b>6,5</b>

### 3.6. Bestehende Abfallentsorgung

Die Analyse der Abfallentsorgung in Kreuzberg ist ein wichtiger Aspekt eines nachhaltigen Energiekonzepts, um Potenziale zur Nutzung von Bioabfällen und Abfällen aus Haushalten, Landwirtschaft und Industrie als Biomasse zur Energieerzeugung zu identifizieren.

Kreuzberg wird von den Abfallwirtschaftsbetrieben des Landkreises Ahrweiler (AWB) versorgt. Grundsätzlich bieten diese die Abholung von Bioabfall an [18]. Allerdings haben Recherchen ergeben, dass nicht jeder Haushalt in Kreuzberg Bioabfälle abholen lässt. Die Bioabfalltonnen sind in Kreuzberg nicht kostenlos und werden entsprechend der Haushaltsgröße mit einem geringen Aufschlag bepreist [19]. Die AWB betreibt nach aktuellen Informationen keine Biogasanlage mit den Bioabfällen der Gemeinden. Allerdings gibt es ein Projekt zur Nutzung von Deponiegasen mittels eines BHKWs an der Hausmülldeponie Remagen-Oedingen und Brohl-Lützing [20].

In der Kommune Kreuzberg ist daher bisher noch keine direkte Verwertung von Bioabfällen zur Energiegewinnung etabliert. Um das Potenzial dieser Ressource auszuschöpfen und einen Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung der Gemeinde zu leisten, müsste die zuständige Abfallwirtschaftsbetrieb (AWB) in Zukunft in den Bau und Betrieb einer Biogasanlage investieren. Durch die Umwandlung von Bioabfällen in Biogas könnten wertvolle Energieträger gewonnen werden, die zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt werden können. Die Implementierung einer solchen Anlage würde nicht nur zu einer verbesserten Abfallverwertung beitragen, sondern auch zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen und somit zur Erreichung der Klimaneutralität in Kreuzberg.

## 4. Potentialanalyse

Die Kommune Kreuzberg steht vor der Herausforderung, ihre Energieversorgung, Mobilität und Wärmeversorgung nachhaltig und klimaneutral zu gestalten. Um die bestmöglichen Lösungen für diese kommunalen Aufgaben zu identifizieren und effektiv umzusetzen, ist eine umfassende Potentialanalyse für erneuerbare Energien, Mobilität, Speicherung und Wärmeversorgung von entscheidender Bedeutung. Diese Analyse soll die vorhandenen Ressourcen, Möglichkeiten und Herausforderungen in Kreuzberg aufzeigen und als Grundlage für die Entwicklung zukunftsorientierter

Strategien und Maßnahmen dienen. Durch die systematische Untersuchung von Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken in den genannten Bereichen wird es möglich, das vorhandene Potenzial optimal zu nutzen und einen langfristigen Fahrplan für eine klimaneutrale, umweltfreundliche und nachhaltige Kommune Kreuzberg zu erstellen.

#### **4.1. Erneuerbare Energien**

Bei der Analyse des Potentials für erneuerbare Energien werden neben den geografischen und klimatischen Gegebenheiten von Kreuzberg ebenfalls mögliche Konzepte für den Einsatz erneuerbarer Energien untersucht.

##### **4.1.1. Photovoltaik**

Die Photovoltaik stellt eine nachhaltige, kostengünstige und saubere Technologie zur Erzeugung von elektrischer Energie dar. Im Folgenden wird das PV-Potential von Kreuzberg analysiert und unterschiedliche PV-Konzepte werden auf ihre Anwendung in Kreuzberg untersucht.

##### **PV-Potential**

Das standortbedingte PV-Potential von Kreuzberg wird hauptsächlich durch die zur Verfügung stehenden Dachflächen von Wohngebäuden bestimmt. Geeignete Freiflächen sind aufgrund der Tallage, des Naturschutzes und der Hochwassergefahr kaum erschließbar.

Die Ermittlung des PV-Potentials wurde mit dem Solarkataster des Landes Rheinland-Pfalz durchgeführt [21]. Die Datensammlung erfolgte dabei hausscharf, um bei zukünftigen Berechnungen präzise Ergebnisse zu erlangen.



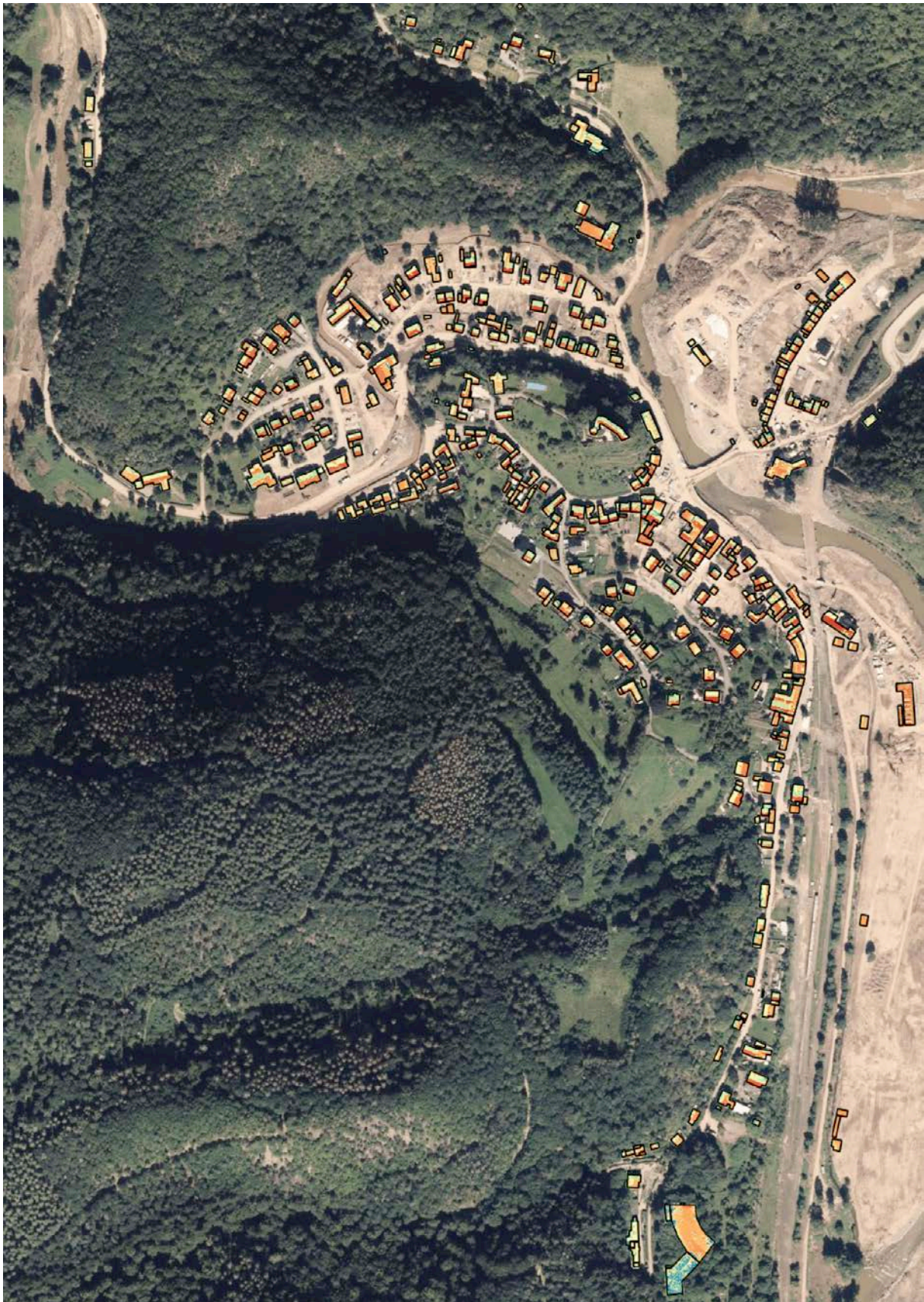


Abbildung 15: Solarpotential des Ortsteil Kreuzberg. Ermittelt mit dem Solarkataster RLP [21].



Die gesammelten Rohdaten der Einstrahlung und der Dachfläche konnten in einer Tabellenkalkulation in die entsprechenden installierbaren Leistungen und jährlichen Erträge umgerechnet werden. Dafür war die Definition einiger Annahmen notwendig:

Tabelle 4: Annahmen für die Berechnung des PV-Potentials

Annahmen PV-Potential	
Spezifische Modulleistung [W/m <sup>2</sup> ]	200 W
Dachflächen-Nutzungsgrad [%]	70 %
Modulwirkungsgrad [%]	20 %
Wirtschaftliche Mindestleistung [W] <sup>1</sup>	4.000

Ferner wurden ausschließlich Dächer mit einer Süd-, Flach oder West-Ost-Ausrichtung betrachtet. Dabei berücksichtigt das Solarkataster RLP bereits Verschattungen und ungeeignete Dachflächen. Es konnten 210 Gebäude mit einer Dachfläche in Kreuzberg identifiziert werden. Die Ergebnisse für Kreuzberg werden in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 5: PV-Potential für Kreuzberg Übersicht

	PV-Leistung [kW]	Ertrag [MWh/a]	Volllaststunden [h/a]
Maximales Potential (alle Ausrichtungen)	3.955,4	3.576,4	904
Wirtschaftliches Potential (Süd, West-Ost, Flach, P > 4 kW)	2.241,3	2.102,5	938

Anteil Süd-Ausrichtung [%]	62 %
Anteil Ost-West-Ausrichtung [%]	38 %

<sup>1</sup> Das wirtschaftliche Potential wird verwendet, um aufzuzeigen, dass Dachfläche mit einer Nordausrichtung zwar Potential für die Installation von PV-Modulen bieten, aber aufgrund der geringen Einstrahlung als wirtschaftlich unrentabel erscheinen. Ferner werden Potentiale unter 4 kWp, in Kreuzberg oftmals im Bereich von 1-2 kWp ebenfalls als wirtschaftlich unrentabel eingeschätzt, da dessen Erschließungskosten mit Wechselrichtern, Netzanschluss, Dach-Installationskosten und Elektroarbeiten unverhältnismäßig hoch wären.

## **PV-Freiflächen**

Freiflächen-Photovoltaikanlagen sind großflächige Solarstromanlagen, die auf unbebauten Flächen installiert werden und durch ihre Größe einen wichtigen Beitrag zur umweltfreundlichen Stromversorgung leisten können. Außerdem können sie kostengünstiger umgesetzt werden als viele einzelne und private PV-Dachanlagen.

In Kreuzberg besteht die Problematik, dass nur begrenzt Platz für ein Freiflächen-Photovoltaiksystem zur Verfügung steht, da die wenigen unbebauten Flächen gemäß des Wiederaufbaukonzeptes für Neubaugebiete in Betracht gezogen werden. Außerdem wird durch die Hanglagen und die Naturschutzgebiete die Erschließung geeigneter Flächen zusätzlich erschwert. Die freien Flächen in der Ahraue sind stark hochwassergefährdet und kommen daher für eine PV-Anlage nicht in Betracht.

Aufgrund dieser Problematik müssen alternative Konzepte zur Nutzung von Photovoltaik analysiert werden.

## **PV-Dachanlagen auf privaten Gebäuden**

In Kreuzberg stellt die Installation von Photovoltaikanlagen auf privaten Dächern eine vielversprechende Möglichkeit zur Erzeugung erneuerbaren Stroms dar. Aufgrund des begrenzten Platzes für Freiflächen-Photovoltaiksysteme bietet die Nutzung von Dachflächen eine effiziente Alternative. Die Installation von Solaranlagen auf privaten Gebäuden ermöglicht es den Bürgern, ihren eigenen umweltfreundlichen Strom zu erzeugen.

In der PV-Potentialanalyse (4.1.1.1.) wurde das Potential für diese Dächer bereits dargestellt. Nach momentanem Erkenntnisstand eignet sich die PV auf privaten Wohngebäuden damit am besten für die erneuerbaren Stromerzeugung in Kreuzberg.

## **PV-Dachanlagen auf öffentlichen Gebäuden**

PV-Anlagen auf öffentlichen Gebäuden bieten ebenfalls die Möglichkeit der erneuerbaren Stromerzeugung. In Kreuzberg konnten allerdings bisher nur wenige nutzbarer öffentliche Gebäude identifiziert werden. Diese werden im Folgenden dargestellt:

Tabelle 6: PV-Potential auf öffentlichen Gebäuden

Öffentliche Gebäude	Installierbare PV-Leistung [kW]
Feuerwehr Kreuzberg	31,92
Bahnhof Kreuzberg	23,66

Eine Nutzung dieser Flächen könnte in Betracht gezogen werden. Dabei kann die Nutzung öffentlicher Flächen auch eine Vorbildfunktion innehaben und die Bürger zu gleichen Handlungen bewegen.

### **PV-Anlagen auf Parkplätzen & Fahrradstellplätzen**

Photovoltaik-Anlagen können ebenfalls in die Überdachung von Parkplätzen oder Fahrradstellplätzen integriert werden. Diese flachen und großen Flächen eignen sich damit sehr gut.

In Kreuzberg sind insbesondere die Parkplätze am Bahnhof für ein solches Konzept geeignet. Auch der Ausbau der Fahrradinfrastruktur könnte dieses Konzept mit einbeziehen. Überdachte Fahrradstellplätze können für den Fahrradtourismus attraktiv sein.

## Übersicht

In der nachstehenden Tabelle werden die einzelnen Konzepte hinsichtlich ihrer Potentiale, Machbarkeit, Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit und sozialer Akzeptanz für Kreuzberg beschrieben.

*Tabelle 7: Übersicht der einzelnen PV-Konzepte für Kreuzberg*

Konzept	Potential	Machbarkeit	Wirtschaftlichkeit	Umweltverträglichkeit	Akzeptanz
PV-Freiflächen	--	+	++	-	-
PV-Dachanlagen (privat)	++	++	+	++	++
PV-Dachanlagen (öffentlich)	-	++	+	++	++
PV-Anlagen (Parkplätze & Fahrradstellplatz)	-	++	+	++	++

### 4.1.2. Windenergie

Die Windenergie stellt ebenfalls eine erneuerbare Energiequelle dar. Insbesondere in Kombination mit PV-Anlagen können diese beiden Technologien den jährlichen Strombedarf einer Kommune wie Kreuzberg gut bedienen. Dies liegt vor allem an der sich ergänzenden Stromerzeugung über das Jahr. Dabei hat die PV ihren Ertrag hauptsächlich in den sonnigen Sommermonaten und die Windenergie in den windigen Wintermonaten. Bei Windenergieanlagen handelt es sich allerdings um deutlich größere Stromerzeuger als PV-Anlagen. Damit sind die Investitionen bei der Windenergie auch deutlich höher.

#### Wind-Potential

Windenergieanlagen können i.d.R. nicht in Naturschutzgebieten umgesetzt werden. Außer der Standort befindet sich in einem sogenannten Windenergiegebiet (Windvorranggebieten) [22]. Daher ist die Analyse der Schutzgebiete um Kreuzberg von besonderer Bedeutung.

Im Folgenden werden die Naturschutzgebiete aus dem LANIS, dem Geoportal der Naturschutzverwaltung Rheinland-Pfalz für Kreuzberg abgerufen [23].

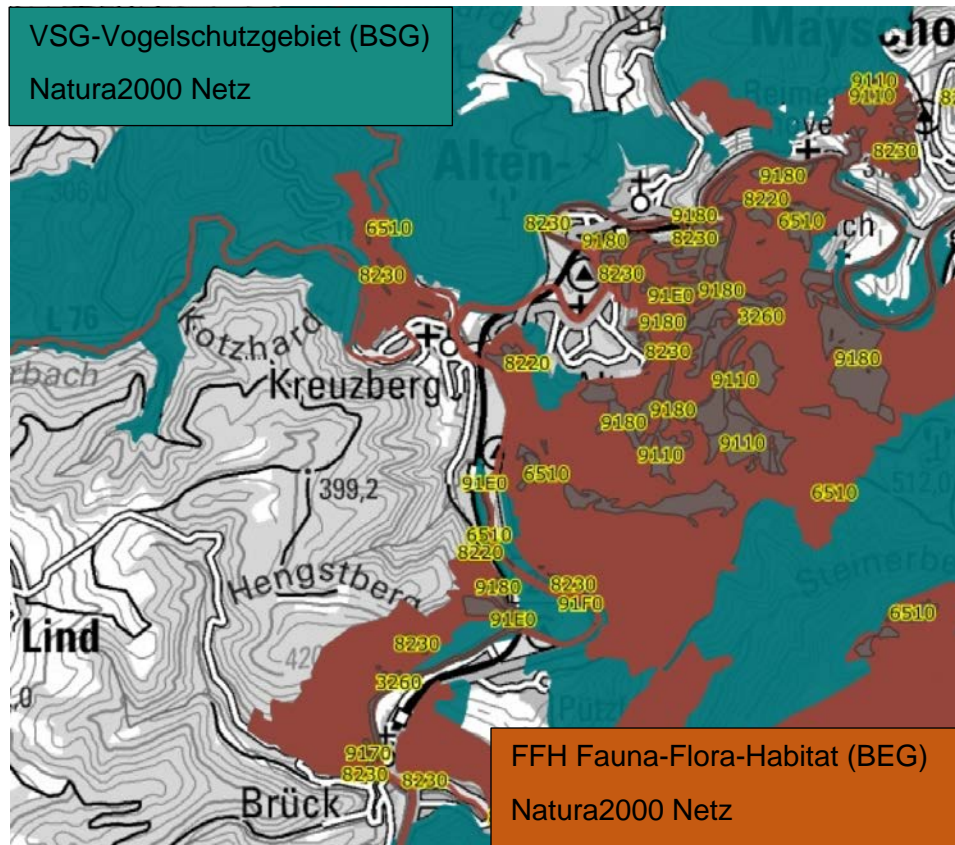


Abbildung 16: Biotop-/Artenschutzgebiet, Natura2000 Netz, Kreuzberg [24]

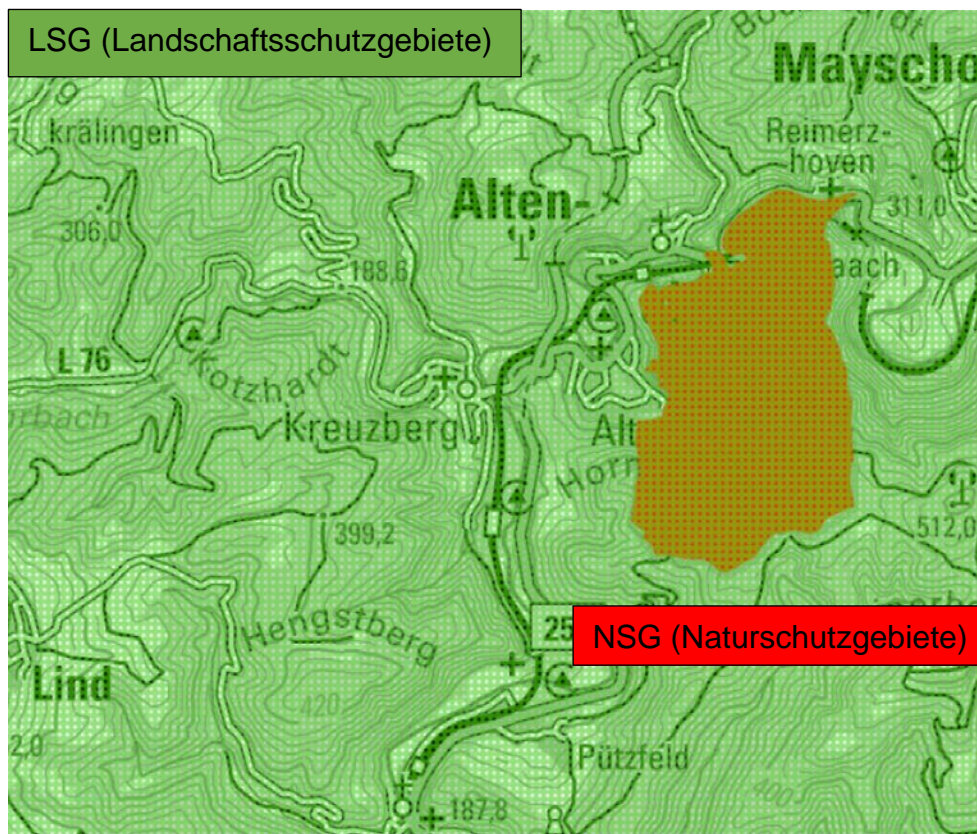


Abbildung 17: Nationale Schutzgebiete, Kreuzberg [24]



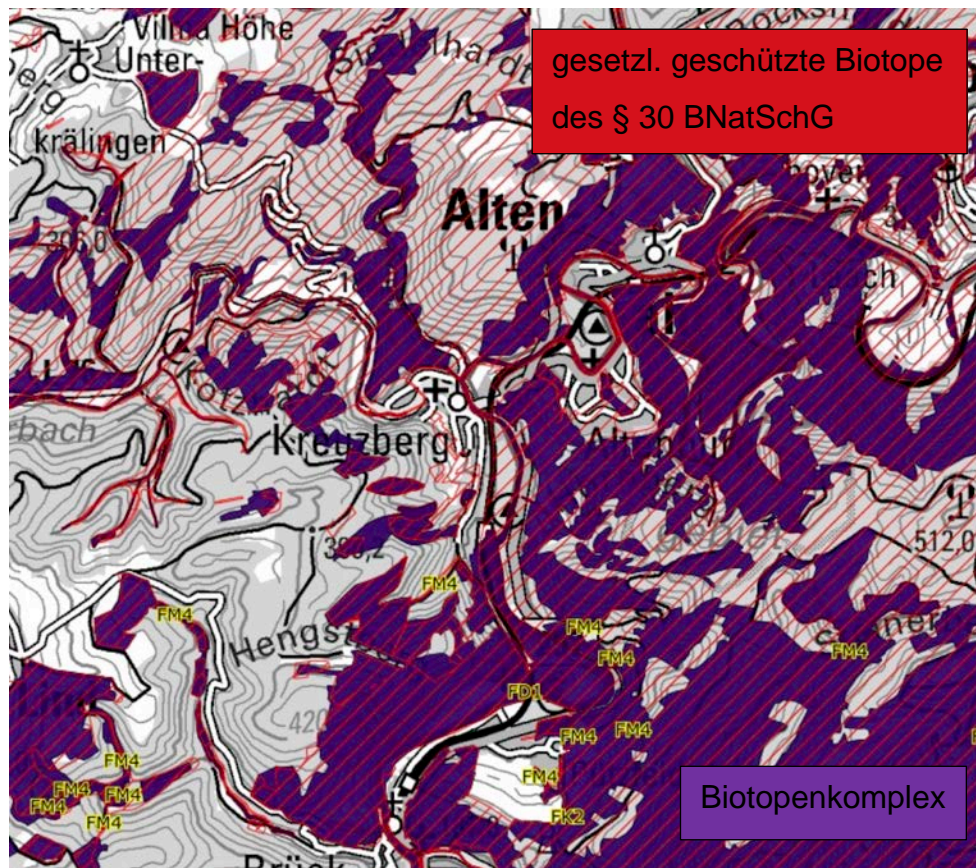


Abbildung 18: Biotopkataster, Kreuzberg [24]

Bisher (Mai 2023) gibt es noch keine ausgewiesenen Flächen für die Nutzung von Windenergie in Rheinland-Pfalz, wie es die Novellierung des Bundesnaturschutzgesetzes (Ab 1.02.2023 in Kraft) vorschreibt [25]. Daher muss davon ausgegangen werden, dass Windenergieanlagen im Kreis Altenahr und in Kreuzberg aufgrund der zahlreichen Schutzgebiete nicht genehmigungsfähig sind.

Ferner erschweren die geografischen und vor allem topologischen Eigenschaften der Region die Nutzung der Windenergie. Außerdem kann davon ausgegangen werden, dass eine Genehmigung vor dem Hintergrund der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes in der Kulturregion Ahrtal unwahrscheinlich ist.

Damit fällt die Windenergie als erneuerbare Erzeugungstechnik für das Energiekonzept der Kommune Kreuzberg weg.

#### 4.1.3. Bioenergie

In der Bioenergie gibt es verschiedene Konzepte zur Wärme- und Stromerzeugung. Außerdem ist das lokale Potential der Nutzung von Bioenergie sehr unterschiedlich. Diese Aspekte werden für den Ortsteil Kreuzberg im Folgenden analysiert.

## Bioenergie-Potential

Für das Potential der Bioenergie ist insbesondere die Analyse der Verfügbarkeit dieser Ressource in der Region um Kreuzberg entscheidend. Folgende Quellen für biogene Brennstoffe gibt es:

Tabelle 8: Darstellung der Bioenergie-Potentiale

Art der Biomasse	Beschreibung	Verfügbarkeit (Kreuzberg)
Ungezielte forstliche Erzeugung	Feuer- und Altholz aus Wäldern zur privaten Nutzung	Begrenzte Verfügbarkeit
Forstwirtschaftliche Erzeugung	Nutzholz & minderwertiges Holz als Brennholz / Herstellung von Pellets & Hackschnitzeln	Ggfs. verfügbar (Falls Forstwirtschaft existiert)
Forstwirtschaftliche Nebenprodukte	Nutzung von Sägemehl, Restholz, Lignin und organischen Reststoffen aus verschiedenen Industrien	Ggfs. verfügbar (Falls Forstwirtschaft existiert)
Landwirtschaftlicher Anbau	Anbau von Öl-, Stärke- und Zuckerpflanzen (z.B. Mais, Raps). Nutzung von landwirtschaftlichen Nebenprodukten wie Stroh	Keine Verfügbarkeit (in der näheren Umgebung)
Landwirtschaftliche Produktion von mehrjährigen Pflanzen	Anbau von schnellwüchsigen Pflanzen (z.B. Miscanthus, Weiden, Pappeln)	Keine Verfügbarkeit (in der näheren Umgebung)
Organische Abfälle	Nutzung von Bioabfällen, Klärschlamm, Hausmüll, Landschaftspflegematerial	Ggfs. Verfügbar (zu überprüfen)
Getrennt gesammeltes Altholz	Nutzung von Altholz aus Industrie, Bau und Handwerk	Keine Verfügbarkeit (keine Betriebe in Kreuzberg)
Importierte Biomasse	Nutzung von Holz-Pellets oder Biogas aus anderen Gebieten	Verfügbar
Sonstiges	Verwendung von Torf, Tran und Tiermehl	Keine Verfügbarkeit

Es müsste ermittelt werden, ob es um Kreuzberg Forstwirtschaft gibt und in welchem Maße sie überhaupt für die energetische Nutzung in Betracht kommt. Zunächst kann



davon ausgegangen werden das die Forstwirtschaft als Quelle für Biomasse für Kreuzberg entfällt.

Innerhalb der Gemarkungsgrenzen von Kreuzberg existieren keine landwirtschaftlich genutzten Flächen (siehe Abb. 4). Daher fällt die energetische Nutzung dieser für Kreuzberg weg.

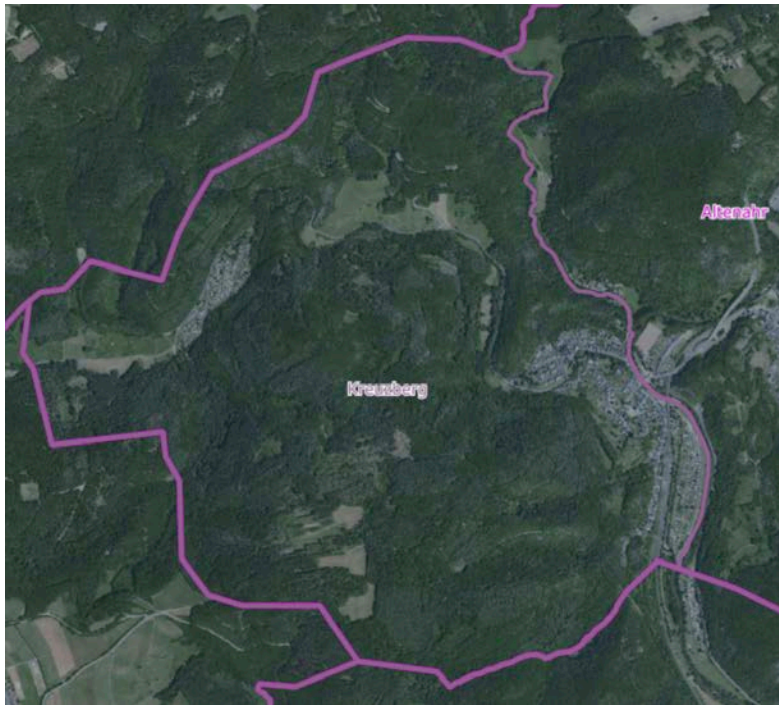


Abbildung 19: Gemarkungsgrenzen von Kreuzberg [24]

Organische Abfälle bieten für Kreuzberg eine potentielle Möglichkeit der Bioenergienutzung. Im Kapitel 2.5. wurde dies bereits beleuchtet. Da Kreuzberg von den Abfallwirtschaftsbetrieben des Landkreises versorgt wird, erscheint eine lokale Nutzung der biogenen Abfälle unrealistisch [20]. Ferner wird die erzeugte Menge an Abfällen wahrscheinlich nicht für den Betrieb einer Biogasanlage ausreichen. Daher käme nur eine regionale Biogasanlage der AWB infrage. An dieser könnte sich Kreuzberg beteiligen. In dieser Hinsicht ist ein integriertes Energiekonzept für die gesamte Gemeinde Altenahr für die Bioenergienutzung passender.

Der Import von biogenen Energieträgern wie Holz-Pellets oder Biogas ist für Kreuzberg grundsätzlich möglich. Dabei sollte die Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit näher betrachte werden. Die Konzepte zur Nutzung solcher Energieträger wird in dem folgenden Kapitel dargestellt.

## **Bioenergie-Konzepte**

Es gibt zahlreiche Konzepte zur Nutzung von Bioenergie. In diesem Kapitel wird der Fokus auf die Nutzung von importierten biogenen Energieträgern gelegt, da diese für Kreuzberg die bisher einzige Nutzungsmöglichkeit im Ort darstellen.

### **Blockheizkraftwerk (BHKW)**

Ein BHKW ist eine dezentrale Anlage zur Erzeugung von Wärme und Strom aus Biogas. Dabei wird das Biogas in einem Motor verbrannt, welcher einen Generator antreibt und Strom erzeugt. Mit einer Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird die entstehende Wärme abgeführt und beispielsweise für ein Nahwärmenetz genutzt. Ein BHKW ist steuerbar und kann damit bedarfsrecht eingesetzt werden [26].

Für Kreuzberg könnte ein BHKW mit einer Leistung von 1 bis 2 MW ausreichen, um einen Großteil des örtlichen Strom- und Wärmebedarfs klimaneutral zu decken. Besonders in den dunklen Wintermonaten wäre ein BHKW eine passende Ergänzung zu privaten PV-Anlagen. Die Kombination dieser Technologien erscheint als vielversprechendes Konzept für eine klimaneutrale Versorgung von Kreuzberg und wird zu einem späteren Zeitpunkt näher erläutert.

Für die Nutzung der Wärme eines BHKWs in privaten Wohngebäuden müsste ein Nahwärmenetz in Kreuzberg installiert werden. Dieses Vorhaben wurde bereits verfolgt, aber nach der Prüfung durch eine Fachfirma eingestellt. Die Problematik lag nach Aussagen der Firma in der Topologie Kreuzbergs. Die Hanglagen erschweren ein Nahwärmenetz. Ohne ein Nahwärmenetz wäre ein BHKW kaum geeignet.

### **Pellet-Heizsysteme**

Pellet-Heizungen können in privaten Wohngebäuden durch die Verfeuerung von Holz-Pellets klimaneutrale Wärme bereitstellen. Sie besitzen einen hohen Wirkungsgrad und können platzsparend eingebaut werden. Zu beachten ist, dass Pellet-Heizungen in der Anschaffung und Installation teurer sein können als herkömmliche Öl- oder Gasheizungen, und der Preis für Pellets von Angebot und Nachfrage beeinflusst wird. Dennoch können Pellet-Heizungen auf lange Sicht eine kosteneffiziente und umweltfreundliche Heizoption darstellen. Für Kreuzberg wird diese Heizoption neben einem Nahwärmenetz und Wärmepumpen berücksichtigt.

#### 4.1.4. Wasserkraft

Die Wasserkraft stellt eine regenerative Energiequelle dar und kann zur Stromerzeugung genutzt werden. Allerdings werden spezielle geografische und hydrologische Gegebenheiten für eine effiziente Nutzung benötigt. Für Kreuzberg wird dieses Potential im nachstehenden beschrieben.

#### Wasserkraft-Potential

Kreuzberg wird von der Ahr und den Bächen Sahrbach und Vischelbach durchflossen. Für eine effiziente Nutzung der Wasserkraft ist entweder ein starkes Gefälle und ein großer Höhenunterschied oder ein hoher Wasserstrom erforderlich.

Die beiden Bäche weisen dabei einen zu geringen Wasserstrom und kein hohes Gefälle auf und sind damit kaum energietechnisch nutzbar.

Die Ahr weist einen höheren Volumenstrom auf. Folgende hydrologischen Werte besitzt die Ahr:

*Tabelle 9: Messdaten Altenahr, Ahr Abfluss, 1946 - 2019, Landesamt für Umwelt RLP [27]*

Abfluss in m <sup>3</sup> /s	Winter-Halbjahr	Sommer-Halbjahr	Abflussjahr
NQ (Niedrigster bekannte Abfluss)	692 l/s	292 l/s	292 l/s
MNQ (Mittlerer Niedrigwasserabfluss)	1800 l/s	934 l/s	913 l/s
MQ (Mittlerer Abfluss)	10,2 m <sup>3</sup> /s	3,52 m <sup>3</sup> /s	6,86 m <sup>3</sup> /s
MHQ (Mittlerer Hochwasserabfluss)	83 m <sup>3</sup> /s	46,7 m <sup>3</sup> /s	90,3 m <sup>3</sup> /s
HQ (Höchster Hochwasserabfluss)	214 m <sup>3</sup> /s	236 m <sup>3</sup> /s	236 m <sup>3</sup> /s

Bei einem Wasserkraftwerk sollte zwischen Laufwasserkraftwerken und Speicherkraftwerke. Speicherkraftwerke verfügen über einen Stausee und können Wasser bei Bedarf aus größeren Höhen durch eine Turbine zur Stromerzeugung schicken. Eine Stauanlage und die Veränderung des Wasserhaushaltes des Flusses haben erhebliche Umweltauswirkungen und daher kommt ein solches Wasserwerk für

die Ahr nicht in Betracht. Ein Laufwasserkraftwerk hingegen nutzt einen hohen Volumenstrom und benötigt daher keine großen Höhenunterschiede.

Im Folgenden werden zur Einordnung der möglichen Leistungsfähigkeit eines Laufwasserkraftwerkes in der Ahr einige exemplarische Laufwasserkraftwerke der EnBW mit für Kreuzberg passenden Leistungen dargestellt:

*Tabelle 10: Technische Daten, Laufwasserkraftwerke, EnBW [28]*

<b>Werk</b>	<b>Mooshausen (Iller)</b>	<b>Kehl (Rhein)</b>	<b>Esslingen (Neckar)</b>
Mittleres Nutzgefälle	6,1 m	5 m	5,2 m
Durchfluss	9 m <sup>3</sup> /s	35 m <sup>3</sup> /s	30 m <sup>3</sup> /s
Turbinen	1 Rohrturbinen	1 Kaplan turbine	2 Kaplan turbinen
Maximalleistung	0,45 MW	1,2 MW	1,3 MW
jährlicher Ertrag	2,6 GWh	8,2 GWh	7,1 GWh
Strom für	720 Haushalte	2.300 Haushalte	2.300 Haushalte

Beim Vergleich der Durchflussmengen der Laufwasserkraftwerken der EnBW mit dem jährlichen mittleren Abfluss (MQ) der Ahr mit 6,86 m<sup>3</sup>/s wird deutlich, dass das Werk bei Mooshausen die passendste Übereinstimmung besitzt. Bei diesem Wasserkraftwerk wird die Wasser von der Iller abgezweigt und durch einen parallelen Kanal geschickt, in welchem sich eine Kaplan-Rohrturbine befindet.

Für die Versorgung der etwa 210 Haushalte in Kreuzberg, wären damit lediglich folgende technischen Anforderungen an ein Wasserkraftwerk gegeben. (Annahme: Gleiche Bedingungen wie Mooshausen runterskaliert. So kleine Rohrturbinen existieren).

Tabelle 11: Technische Daten für das Wasserkraftwerk an der Ahr

Werk	Konzept (Ahr)
Mittleres Nutzgefälle	6,1 m
Min. Durchfluss	2,65 m <sup>3</sup> /s
Turbinen	1 Rohrturbine
Maximalleistung	0,13 MW (130 kW)
jährlicher Ertrag	0,75 GWh
Strom für	210 Haushalte

Ein Laufwasserkraftwerk mit diesen technischen Daten könnte damit Kreuzberg mit Strom versorgen. Dabei müssten etwa 40 % der Ahr durch die Turbine geschickt werden. Ferner müsste sie wie in diesem Konzept eine Fallhöhe von 6,1 m aufweisen. Dafür müsste von der Ahr, ähnlich wie in Mooshausen, die entsprechende Wassermenge abgezweigt und parallel so umgeleitet werden, dass eine Fallhöhe von 6,1 m erreicht wird.

Der jährliche Ertrag von 750 MWh könnte die 210 Haushalte Kreuzbergs bilanziell vollständig mit Strom versorgen (Pro Haushalt 3.570 kWh/a). Bei einer Maximalleistung von 130 kW können die Spitzenlasten in Kreuzberg allerdings nicht gedeckt werden. Hier müsste eine Ergänzung durch beispielsweise PV-Anlagen oder Blockheizkraftwerke erfolgen.

Ein solches Laufwasserkraftwerk in der Ahr ist technisch umsetzbar. Allerdings ist aus naturschutz- und wasserrechtlicher Hinsicht mit erheblichen Schwierigkeiten zu rechnen. Folgende Genehmigungen sind grundsätzlich erforderlich, wobei sie je nach Region und den örtlichen Gegebenheiten abweichen können:

Tabelle 12: Bewertung zur Umsetzung eines Wasserkraftwerks an der Ahr

Wasserrechtliche Erlaubnis	Die Errichtung und der Betrieb eines Laufwasserkraftwerks erfordern i.d.R. eine wasserrechtliche Erlaubnis oder Bewilligung gemäß dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG). Diese Erlaubnis regelt den Umgang mit Wasser, z. B. Entnahme, Ableitung und Rückgabe von Wasser in den Fluss.
Baugenehmigung	Eine Baugenehmigung ist erforderlich, um sicherzustellen, dass das Projekt den örtlichen Bauvorschriften und -richtlinien entspricht.
Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)	Abhängig von der Größe und den möglichen Umweltauswirkungen des Projekts kann eine UVP erforderlich sein. Dies ist ein Verfahren, bei dem die Auswirkungen des Vorhabens auf die Umwelt bewertet und geprüft werden.
Artenschutzrechtliche Prüfung	Eine artenschutzrechtliche Prüfung kann notwendig sein, um sicherzustellen, dass der Bau und Betrieb des Kraftwerks keinen negativen Einfluss auf geschützte Tier- und Pflanzenarten hat.
Immissionsschutzrechtliche Genehmigung	In einigen Fällen kann auch eine Genehmigung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) erforderlich sein, um sicherzustellen, dass das Kraftwerk die zulässigen Schadstoff- und Lärmemissionen nicht überschreitet.
Netzanschluss	Für den Anschluss des Kraftwerks an das Stromnetz und die Einspeisung der erzeugten Energie sind Vereinbarungen mit dem zuständigen Netzbetreiber notwendig [29].

Das WHG-RLP § 35 regelt die Wasserkraftnutzung in Rheinland-Pfalz [30]. In diesem Artikel wird deutlich beschrieben, dass eine Genehmigung nur erteilt wird, wenn geeignete Maßnahmen zum Schutz der Fischpopulation ergriffen werden. Außerdem darf keine schädliche Gewässeränderung zu erwarten sein.

## 4.2. Speicherung

### Quartiersstromspeicher

Ein Quartiersstromspeicher ist ein dezentrales Energiespeichersystem, das in einem bestimmten städtischen oder ländlichen Gebiet (Quartier) installiert ist. Ziel dieses Systems ist es, die lokale Energieversorgung zu optimieren, die Netzstabilität zu erhöhen und die Integration erneuerbarer Energien zu fördern. Im Folgenden werden die verschiedenen Aspekte von Quartiersstromspeichern in einer wissenschaftlichen Art und Weise erörtert.

Quartiersstromspeicher können verschiedene Technologien nutzen, darunter Lithium-Ionen-Batterien, Redox-Flow-Batterien oder auch thermische Speichersysteme. Die Wahl der Technologie hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie der benötigten Speicherkapazität, der Entladezeit und den örtlichen Gegebenheiten.

Ein Quartiersstromspeicher ist in der Regel mit dem lokalen Stromnetz sowie mit verschiedenen Energieerzeugungsanlagen wie Photovoltaik-Systemen, Windkraftanlagen oder auch konventionellen Kraftwerken verbunden. Der Speicher nimmt überschüssige Energie auf, die zu Zeiten niedrigen Verbrauchs erzeugt wird, und gibt sie zu Spitzenlastzeiten wieder ab. Dies trägt zur Glättung der Lastkurve und zur Reduzierung von Netzengpässen bei.

### Vorteile

- Netzstabilität: Durch die lokale Speicherung von Energie können Schwankungen im Netz ausgeglichen werden.
- Energieeffizienz: Die Möglichkeit, Energie lokal zu speichern, reduziert den Bedarf an Fernübertragungen und damit verbundene Verluste.
- Integration Erneuerbarer Energien: Speichersysteme ermöglichen eine bessere Integration von volatilen Energiequellen wie Wind und Sonne.
- Kosteneffizienz: Durch die Optimierung der Energieversorgung können Kosten sowohl für Endverbraucher als auch für Energieversorger gesenkt werden.

### Herausforderungen und Forschungsbedarf

- Skalierbarkeit: Die Skalierbarkeit von Quartiersstromspeichern ist eine Herausforderung, insbesondere in Bezug auf die Kosten.



- Regulatorische Hürden: Aktuelle gesetzliche Rahmenbedingungen sind oft nicht auf dezentrale Speichersysteme ausgerichtet.
- Interoperabilität: Die Integration verschiedener Technologien und Systeme erfordert standardisierte Schnittstellen und Protokolle.

### **Quartierswärmespeicher**

Auch Quartierswärmespeicher können verschiedene Formen annehmen, darunter Wasserspeicher, Erdwärmespeicher oder auch Latentwärmespeicher. Die Technologieauswahl hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie der benötigten Speicherkapazität, der Entladetemperatur und den örtlichen Gegebenheiten.

Quartierswärmespeicher sind in der Regel mit dem lokalen Wärmenetz und möglicherweise auch mit dem Stromnetz verbunden. Sie speichern überschüssige Wärme, die beispielsweise von Solarthermieanlagen, Wärmepumpen oder industriellen Prozessen erzeugt wird, und geben sie bei Bedarf wieder ab. Dies ist besonders nützlich für die Beheizung von Gebäuden oder die Warmwasserversorgung.

### **Vorteile**

- Effiziente Wärmenutzung: Durch die Speicherung von Wärme können saisonale und tageszeitliche Schwankungen in der Wärmeerzeugung und -nachfrage ausgeglichen werden.
- CO<sub>2</sub>-Reduktion: Die effiziente Nutzung von Wärme, insbesondere wenn sie aus erneuerbaren Quellen stammt, kann zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen beitragen.
- Kosteneinsparungen: Ähnlich wie bei Stromspeichern können Wärmespeicher dazu beitragen, die Energiekosten zu senken, indem sie den Bedarf an teurer Spitzenlastenergie reduzieren.

### **Herausforderungen und Forschungsbedarf**

- Isolierung: Die Qualität der Isolierung ist entscheidend für die Effizienz des Wärmespeichers.
- Langzeitspeicherung: Die Fähigkeit, Wärme über längere Zeiträume zu speichern, ist eine technologische Herausforderung.



- Integration in bestehende Systeme: Die Kopplung von Wärme- und Stromspeichern sowie deren Integration in bestehende Energieinfrastrukturen erfordert koordinierte Planung und Betrieb.

### **Synergien zwischen Quartierstrom- und Wärmespeichern**

Die Kombination von Quartierstrom- und Wärmespeichern ermöglicht eine noch effizientere Nutzung von Energie. Durch die Kopplung beider Systeme können beispielsweise überschüssiger Strom in Wärme umgewandelt und gespeichert werden oder umgekehrt. Dies eröffnet neue Möglichkeiten für ein intelligentes Energiemanagement auf Quartiersebene.

### **4.3. Mobilität**

Die Gemeinde Kreuzberg sieht sich mit der globalen Herausforderung konfrontiert, ihre Mobilität zu modernisieren und nachhaltiger zu gestalten. Ein nachhaltiges Mobilitätskonzept könnte die folgenden Bausteine enthalten:

#### **ÖPNV:**

Die Fusion des ÖPNV des Landkreises Ahrweiler mit dem Verkehrsverbund Rhein-Mosel (VRM) legt den Grundstein für einen leistungsfähigeren öffentlichen Verkehr in Kreuzberg.

- Taktfahrpläne für Gemeinden: Ein regelmäßiger Taktverkehr für Gemeinden über 200 Einwohner bietet den Bürgern eine verlässliche und bequeme Reiseoption [31]. Dies fördert die Nutzung des ÖPNV und reduziert den Individualverkehr.
- Abgestimmte Fahrpläne: Die Abstimmung mit Nachbargemeinden gewährleistet flüssige Übergänge und minimiert Wartezeiten, was den gesamten Reiseprozess optimiert.
- Neue Linien: Mit dem Blick auf den Nahverkehrsplan 2016 sollte die Einführung neuer Linien in bisher wenig bediente Gebiete erwogen werden [15].

#### **Bürgerbusse:**

- Ehrenamtliche Fahrer könnten in kleineren Ortsteilen, die vom ÖPNV weniger frequentiert werden, für mehr Mobilität sorgen. Dies fördert das Gemeinschaftsgefühl und gewährleistet eine bessere Erreichbarkeit von Einrichtungen.

**Elektromobilität und Carsharing:**

- Elektrische Gemeindeautos bieten eine umweltfreundliche Mobilitätsalternative. Durch Carsharing können Ressourcen effizient genutzt und der Bedarf an Parkplätzen reduziert werden.
- Ladeinfrastruktur: Hierbei sollten sowohl private Lösungen wie Wallboxen als auch öffentliche Ladesäulen berücksichtigt werden. Solarcarports könnten zudem eine umweltfreundliche Energiequelle darstellen und den Eigenverbrauch von erneuerbaren Energien fördern.

**Mikromobilität:**

E-Scooter, E-Bikes und ähnliche Lösungen können den Verkehrsfluss in städtischen Gebieten optimieren und bieten eine schnelle Fortbewegungsmöglichkeit für kurze Distanzen. Die Integration in bestehende Mobilitäts-Apps erleichtert zudem die Kombination mit anderen Verkehrsmitteln. Auch in Kreuzberg könnte dies zum Einsatz kommen.

**Digitale Mobilitätsplattformen:**

- Mobility as a Service (MaaS): Eine zentrale Plattform, die alle verfügbaren Verkehrsmittel bündelt, bietet den Nutzern eine einfache Möglichkeit zur Planung und Bezahlung ihrer Reisen. Dies steigert die Effizienz und fördert den Umstieg auf umweltfreundlichere Verkehrsmittel.

**Stadtplanung und Verkehrsberuhigung:**

Die Förderung von Fuß- und Radverkehr durch gezielte Maßnahmen, wie etwa verkehrsberuhigte Zonen, erhöht die Lebensqualität und reduziert Emissionen. Das Konzept der 15-Minuten-Stadt, bei dem alle wesentlichen Einrichtungen fußläufig schnell erreichbar sind, sollte hierbei als Leitbild dienen [31].

**On-Demand-Transportsysteme:**

Flexible Transportsysteme, die bedarfsorientiert agieren, können Lücken im Verkehrsnetz schließen und eine personalisierte Mobilitätsoption bieten. Dies ist vergleichbar mit dem Bürgerbus oder dem Car-Sharing.

#### 4.4. Vorläufige Konzeptidee Wärmeversorgung

Die Wärmeversorgung in der Gemeinde Kreuzberg ist von entscheidender Bedeutung für die nachhaltige Energieversorgung der Zukunft. Ein innovatives Wärmeversorgungssystem, das auf einem Kaltwärmenetz (auch als Lox-ex-Netz oder Low-Exergie-Netz bekannt) basiert, hat das Potential, den Energiebedarf der Gemeinde effizient und nachhaltig zu decken.

##### Konzept eines Kalten Nahwärmenetzes (Low-Exergie-Netz)

Das zentrale Element dieses Systems ist das Kaltwärmenetz, das darauf ausgelegt ist, Wärme bei einer Durchflusstemperatur von 16°C effizient zu transportieren. Dies minimiert nicht nur den Energieverbrauch, sondern erhöht auch die Versorgungssicherheit. Die Energiezentrale dieses Netzes wird durch eine Flusswasser-Wärmepumpe gespeist, die thermische Energie aus der Ahr extrahiert und in das Netz einspeist. Zusätzlich zur Flusswärmepumpe kann als Alternative eine Luftwärmepumpe implementiert werden, die, obwohl weniger effizient, bei milder Witterung eine gute Alternative darstellt.

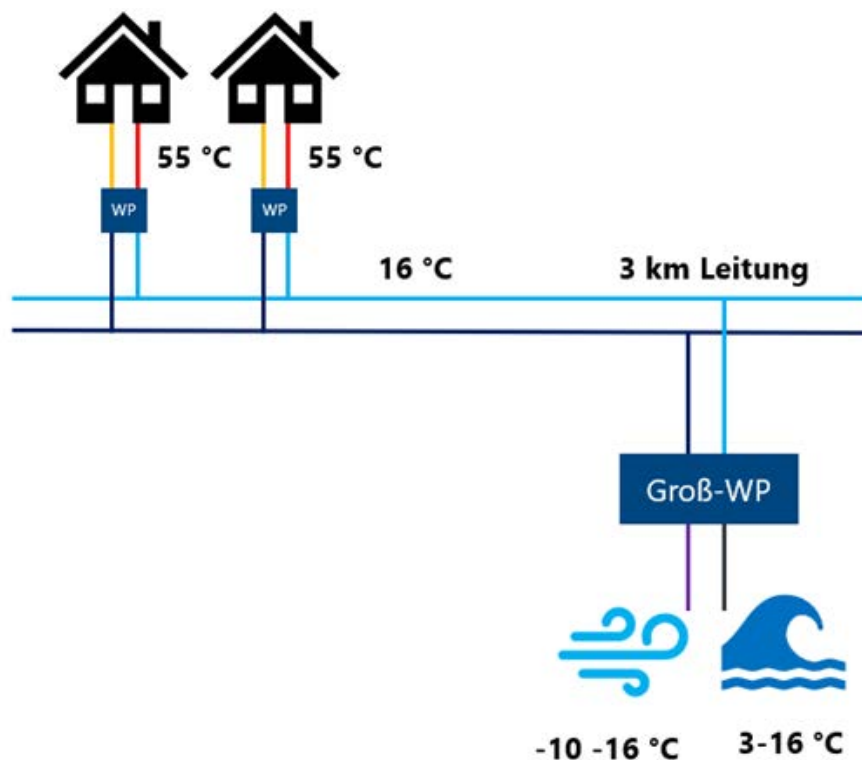


Abbildung 20: Schema der Wärmeversorgung in Kreuzberg

## **Energiequellen und Versorgungssystem**

**Fluss-Wärmepumpe:** Die Flusswasser-Wärmepumpe nutzt die konstante Temperatur des Flusses als zuverlässige Energiequelle, insbesondere während der kälteren Monate. Ein Wärmetauscher wird im Fluss installiert, um Wärme zu extrahieren und in das Netz einzuspeisen.

**Luft-Wärmepumpe:** Diese Wärmepumpe zieht Wärme aus der Umgebungsluft und ist bei milder Witterung besonders effektiv.

## **Wärmeversorgung der Gebäude**

Jedes Gebäude in der Gemeinde wird mit einer individuellen Wärmepumpe ausgestattet, die direkt mit dem kalten Nahwärmenetz verbunden ist. Diese Wärmepumpen sind speziell darauf ausgelegt, die niedrigen Temperaturen des Netzes für Heiz- und Warmwasseranwendungen effizient zu nutzen. Die Technologie ermöglicht es, die Wärme je nach Bedarf zu modulieren, was zu einer weiteren Steigerung der Energieeffizienz führt.

## **Ökologische und ökonomische Bewertung**

Das vorgeschlagene Konzept bietet erhebliche Vorteile in Bezug auf Energieeffizienz, Nachhaltigkeit und Kosteneffizienz. Die Nutzung erneuerbarer Energiequellen und effiziente Wärmeübertragungstechnologien tragen zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen bei, während die Betriebskosten niedrig gehalten werden. Diese Maßnahmen sind jedoch mit hohen Investitionskosten verbunden.

## **Vorteile und Besonderheiten des Low-Exergie-Netzes**

Das Netz bietet eine effiziente Wärmeversorgung, insbesondere für ältere Gebäude in der Gemeinde, die höhere Vorlauftemperaturen benötigen. Die Flexibilität des Systems ermöglicht die Integration weiterer Wärmequellen und macht es zukunftssicher.

## **Inhärente Speichereigenschaften des Kaltwärmenetzes**

Es ist ebenfalls bemerkenswert, dass das Kaltwärmenetz selbst inhärente Wärmespeicher-Eigenschaften aufweist. Aufgrund der thermischen Kapazität des Wassers und der Ausdehnung des Netzes fungiert dieses als ein Art "virtueller

Speicher". Das Netz kann thermische Energie über kurze Zeiträume speichern und bei Bedarf abgeben, wodurch Schwankungen in der Wärmenachfrage besser ausgeglichen werden können.

### **Synergieeffekte mit Photovoltaik-Anlage**

Die Implementierung eines Wärmespeichers bietet nicht nur die Möglichkeit, die Wärmeversorgung effizienter zu gestalten, sondern ermöglicht auch eine intelligente Kopplung mit anderen erneuerbaren Energiesystemen, insbesondere Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen). Während Zeiten hoher Sonneneinstrahlung produzieren PV-Anlagen häufig Überschussstrom, der ins Stromnetz eingespeist oder anderweitig genutzt werden kann.

### **Tagbetrieb der Flusswasser-Wärmepumpe**

In diesem Kontext kann die Flusswasser-Wärmepumpe vor allem tagsüber betrieben werden, wenn Überschussstrom aus der PV-Anlage zur Verfügung steht. Die Wärmepumpe kann so effizienter arbeiten und der Überschussstrom wird sinnvoll für die Wärmeerzeugung genutzt.

### **Wärmespeicher als Puffer**

Der Wärmespeicher fungiert in diesem Szenario als Puffer, der die tagsüber gewonnene Wärme speichert und bei Bedarf, beispielsweise während der Nacht oder an bewölkten Tagen, wieder abgeben kann. Dies ermöglicht nicht nur eine effizientere Nutzung der Wärmepumpe, sondern trägt auch zur Stabilisierung des Stromnetzes bei, indem Lastspitzen reduziert und der Überschussstrom sinnvoll genutzt wird.

### **Schlussfolgerung und Ausblick**

Die Gemeinde Kreuzberg Ahrweiler hat mit dem vorgeschlagenen Wärmeversorgungssystem einen nachhaltigen und effizienten Ansatz gewählt. Zukünftige Untersuchungen könnten sich darauf konzentrieren, wie das System skaliert werden kann und wie weitere erneuerbare Energiequellen integriert werden können. Es ist klar, dass dieses Konzept nicht nur zur aktuellen Versorgungssicherheit und Energieeffizienz beiträgt, sondern auch das Potenzial hat, sich an zukünftige Entwicklungen und Bedürfnisse anzupassen.

## 5. Netzberechnung

Die Berechnung und Simulation des Stromnetzes von Kreuzberg liefert grundlegende Erkenntnisse über den aktuellen Zustand der elektrischen Infrastruktur und die Machbarkeit von zukünftigen Energiekonzepten. Die Netzpläne wurden von dem zuständigen Netzbetreiber Westnetz GmbH zur Verfügung gestellt (Stand: 04.07.2023).

### 5.1. Stromnetzplan Kreuzberg

Der Stromnetzplan der Westnetz von Kreuzberg beinhaltet alle nötigen Informationen über die örtliche Infrastruktur. Im Folgenden ist dieser dargestellt:

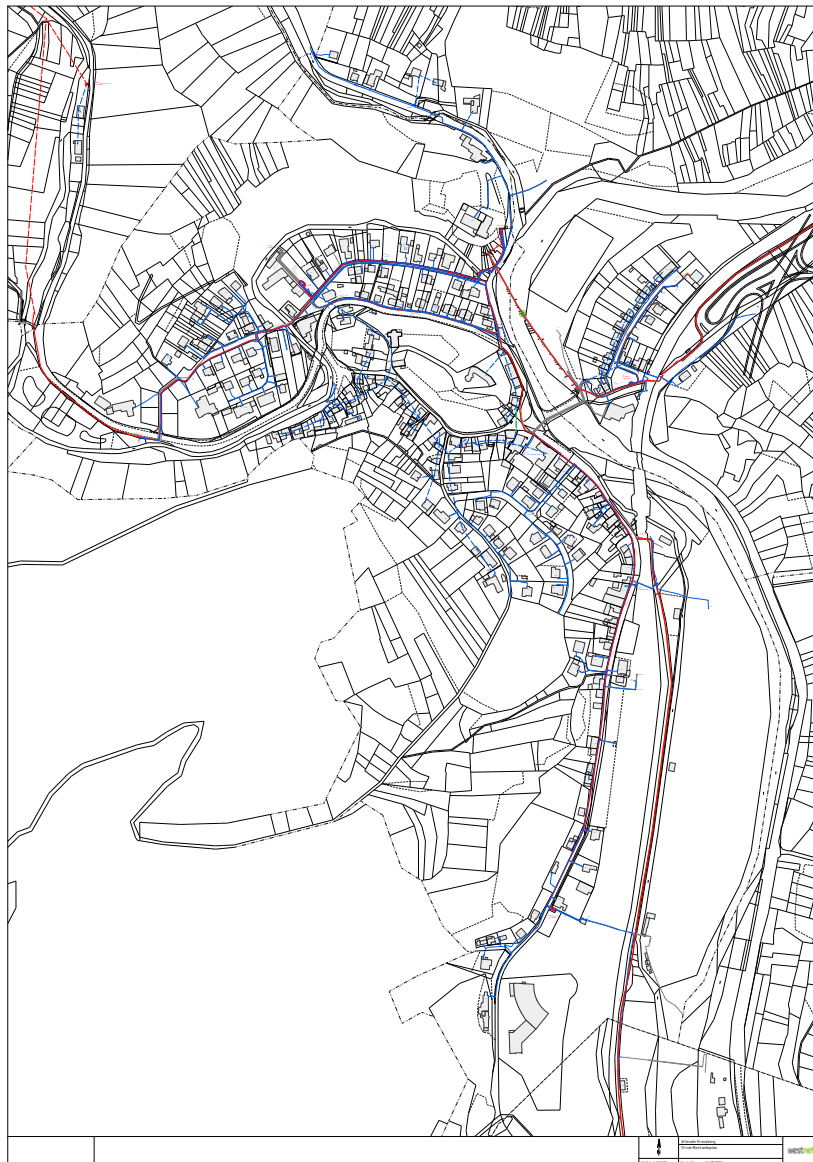


Abbildung 21: Netzplan von Kreuzberg [32]



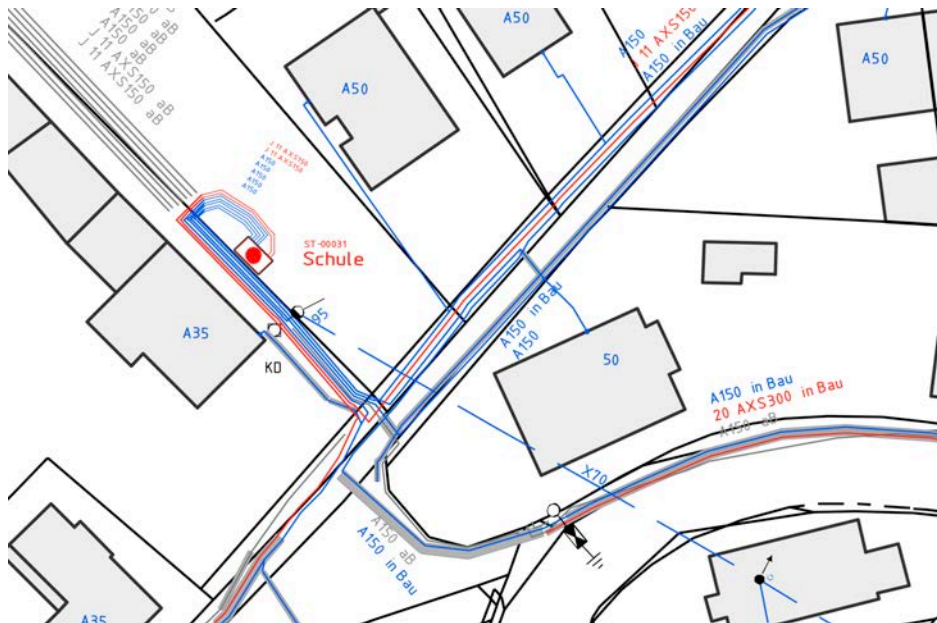


Abbildung 22: Ausschnitt um den Transformator "Schule" in Kreuzberg [32]

Auf den Stromnetzen sind die Schäden der Flutkatastrophe zu erkennen (siehe graue Leitungen, aB = „außer Betrieb“). Außerdem sind einige Leitungen, vornehmlich vom Typ A150 im Bau. Die erheblichsten Schäden an der lokalen Infrastruktur sind an der Ahr zu finden. Dort wurde durch die Zerstörung der Brücke sämtliche elektrische Infrastruktur, die die beiden Flussseiten von Kreuzberg verbunden haben, zerstört (siehe Abbildung 9):



Abbildung 23: Ausschnitt von der Ahrbrücke



Aus den aktuellen (Stand: 04.07.2023) Stromnetzplänen geht hervor, dass die Westnetz bisher keine Verbindung des Niederspannungsnetzes (blaue Linien) der beiden Flusseiten durchführt. Es gibt allerdings eine Mittelspannungsübertragungsleitung (rote Linien) die über die Ahr führt und die beiden Netzgebiete auf der Mittelspannungsebene verbindet.

## 5.2. Netzberechnung – PandaPower

Die Netzberechnung wird mit der Python-Bibliothek PandaPower durchgeführt, die die umfangreiche und präzise Simulation von elektrischen Netzen ermöglicht.

Zunächst muss das Stromnetz von den Netzplänen manuell in das Programm implementiert werden. Die folgende grafische Darstellung zeigt das abstrahierte elektrische Netz von Kreuzberg (die gezeigten Koordinaten sind künstlich).

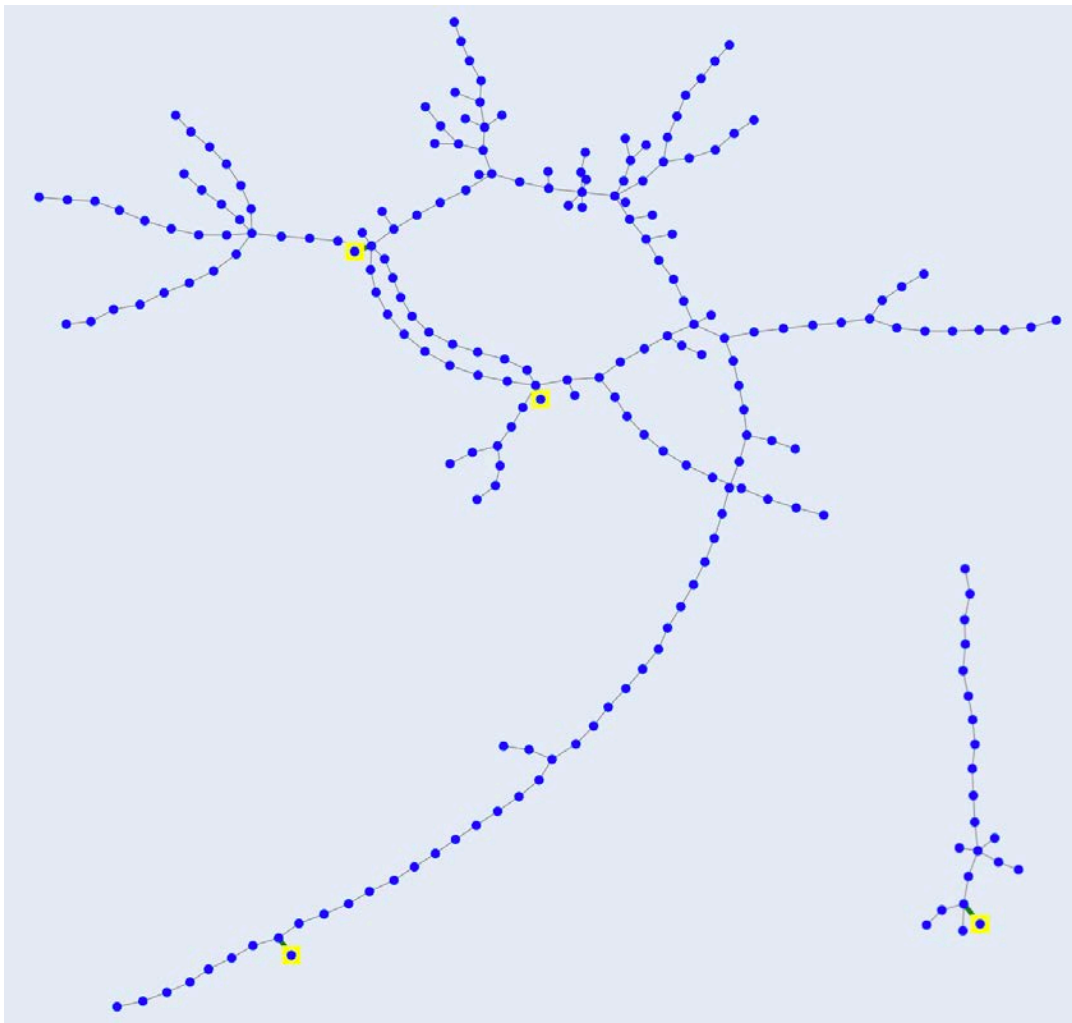


Abbildung 24: Grafische Darstellung des implementierten Netzes mit künstlichen Koordinaten

Die blauen Punkte stellen die einzelnen Hausanschlüsse in Kreuzberg dar, wobei 209 gemäß den Netzplänen ermittelt werden konnten. Die grauen Linien zwischen den Punkten sind die Stromleitungen. Folgende Kabeltypen sind laut der Westnetz in Kreuzberg verbaut:

Tabelle 13: Kabeltypen von Kreuzberg [32]

Bezeichnung/Typ	Verlegungsart	Nennquerschnitt
NAYY 4x150 (A150)	Erdkabel	150 mm <sup>2</sup> (Aluminium)
x70	Freileitung (isoliert)	70 mm <sup>2</sup>
x70 + 25	Freileitung (isoliert) mit Straßenbeleuchtung	70 mm <sup>2</sup>
70	Freileitung (unisoliert)	70 mm <sup>2</sup>

Diese Kabeltypen werden in der Berechnung berücksichtigt, da sie unterschiedliche Übertragungskapazitäten und physikalische Eigenschaften haben. Dabei wird auch die jeweilige Kabellänge berücksichtigt, da diese einen entscheidende Einfluss auf die Parameter hat. In der Abbildung 24 sind außerdem die vier verschiedenen Transformatoren von Kreuzberg als gelb ummantelte blaue Punkte zu erkennen. Die Transformator-Werte sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 14: Transformator-Leistungen und Übersetzungsverhältnisse [32]

Transformator-Name	Leistung	Übersetzungsverhältnis
Schule	400 kVA	11,5 / 0,4 kV
Im Vischeltal	250 kVA	11,5 / 0,4 kV
Am Brunnen	400 kVA	11,5 / 0,4 kV
Bahnhofstraße	160 kVA	11,5 / 0,4 kV

Mit diesen Informationen kann das Stromnetz bereits detailliert in pandapower dargestellt werden. Für die Modellierung der angeschlossenen Haushalte sind allerdings noch die Verbrauchsleistungen entscheidend. Da diese aus Datenschutzgründen nicht zur Verfügung stehen müssen sie angenommen werden.

### 5.2.1. Netzzustandsberechnung

In der Netzzustandsberechnung wird das aktuelle Netz von Kreuzberg mit den momentanen Netzparametern simuliert. Dafür werden die Verbrauchsleistungen der angeschlossenen Haushalte über das H0-Standardlastprofil modelliert. Dabei wird die Stunde des Jahres mit der höchsten Verbrauchsleistung ermittelt, um den Zeitpunkt der maximalen Netzbelastung zu untersuchen.

#### Annahmen:

- Jeder Hausanschluss stellt einen Haushalt dar.
- Jeder Hausanschluss hat einen Stromverbrauch von 4.000 kWh/a
- Jeder Hausanschluss verhält sich gemäß dem H0-Profil (Kleingewerbe, Restaurants, Gaststätten unberücksichtigt)

Mit diesen Annahmen wird der Zeitpunkt der maximalen Netzbelastung in Kreuzberg anhand des H0-Standardlastprofils <sup>2</sup> ermittelt:

Maximale Last (31.12. 20:00:00): 224,55 kW (0 kW PV-Erzeugung)

Zu diesem Zeitpunkt wird eine Netzberechnung mit den entsprechenden Verbrauchsleistungen durchgeführt. Im Folgenden ist die Auslastung der 4 Transformatoren von Kreuzberg dargestellt:

*Tabelle 15: Transformatorauslastung bei der maximalen Last in Kreuzberg*

Transformator-Name	Auslastung
Schule	24,10 %
Im Vischeltal	22,58 %
Am Brunnen	5,65 %
Bahnhofstraße	21,31 %

Die Transformatoren sind dabei selbst bei der maximalen Last nur moderat ausgelastet. Neben den Auslastungen sind ebenfalls die Spannungsabweichung an

---

<sup>2</sup> Das H0-Standardlastprofil ist eine standardisierte Darstellung des elektrischen Verbrauchsverhaltens (Lastgang) von einer großen Menge an Haushaltskunden welches den Netzbetreibern die Prognostizierung der Stromnachfrage erlaubt ohne individuelle Lastmessung.

den Hausanschlüssen (Knoten), sowie der maximale Strom auf den Leitungen von Interesse. Diese beiden Simulationsergebnisse sind entscheidend um die Belastbarkeit und die ordnungsgemäße Funktionsweise des Netzes bewerten zu können. Im Folgenden ist die Anzahl der Knoten und Leitungen dargestellt, die ihre Begrenzungen überschreiten. Dabei wird von einer zulässigen Spannungsabweichung von  $\pm 3\%$  und dem maximalen Strom auf der schwächsten Leitung von 270 Ampere (NAYY 150) ausgegangen.

Tabelle 16: Ergebnisse der Spannungsabweichung und des maximalen Stroms bei maximaler Last in Kreuzberg

Anzahl Knoten mit $\Delta U_{Knoten} > 3\%$	Anzahl Leitungen mit $I_{Leitung} > 270\text{ A}$
0	0

Damit arbeitet das aktuelle elektrische Netz in Kreuzberg gemäß den Rahmenbedingungen korrekt und ist voll funktionsfähig mit ausreichend Pufferkapazitäten.

### 5.2.2. PV-Szenario (Gebäude) - Netzberechnung

Mit dem implementierten Modell des Stromnetzes von Kreuzberg kann ebenfalls die Untersuchung der Auswirkungen der Installation von PV-Anlagen auf das Netz erfolgen. Dafür kann auf die ermittelten installierbaren PV-Leistungen aus dem Solarkataster Rheinland-Pfalz zurückgegriffen werden. In dem pandapower Modell werden diese Leitungen mit einem einspeisenden Generator modelliert. Die Länge der Leitungen, welche für die Berechnung eine Rolle spielt, wurde ebenfalls manuell anhand des Netzplanes ermittelt.

Wenn dem zuständigen Netzbetreiber ein Antrag für die Installation einer PV-Anlage vorgelegt wird, führt er ebenfalls einen solche Netzberechnung für den Zeitpunkt durch, an dem das Netz maximal belastet wird. Diese maximale Belastung läge vor, wenn die PV-Einspeiseleitung maximal wird und die elektrische Last des Netzes minimal. Dieser Worst-Case tritt in der Realität sehr wahrscheinlich nie ein, da nicht alle Verbraucher zeitgleich keinen Strom beziehen. Nichtsdestotrotz wird dieser Worst-Case simuliert und wenn deutlich wird das das Netz stabil bleibt, wird die PV-Anlage genehmigt.

Bei der Versorgung von Kreuzberg mit erneuerbaren Energien sollten so viele Häuser wie möglich eine PV-Anlage installieren. Zu welchem Grad dies das Stromnetz aushält, wird in den folgenden Szenarien berechnet.

### Szenario 1 – 100 % PV-Leistung

Im Szenario 1 werden alle möglichen Dachflächen von Kreuzberg maximal mit PV bestückt (ggfs. auch Norddächer). Dabei werden die maximal installierbaren Leistungen aus dem Solarkataster verwendet.

Maximal installierbare PV-Leistung: 3.955,4 kWp

Für die Berechnung wird angenommen, dass diese maximale Leistung vollständig anliegt und die Last 0 kW beträgt. Die Ergebnisse sind wie folgt:

*Tabelle 17: Transformatorauslastung im Worst-Case 100% PV-Szenario in Kreuzberg*

Transformator-Name	Auslastung
Schule	380,96 %
Im Vischeltal	353,29 %
Am Brunnen	64,33 %
Bahnhofstraße	302,33 %

Die Transformatoren sind bei diesem Szenario stark überlastet und können die hohe Einspeiseleistung (3,87 MW) nicht übertragen.

*Tabelle 18: Ergebnisse der Anzahl der Überschreitungen der Spannungsabweichung und des maximalen Stroms im Worst-Case 100% PV-Szenario in Kreuzberg*

Anzahl Knoten mit $\Delta U_{Knoten} > 3\%$	Anzahl Leitungen mit $I_{Leitung} > 270\text{ A}$
192	48

Von 209 Knoten überschreiten 192 Knoten (91,2 %) die zulässige Spannungsabweichung. Den maximalen Strom übertreffen 48 Leitungen (22,9 %).

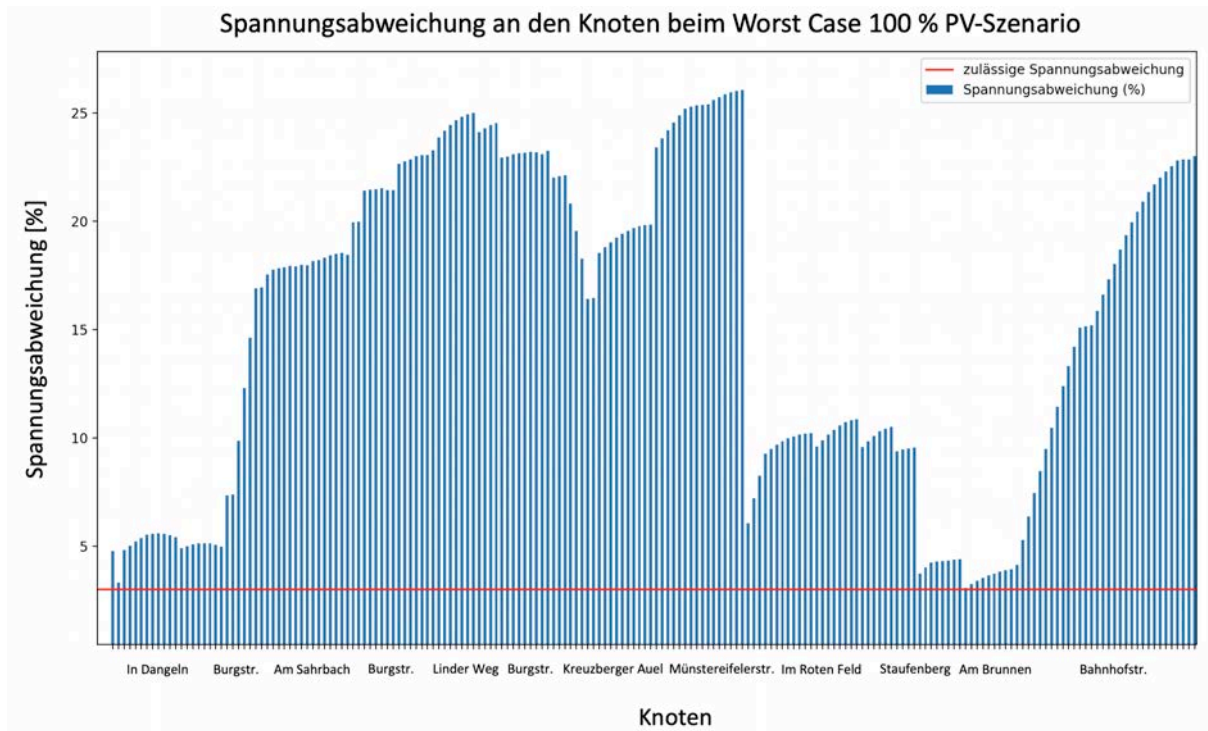


Abbildung 25: Spannungsabweichung an den Knoten beim Worst Case mit 100 % PV-Leistung. Darstellung der Knoten mit einer Spannungsüberschreitung von über 3 %.

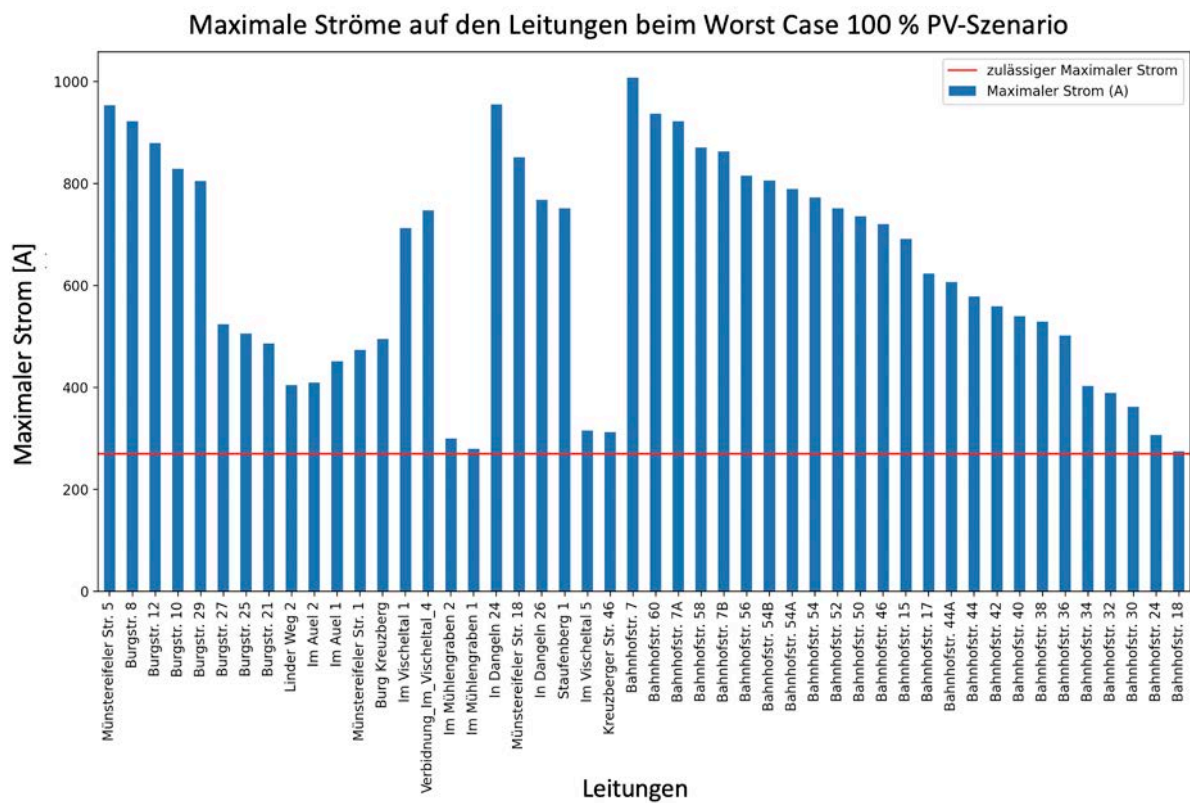


Abbildung 26: Maximale Ströme auf den Leitungen Knoten beim Worst Case mit 100 % PV-Leistung. Darstellung der Leitungen mit einem maximalen Strom von über 270 A.

In der grafischen Darstellung der Spannungsabweichung und der maximalen Ströme sind die Knoten und Leitungen abgebildet, die den jeweiligen Grenzwert überschreiten. Es wird deutlich, dass einige Knoten eine Spannungsabweichung von maximal 25 % erreichen und der Durchschnitt bei etwa 12 % liegt. Diese Abweichungen sind inakzeptabel für ein funktionierendes Stromnetz. Der maximale Strom der Leitungen wird ebenfalls auf zahlreichen Leitungsabschnitten überschritten. Dabei tritt auf der Bahnhofstr. 7 ein Strom von knapp 1000 Ampere auf. Ein Strom dieser Größe würde die Leitungen zerstören.

Ein Szenario mit 100-prozentiger PV-Nutzung in Kreuzberg ist mit dem vorhandenen Netz nicht möglich. Im Folgenden wird die PV-Leistung schrittweise reduziert um den Punkt zu ermitteln, an dem das Netz die PV-Leistung übertragen könnte.

### Szenario 2 – 24 % PV-Leistung

Im Szenario 2 wurde die PV-Leistung von Szenario 1 reduziert, bis die Transformatoren<sup>3</sup> nicht überlastet werden (< 100 %). Dieser Punkt wird bei ca. 24 % PV-Leistung erreicht. Folgende Trafo-Auslastungen sind dann zu verzeichnen:

Tabelle 19: Transformatorauslastung im Worst-Case 24% PV-Szenario in Kreuzberg

Transformator-Name	Auslastung
Schule	99,19 %
Im Vischeltal	92,39 %
Am Brunnen	15,65 %
Bahnhofstraße	79,79 %

Die Transformatoren haben in diesem Szenario alle eine Auslastung von unter 100 %.

Tabelle 20: Ergebnisse der Anzahl der Überschreitungen der Spannungsabweichung und des maximalen Stroms im Worst-Case 24% PV-Szenario in Kreuzberg

Anzahl Knoten mit $\Delta U_{Knoten} > 3 \%$	Anzahl Leitungen mit $I_{Leitung} > 270 \text{ A}$
147	0

<sup>3</sup> In der Realität soll die Transformatoren-Auslastung nicht über 70 % liegen. Für diese kurze Zeit ist aber eine Auslastung bis 100 % verkräftbar.



Obwohl die Trafo-Auslastung in Ordnung ist, überschreiten 147 Knoten (70,3 %) die zulässige Spannungsabweichung. Den maximalen Strom übersteigt keine Leitung in Kreuzberg. Aufgrund den bestehenden Spannungsabweichungen muss die PV-Leistung im folgenden Szenario weiter reduziert werden.

### **Szenario 3 – 6,5 % PV-Leistung**

Ab einer PV-Leistung von unter 6,5 % treten keine Überschreitungen der zulässigen Spannungsabweichung oder des maximalen Stroms auf. Diese PV-Leistung entspricht nach Formel 2 folgendem Wert.

*Formel 2: Berechnung der PV-Leistung für Szenario 3*

$$\text{PV – Leistung}_{\text{Szenario 3}} = 3.955,4 \text{ kWp} * 6,5 \% = 257 \text{ kWp}$$

Gemäß diesen Netzberechnungen mit dem aktuellen Stromnetz (Stand: 04.07.2023) kann in Kreuzberg lediglich eine gesamte PV-Leistung von 252 kWp installiert werden. Dabei ist zu beachten, dass bei den Szenarien davon ausgegangen wurde, dass jeder Haushalt eine PV-Anlage besitzt und die Leistung gleichmäßig verteilt ist. Bei dem Szenario 3 wären das 1,2 kWp pro Haushalt. Es könnte eine insgesamt höhere installierbare PV-Leistung erreicht werden, wenn die Leistungen entsprechend der Netztopologie verteilt wären. Das bedeutet, dass an Strängen mit höherer Kapazität die Häuser mehr PV installieren dürfen, solange die Trafo-Auslastung unter 100 % liegt. Diese optimierte Verteilung könnte eine höhere PV-Leistung ermöglichen, wobei die Steigerung begrenzt bleibt.

### **5.2.3. PV-Szenario (Freifläche) - Netzberechnung**

Wie aus dem vorherigen Kapitel hervorgegangen ist, kann in Kreuzberg eine gleichmäßig verteilte PV-Leistung von insgesamt 252 kWp installiert werden. Durch eine optimierte, aber diskriminierende Verteilung kann etwas mehr Leistung möglich werden. Dabei wurden stets PV-Anlagen auf den Dachflächen der Häuser betrachtet.

PV-Freiflächenanlagen stellen eine weitere (theoretische) Alternative zu Aufdach-Anlagen dar. Dabei könnten diese direkt an den Transformator angeschlossen werden, und vermeiden damit die Limitierungen des Kreuzberger Stromnetzes. Dabei wäre die folgende PV-Leistung theoretisch möglich:

Tabelle 21: Maximal mögliche PV-Leistung einer Freiflächen-Anlage am jeweiligen Transformator in Kreuzberg

Transformator-Name	Trafo-Kapazität	PV-Freiflächen-Leistung
Schule	400 kVA	400 kWp
Im Vischeltal	250 kVA	250 kWp
Am Brunnen	400 kVA	400 kWp
Bahnhofstraße	160 kVA	160 kWp

Damit wäre eine gesamte maximale PV-Leistung von 1.210 kWp möglich. Dies ist deutlich mehr als die 252 kWp bei den PV-Anlagen auf den Hausdächern und wäre nur mit vier Freiflächenanlagen direkt an den jeweiligen Transformatoren möglich.

Diese Betrachtung zeigt lediglich die maximal möglichen Leistungen bei PV-Freiflächen-Anlagen in Kreuzberg auf, wobei deren Realisierung aufgrund vom Mangel an nutzbaren Freiflächen eingeschränkt ist.

#### 5.2.4. Maßnahmen - Netzberechnung

In dem folgenden Abschnitt werden mögliche Maßnahmen aufgezeigt, die die Leistungsfähigkeit des Netzes verbessern könnten und damit mehr PV-Leistung ermöglichen.

#### Vermaschung des Netzes – Wiederherstellung Ahrbrücke

Der Großteil der Stränge des Netzes ist bereits unter den gegebenen geografischen Rahmenbedingungen hinreichend vermascht. Durch die Flutkatastrophe wurde die Brücke über die Ahr zerstört und damit auch die Stromnetzverbindung der beiden Flussseiten. Diese sind zwar über die Mittelspannung wieder miteinander verbunden (Trafo Am Brunnen <-> Im Vischeltal), allerdings nicht auf der Niederspannungsebene. Eine Wiederherstellung dieser Verbindung zwischen dem Trafo „Am Brunnen“ und dem Kreuzberger Auel (Stadtmitte) würde sich positiv auf das Netz auswirken. In Formel 3 sind die Ergebnisse dieser Vermaschung dargestellt.

*Formel 3: Erhöhung der PV-Leistung auf 8% ohne Überschreitung*

$$\text{PV - Leistung}_{\text{Ahrbrücke}} = 3.955,4 \text{ kWp} * 8 \% = 316,4 \text{ kWp}$$

Diese Maßnahme erhöht die gleichmäßig installierbare Leistung um 58 kWp. Diese Maßnahme verbessert zwar auch die Auslastung der anderen Netztransformatoren, allerdings kann sie die Spannungsabweichungen kaum reduzieren. Dies ist vor allem

durch das zum Teil lange Strängen zu begründen. Diese können aufgrund der geografischen Lage und Topologie von Kreuzberg kaum verkürzt werden.

### **Einsatz – Regelbarer Ortsnetztransformator (RONT)**

Ein regelbarer Ortsnetztransformator (RONT) ermöglicht die Verringerung der Netzspannung (Spannungs-Offset) und kann damit gezielt eingesetzt werden, um Spannungsabweichungen auszugleichen. Folgende Ergebnisse können damit erzielt nach Formel 4 erzielt werden.

$$\text{Netzspannungsabsenkung} = - 3 \% (388 \text{ V})$$

*Formel 4: Erhöhung der PV-Leistung auf 20% ohne Überschreitung*

$$\text{PV – Leistung}_{\text{RONT \& Vermaschung}} = 3.955,4 \text{ kWp} * 20 \% = 791 \text{ kWp}$$

Mit der Vermaschung des Netzes und den Einsatz von RONTs kann die Kapazität des Netzes für PV-Anlagen auf 791 kWp gesteigert werden.

## 6. Energiesystemmodellierung

Für die Einordnung der entwickelten Szenarien und für einen Überblick über die nötigen Komponentengrößen eines klimaneutralen Versorgungssystems wird eine Energiesystemmodellierung durchgeführt. Diese kann mit dem Python-Framework PyPSA umgesetzt werden. Das Ziel dieser Simulation ist die Ermittlung der Größe von beispielsweise PV-Anlagen, Wärmepumpen oder Speichern um die Gemeinde Kreuzberg bei unterschiedlichen Autarkiegraden versorgen zu können. Dabei wird eine Optimierung mit dem leistungsstarken Gurobi-Solver durchgeführt, um die optimalen Anlagengrößen bei dem günstigsten Preis zu ermitteln [33].

### Implementierung

Für die Simulation wird das folgende Modell verwendet, welches zunächst die Komponenten PV-Park, Wind-Park, Stromspeicher, Wärmespeicher und Wärmepumpe beinhaltet. Dieses wird als Python-Code geschrieben und ausgeführt (siehe Anhang).

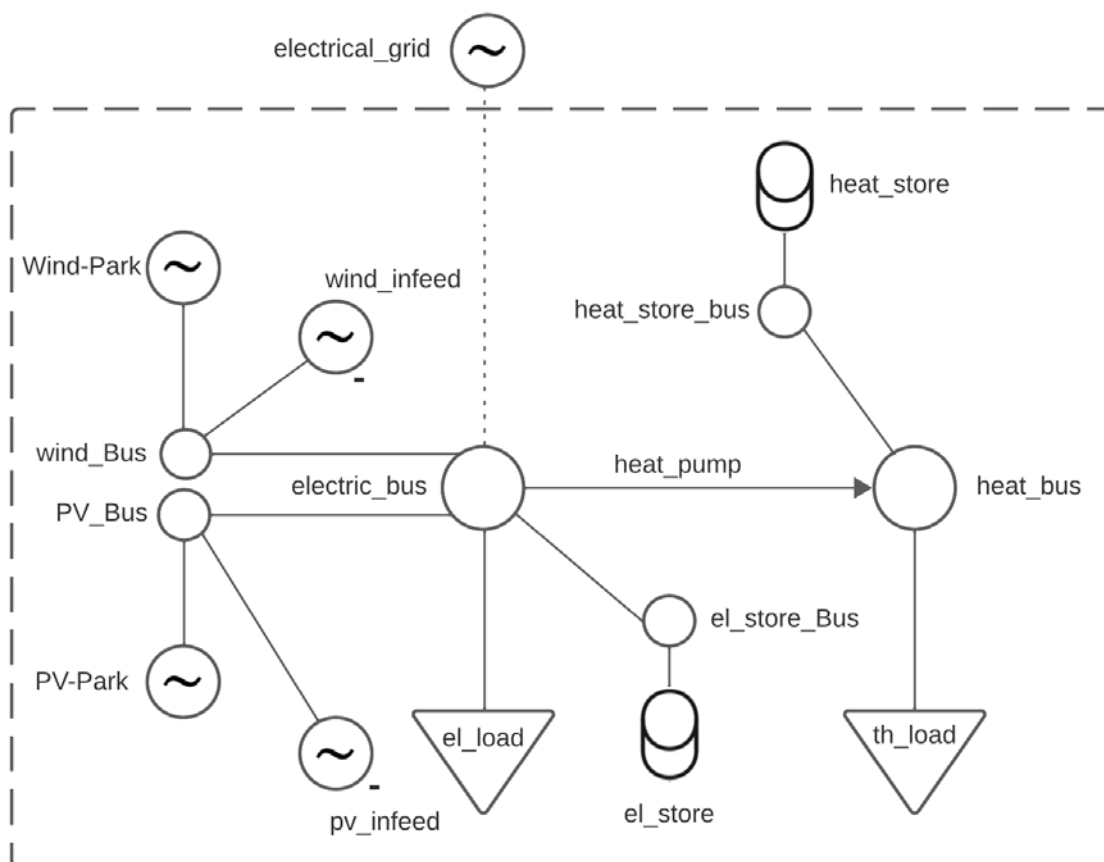


Abbildung 27: PyPSA Energiesystemmodell Kreuzberg

## Daten

Die zugrunde liegenden Daten für die Energiesystemmodellierung werden wie folgt gewählt. Für die Windenergie werden Erzeugungsverläufe auf der Grundlage von Windgeschwindigkeiten und der Leistungskennlinie einer Enercon E-175 Windenergieanlage genutzt. Die Windgeschwindigkeiten werden vom DWD für den Standort Kreuzberg in stündlicher Auflösung über ein Jahr bezogen. Dabei wird ein Testreferenzjahr (TRY, Bezugszeitraum 1995-2012) verwendet, um ein möglichst exemplarisches metrologisches Jahr abzubilden [34].

Die PV-Erzeugungsverläufe werden mit dem PVGIS berechnet. Dieses stellt die Einstrahlungsdaten für Kreuzberg in stündlicher Auflösung als TRY dar. Außerdem berechnet es die Erzeugungsleistung der PV-Anlage. Hierbei wird ein System mit einer Süd-Ausrichtung und einer 35° Neigung gewählt [35].

Für die elektrischen Lastgänge wird das H0-Standardlastprofil des BDEW gewählt. Dieses wird mit den jährlichen Verbräuchen in Kreuzberg entsprechend skaliert [36]. Es werden wie aus dem Netzplan ersichtlich 209 Verbraucher in Kreuzberg angenommen.

Der Wärmeverbrauch wird mit dem Wärme-Standardlastprofil von der HS Trier dargestellt, welches gemäß der VDI 4655 Norm erstellt wurde. Dieses wird ebenfalls mit dem thermischen Verbrauch von Kreuzberg skaliert [37].

## Annahmen

Diese Energiesystemmodellierung soll einen ersten Eindruck über die benötigten Größenordnungen der Komponenten geben und hat damit nicht den Anspruch auf eine hochdetaillierte Modellierung. Daher werden einige Annahmen und Vereinfachungen getroffen. Es wird angenommen das die historischen Wetterdaten repräsentativ für die zukünftige Energieerzeugung sind und die gleichen technischen Anlagendaten gelten. Außerdem werden die durch die Umfrage abgeschätzten thermischen und elektrischen Verbräuche Kreuzbergs verwendet. All diese Werte und Annahmen können in der Praxis abweichen und damit zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

## Parameter

Dem Modell werden zahlreiche Parameter wie Installationskosten, Wirkungsgrade, Einspeisevergütungen und Verbräuche mitgegeben. Diese wurden anhand von

marktüblichen Werten ermittelt. Der verwendete Python-Code kann bei Interesse zur Verfügung gestellt werden.

### Ergebnisse

Es können verschiedene Szenarien mit diesem Modell simuliert und optimiert werden.

Folgende Szenarien werden definiert:

1. Szenario: Vollständige Autarkie, Wind- und PV-Anlagen
2. Szenario: 70% Autarkie, Wind- und PV-Anlagen
3. Szenario: Vollständige Autarkie, PV-Anlagen
4. Szenario: 70% Autarkie, PV-Anlagen

Die Ergebnisse für diese Szenarien sind in Tabelle 22 dargestellt.

*Tabelle 22: Ergebnisse der Energiesystemmodellierung*

1. Szenario: 100% Autarkie, Wind- und PV-Anlagen	PV-Anlage: Windpark: Stromspeicher: Wärmespeicher: Wärmepumpe:	5,1 MW 2,7 MW 1,8 MWh 17,5 MWh 3,5 MW
2. Szenario: 70% Autarkie, Wind- und PV-Anlagen	PV-Anlage: Windpark: Stromspeicher: Wärmespeicher: Wärmepumpe:	0,6 MW 0,3 MW 0 MWh 3,2 MWh 0,5 MW
3. Szenario: 100% Autarkie, PV-Anlagen	PV-Anlage: Windpark: Stromspeicher: Wärmespeicher: Wärmepumpe:	22,6 MW - 7,0 MWh 20,2 MWh 7,1 MW
4. Szenario: 70% Autarkie, PV-Anlagen	PV-Anlage: Windpark: Stromspeicher: Wärmespeicher: Wärmepumpe:	1,7 MW - 0,0 MWh 4,2 MWh 1,1 MW

## Auswertung

Die Ergebnisse zeigen, dass eine vollständige Autarkie deutlich höhere Anlagenleistungen und Speichergrößen erfordert als eine 70-prozentige Autarkie. Außerdem ist eine Kombination aus Wind- und PV-Anlagen am geeignetsten, um Kreuzberg zu versorgen.

Die Potentialanalyse der Windenergie kam in Kreuzberg zu einem negativen Ergebnis. In Kreuzberg kann daher nicht von einer zukünftigen Nutzung von Windenergie ausgegangen werden. Daher fallen die Szenarien 1 und 2 als Möglichkeiten weg. In Szenario 3 stellen die PV-Anlagen die einzige Möglichkeit für die Erzeugung erneuerbaren Stroms dar. Aus diesem Grund fällt die benötigte Anlagengröße mit 22,6 MW (108 kW pro Haushalt) sehr groß aus. Die Analyse zum PV-Potential in Kreuzberg hat ergeben, dass maximal 4 MW PV-Leistung auf den Dächern Kreuzbergs installiert werden können. Selbst bei einer vollständigen Ausschöpfung dieses Potentials würden noch weitere 18,6 MW nötig sein. Kreuzberg verfügt nicht über die nötigen Freiflächen, um diese mit PV-Anlagen zu belegen. Damit erscheint eine vollständige Autarkie Kreuzbergs mit den beschriebenen Systemkomponenten als nicht möglich.

Das Szenario 4 stellt eine realistische Möglichkeit für Kreuzberg dar. Die benötigte PV-Leistung kann von den Dächern Kreuzbergs zur Verfügung gestellt werden (8,1 kW pro Haushalt) und der Wärmespeicher (20 kWh pro Haushalt) und die Wärmepumpe (5,2 kW pro Haushalt) erscheinen ebenfalls als umsetzbar. Für diesen Autarkiegrad wird eine Netzanschlussleistung von noch 325 kW benötigt.



## 7. Vorläufiges Energiekonzept

Im folgenden Abschnitt wird zu Beginn das Allgemeine Energiekonzept und im Anschluss 3 verschiedene Szenarien vorgestellt.

### 7.1. Allgemeines Energiekonzept

In dem allgemeinen Energiekonzept für Kreuzberg werden die grundlegenden Erkenntnisse der vorangegangenen Analysen und Berechnungen dargestellt. Dabei werden die gefundenen Möglichkeiten dargestellt, wobei nicht mögliche Optionen unerwähnt bleiben.

#### Einleitung

Die Gemeinde Kreuzberg steht vor der Herausforderung, eine zukunftssichere, umweltfreundliche und möglichst autarke Energieversorgung zu realisieren. Das Ziel dieses allgemeinen Konzepts ist es, die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Gemeinde erheblich zu reduzieren und gleichzeitig die lokale Energieautarkie zu erhöhen.

#### Stromerzeugung (Vorläufig)

Folgende Stromerzeugung könnte für Kreuzberg realisiert werden:

1. **Photovoltaik (PV):** Die Dachflächen in Kreuzberg bieten ein hohes Potential von maximal 3955 kWp. Damit könnte ein Ertrag von 3576,4 MWh erzielt werden (17.030 kWh pro Haushalt). Mit diesem Ertrag könnte der Strombedarf der Gemeinde von schätzungsweise 945 MWh (4500 kWh pro Haushalt) gedeckt werden. Dies ist allerdings eine bilanzielle Deckung und erfordert den Einsatz von Stromspeichern für den tatsächlichen Verbrauch dieser Energie in Kreuzberg. Wenn die Ausrichtung der Dachflächen und die wirtschaftliche Umsetzbarkeit beachtet wird kann von einem maximalen PV-Potential von etwa 2241 kWp mit einem Ertrag von 2102 MWh ausgegangen werden (10.009 kWh pro Haushalt). Aus der Energiesystemmodellierung ging hervor, dass für eine 70-prozentige Autarkie Kreuzbergs 1,7 MW PV-Leistung nötig sind. Dies ist mit dem vorhandenen PV-Potential erreichbar.
2. **Wasserkraft:** Obwohl die Ahr das Potential für ein Wasserkraftwerk mit einer Leistung von etwa 130 kW bieten würde, könnten Umweltschutzbedenken die

Realisierung erschweren. Eine gründliche Umweltverträglichkeitsprüfung wäre notwendig, um die Auswirkungen auf die lokale Flora und Fauna zu bewerten. Ein Wasserkraftwerk mit einer Größe von 130 kW könnte mit einem jährlichen Ertrag von 750 MWh die 210 Haushalte Kreuzbergs bilanziell fast vollständig mit Strom versorgen (Pro Haushalt 3.570 kWh/a). Allerdings könnte es nicht die kurzfristigen Spitzenleistungen abdecken.

3. **Netzausbau:** Das bestehende Stromnetz muss erheblich ausgebaut werden, um die Integration erneuerbarer Energiequellen zu ermöglichen. Das aktuelle Netz könnte eine maximale PV-Leistung von 257 kWp aufnehmen, wenn diese gleichmäßig über die Netzknoten eingespeist wird. Jeder Haushalt könnte damit im Schnitt 1,2 kWp PV-Leistung auf seinem Dach installieren. Durch die Vermaschung von Netzknoten und dem Einsatz von Regelbaren Ortsnetztransformatoren (RONT) könnten bis zu 791 kWp PV-Leistung installiert werden.
4. **Stromspeicher:** Stromspeicher sind dann erforderlich, wenn Kreuzberg seinen Autarkiegrad erhöhen möchte. Bei einem kostenoptimierten Ansatz sind Stromspeicher bei einer Autarkie von 70 % noch nicht wirtschaftlich. Bei einer vollständigen Autarkie von 100 % ist ein Stromspeicher erforderlich. Stromspeicher ermöglichen darüber hinaus die Installation zusätzlicher von PV-Leistung ohne zusätzliche Netzausbaumaßnahmen. Dies kann dann eine wirtschaftliche Maßnahme darstellen.

## Wärmeversorgung (Vorläufig)

### 1. Kaltwärmenetz (Low-ex-Netz)

- Nutzt eine niedrige Durchflusstemperatur von 16°C.
- Ermöglicht effiziente Wärmeübertragung mit minimalen Verlusten.

### 2. Flusswasser-Wärmepumpe

- Extrahiert thermische Energie aus dem Fluss Ahr.
- Hebt die Wärme auf ein nutzbares Temperaturniveau an und speist sie ins Netz ein.

### 3. Wärmeübertragung in Gebäuden

- Gebäude nutzen eigene Wasser/Wasser-Wärmepumpen.
- Erhöhen die Temperatur für den individuellen Wärmebedarf im Gebäude.

### 4. Wärmespeichermöglichkeiten

- Speichern überschüssige Wärme für spätere Nutzung.
- Erhöhen die Effizienz und Flexibilität des Systems.

#### 5. **Inhärente Speichereigenschaften des Kaltwärmenetzes**

- Das Netz selbst kann als "virtueller Speicher" fungieren.
- Gleicht Schwankungen in der Wärmenachfrage aus.

#### 6. **Synergieeffekte mit Photovoltaik-Anlage (PV-Anlage)**

- Intelligente Kopplung der Wärmepumpe mit PV-Anlagen.
- Nutzung von Überschussstrom aus PV-Anlagen für die Wärmeerzeugung.

#### 7. **Tagbetrieb der Flusswasser-Wärmepumpe**

- Wärmepumpe wird hauptsächlich tagsüber betrieben, unterstützt durch PV-Überschussstrom.

#### 8. **Wärmespeicher als Puffer**

- Speichert tagsüber gewonnene Wärme für spätere Nutzung.
- Trägt zur Stabilisierung des Stromnetzes bei.

### **Mobilität (Vorläufig)**

1. **Elektromobilität und Carsharing:** Die Nutzung von E-Autos für den Individualverkehr stellt eine wichtige Säule für die Mobilität der Zukunft dar. Durch den EU-Beschluss dürfen ab 2035 keine neuen Verbrennungsmotoren zugelassen werden [38]. Dies stellt das Stromnetz in Kreuzberg vor große Herausforderungen. Ein Netzausbau ist für die Integration von E-Mobilität wie PV-Anlagen erforderlich. Außerdem können elektrische Gemeindeautos zur gemeinschaftlichen Nutzung in Betracht gezogen werden.
2. **ÖPNV:** Die Reduzierung des Individualverkehrs durch den Ausbau des öffentlichen Verkehrs reduziert die CO<sub>2</sub>-Emissionen und Kosten deutlich. Die Integration in den VRM optimiert den Verkehr durch Taktfahrpläne und abgestimmte Verbindungen in Kreuzberg.
3. **Bürgerbusse:** Lokale Mobilität durch ehrenamtliche Fahrer.
4. **Mikromobilität:** Flexible Fortbewegung in städtischen Gebieten durch E-Scooter und E-Bikes.
5. **Digitale Mobilitätsplattformen:** Einheitliche Planung und Bezahlung durch MaaS.
6. **Stadtplanung und Verkehrsberuhigung:** Lebensqualität steigern durch Fußgängerzonen und das 15-Minuten-Stadt-Konzept.

# Realisierungskonzept für die Energiewende im Ort Kreuzberg im Ahrtal (SolAhtal)

## 8. Realisierungskonzept

### 8.1. Einleitung

In diesem Realisierungskonzept wird ein „Best Practice-Modell“ für die Umsetzung des Energiekonzeptes für Kreuzberg erarbeitet. Das Energiekonzept sieht einen Umstieg auf erneuerbare Energiequellen vor und soll mit einer erheblichen Transformation der Wärmebereitstellung einhergehen. Das Konzept für die Energiewende Kreuzbergs wurde bereits im ersten Teil des Masterseminars an der Technischen Hochschule Köln erarbeitet. Auf das vorgeschlagene Konzept wird in diesem Realisierungskonzept Bezug genommen. Ziel des Konzeptes ist es, eine für Kreuzberg maßgeschneiderte und praktikable Vorgehensweise für die Umsetzung des Energiekonzeptes zu erarbeiten. Dabei werden insbesondere die Aspekte Finanzierung, Wirtschaftlichkeit, Betriebskonzept und Technische Umsetzung untersucht.

#### 8.1.1. Ausgangssituation

Kreuzberg wurde von der Flut im Ahrtal 2021 zu weiten Teilen stark beschädigt. Insbesondere die Heizungstechnik der Häuser erlitt erhebliche Schäden. Dabei wurden im Ahrtal etwa 73 % der Heizungen zerstört und 12 % erlitten einen Teilschaden [39]. Durch die Notsituation wurden viele zerstörte Heizungen kurzfristig durch neue fossil-thermische Anlagen ersetzt und der Umstieg auf klimaneutrale Wärmebereitstellung hielt sich in Grenzen. Neben der Erneuerung der Heizungsanlagen, mussten auch weite Teile der Häuserstrukturen und Infrastrukturen wieder aufgebaut werden. Dies erforderte beträchtliche finanzielle Ressourcen und stellt viele Eigentümer vor finanzielle Schwierigkeiten. Zwar wurde der Aufbaufond „Aufbauhilfe 2021“ mit 30 Mrd. für die Flutschäden ins Leben gerufen, allerdings wurden erst 2,35 Mrd. davon abgerufen ( [40], Stand 26.5.2023). Die Mehrheit der Bürger im Ahrtal von 84 % wünscht sich zwar eine langfristige und nachhaltige Wärmeversorgung, jedoch fehlen die finanziellen Mittel nicht nur den Bürgern, sondern auch den Gemeinden [39]. Wenn die Verteilung der Heizungstechnologien in Rheinland-Pfalz aufs Ahrtal übertragen wird, sind etwa 47,2 % der Heizungen gasbefeuert, 25,5 % ölbetrieben, 6,2 % Holz und nur 4,4 % Wärmepumpen. Daher ist davon auszugehen das über 95 % der Heizungsanlagen nicht elektrisch und damit nicht potentiell klimaneutral betrieben werden können. Damit erscheint die Ausgangssituation im Ahrtal für die Energiewende als große Herausforderung, da die

finanziellen Mittel fehlen und eine fast vollständige Transformation der aktuellen Strukturen nötig wäre.

### 8.1.2. Ziele des Energiekonzeptes

Das innovative Energieversorgungskonzept von Kreuzberg Ahrweiler verfolgt primär das Ziel, einen signifikanten Beitrag zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen zu leisten, die Energieunabhängigkeit der Gemeinde zu fördern und lokale Wertschöpfung zu generieren. Diese Ziele sind im Kontext der globalen Bemühungen um Klimaschutz und der Notwendigkeit einer nachhaltigen Entwicklung von großer Bedeutung.

**CO<sub>2</sub>-Reduktion:** Im Zentrum des Konzepts steht die ambitionierte Absicht, die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Gemeinde drastisch zu verringern. Durch die Implementierung eines Nahwärmenetzes, das durch eine umweltfreundliche Wärmepumpe angetrieben wird, soll die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen reduziert werden. Die Nutzung von Energie aus dem Fluss Ahr, einer erneuerbaren Energiequelle, trägt wesentlich zur Senkung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks der lokalen Wärmeversorgung bei. Dieser Ansatz reflektiert das Engagement der Gemeinde für den Umweltschutz und die Erreichung der Klimaziele.

**Energieunabhängigkeit:** Ein weiteres zentrales Ziel des Konzepts ist die Steigerung der Energieunabhängigkeit. Indem lokale und erneuerbare Energiequellen genutzt werden, reduziert sich die Abhängigkeit von externen Energieversorgern und schwankenden Energiepreisen. Dies stärkt nicht nur die Resilienz der lokalen Energieinfrastruktur gegenüber globalen Marktentwicklungen, sondern trägt auch zur Sicherung der Energieversorgung bei. Die Energieautonomie fördert zudem die lokale Kontrolle und Entscheidungsfindung in Energiefragen und unterstützt eine nachhaltige Gemeindeentwicklung.

**Wertschöpfung:** Das Energiekonzept legt ebenso einen starken Fokus auf die Schaffung von lokaler Wertschöpfung. Durch die Investition in nachhaltige Energieinfrastruktur werden lokale Arbeitsplätze geschaffen und gestärkt. Die Einbindung lokaler Unternehmen in Planung, Bau und Betrieb des Nahwärmenetzes und der Wärmepumpe fördert die lokale Wirtschaft und unterstützt kleine und mittelständische Unternehmen in der Region. Darüber hinaus trägt die Investition in

erneuerbare Energieprojekte zur langfristigen ökonomischen Stabilität der Gemeinde bei, indem sie nachhaltige Einkommensquellen und Wachstumsmöglichkeiten schafft.

**Förderung der Bürgerbeteiligung:** Die Gründung einer Energiegenossenschaft ermöglicht es den Einwohnern von Kreuzberg Ahrweiler, nicht nur als Konsumenten, sondern auch als Mitgestalter und Investoren der lokalen Energieversorgung aufzutreten. Dies stärkt das Gemeinschaftsgefühl sowie die demokratische Entscheidungsfindung und fördert ein tiefgreifendes Verständnis für Energiefragen sowie für die Bedeutung von Nachhaltigkeit und Klimaschutz.

Insgesamt zielt das Energieversorgungskonzept von Kreuzberg Ahrweiler darauf ab, einen umfassenden Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung der Gemeinde zu leisten. Durch die Fokussierung auf CO<sub>2</sub>-Reduktion, Energieunabhängigkeit und lokale Wertschöpfung sowie der Teilhabe in entscheidendem Umfang adressiert es wesentliche Herausforderungen des 21. Jahrhunderts und setzt einen wichtigen Schritt in Richtung einer zukunftsfähigen, umweltbewussten Gemeinschaft.

### 8.1.3. Herausforderungen der Umsetzung

Die Herausforderungen für die Umsetzung des Energiekonzeptes sind vielfältiger Natur. Wie bereits beschrieben stellt der Mangel an privaten und kommunalen finanziellen Mittel die größte Herausforderung dar. Damit ist insbesondere die Planung einer Finanzierung des Energiekonzeptes von größter Wichtigkeit für deren Umsetzung.

Neben der Finanzierung stellt sich allerdings auch die technische Umsetzung als Herausforderung heraus. Während des Wiederaufbaus im Ahrtal war die gesamte Umgebung eine große Baustelle. Die Möglichkeit bestand also, eine nachhaltige Wärmeversorgung in Form von Nahwärmenetze direkt mit dem sonstigen Wiederaufbau zu installieren. Diese einzigartige Möglichkeit ist leider zum Großteil verstrichen. Dies kann durch mehrere Aspekte begründet werden. Zunächst herrschte im Ahrtal eine Katastrophensituation nach der Flut und die Priorität lag auf der Wiederherstellung der zerstörten Bebauungen. Außerdem stand der Winter vor der Tür und in kurzer Zeit musste die Heizungsinfrastruktur wiederaufgebaut werden. Ein Nahwärmenetz erfordert zunächst eine Machbarkeitsstudie, die die Art der Nahwärme



für die Größe der Siedlung und deren Topografie herausarbeitet. Dies nimmt Zeit in Anspruch. Wenn ein Konzept fertiggestellt wird, müssen im nächsten Schritt Investoren wie Banken oder externe Parteien gesucht werden. Dabei geht es insbesondere darum, die Kreditgeber von dem Konzept zu überzeugen. Eine Gemeinde kann ein solches Konzept selbst bauen und betreiben, sie verdient mit dem System Geld und kann den Kredit abbezahlen. Ferner muss eine Kommune nicht Gewinne erwirtschaften und kann die Wärme zum Selbstkostenpreis an die Haushalte abgeben. Dieser Prozess dauert ebenfalls seine Zeit. In der Gemeinde Dernau im Ahrtal haben beispielsweise einige Bürger bewusst keine Gasheizung eingebaut, um auf nachhaltige Nahwärme zu warten. Zwei Jahre später stehen immer noch die Übergangs-Ölheizungen vor den Häusern und die Nahwärme wurden nicht umgesetzt ( [41], Stand 14.07.2023). In dem benachbarten Ort Mariental hat es zwei Jahre gedauert, um das Nahwärmekonzept zu realisieren. Diese Zeit wäre schon eine absolute Rekordzeit, sagt Thomas Hoppenz von den Ahrtalwerken [41]. Zusätzlich zu der Dauer der technischen Realisierung kommt die Problematik, dass die Fluthilfen der Bundesregierung nur für den Aufbau der zerstörten Infrastruktur vorgesehen sind und nicht für den Aufbau einer neuen [40]. Damit müssen andere Hilfsfonds gefunden werden, um nachhaltige Konzepte zu finanzieren.

Damit sind die Herausforderungen für die Umsetzung vielfältig und hinderlich. In den folgenden Kapiteln Technische Umsetzung, Finanzierung & Wirtschaftlichkeit und Betriebskonzept wird die jeweilig Best Practice für Kreuzberg erarbeitet.

## 8.2. Experten-Interview

Am 18.12.2023 wurde ein Interview mit dem ehrenamtlichen „Aufbau-Koordinator“ Rolf Schmitt geführt, welcher einen hohen Betrag zur Realisierung des Nahwärmekonzeptes in Marienthal geleistet hat. Für sein besonderes Engagement nach dem Ahr-Hochwasser 2021 wurde er von der rheinland-pfälzischen Ministerpräsidentin Malu Dreyer mit der zweithöchsten Auszeichnung des Landes, der Landesverdienstmedaille, in der einmaligen Sonderedition „Flut 2021“ ausgezeichnet [42]. Das Interview mit Herr Schmitt soll wertvolle Erfahrung und Erkenntnisse aus Marienthal für die Realisierung in Kreuzberg nutzbar machen.

**Technische Aspekte:** In Marienthal wurde ein Nahwärmenetz errichtet, welches durch einen Pellet-Heizkessel gespeist wird. Es wurde von der Eifeler Bürgerenergiegenossenschaft EEGON realisiert. Das Netz besitzt eine Vorlauftemperatur von 80 Grad, um alle angeschlossenen Häuser bedienen zu können. In Marienthal sind insgesamt 33 von 37 Häusern an das Netz angeschlossen. Die 33 Häuser weisen sehr unterschiedliche Wärmestandards und Lastprofile auf. Das Kloster mit seiner Gastronomie ist in Marienthal der größte Wärmeabnehmer, wobei ebenfalls ein Winzerhof und ein Weingut zu den insgesamt vier Gastronomien am Wärmenetz gehören. Der Pellets-Heizkessel ist nach den neusten Standards und hocheffizient. Ferner besitzt er mehrere Schafstofffilter und damit ist sein Emissionswert relativ gering. Der Kessel erfüllt damit bereits die seit 2021 erhöhten Anforderungen an gemeinschaftliche Pelletanlagen.

Der Bezug der Pellets wird über einen Jahresvertrag der EEGON mit der Firma Van Roye aus dem Westerwald gesichert. Diese Firma hat eine eigene Schreinerei und Sägewerk und kann damit Pellets in bester Qualität herstellen, welches sich durch den geringen Ascheanteil bemerkbar macht. Die Wahl des Brennstoffes ist auf die Pellets gefallen, obwohl Hackschnitzel der günstigere Brennstoff ist. Dies kann damit begründet werden, dass Pellets zwar teurer sind, aber in allen anderen Aspekten wie Lieferung, Lagerung, Wartung und Betrieb deutlich besser geeignet sind. Herr Schmitt fährt viermal im Jahr einen LKW mit Pellets zur Anlage, bei Hackschnitzeln müsste dies fast wöchentlich geschehen. Außerdem fahren die Förderschnecken bei Hackschnitzeln öfters fest, als bei Pellets, die sehr wartungsarm sind. Außerdem ist

die Energiedichte von Pellets höher, was geringere spezifische Emissionen verursacht und weniger Lagerfläche benötigt.

Das Pellets-System wird durch eine kleine Freiflächen-Solarthermieanlage unterstützt. Allerdings gibt es im Ahrtal das allgemeine Problem, das die Tallage im Winter zu einer Verschattung zahlreicher Häuser führt und damit die PV-Unterstützung für die Heizungsanlagen wegfällt. Eine kalte Nahwärme mit Wärmepumpen und PV-Anlagen ist daher technisch schwierig umsetzbar. Daher ist für Marienthal die Pelletanlagen nach jetzigem Stand alternativlos. In Zukunft könnte der Heizkessel aber auch durch eine andere Wärmequelle wie z.B. Wasserstoff ersetzt werden. Dieser Wechsel der Primärenergie wäre bei dem Energiekonzept für Kreuzberg nicht möglich.

Das Nahwärmenetz hat eine Länge von 1.000 Metern und ist für 40 Jahre Betriebszeit ausgelegt. Eine Hohe Häuserdichte war nötig, um die Kosten bezahlbar zu halten. In Marienthal waren bereits Häuser, die 200 m vom Zentrum entfernt lagen zu weit weg. Die zusätzlichen Anschlusskosten waren dabei in keinem Verhältnis mit dem Zusatzertrag durch die Einbeziehung zusätzlicher Haushalte.

**Kosten und Betriebskonzept:** Das Abrechnungsmodell in Marienthal sieht eine Grundgebühr für die Nutzung des Nahwärmenetz von 90 € pro Monat vor, wobei der Wärmeverbrauch mit 8 ct/kWh berechnet wird. Der Verbrauchszähler befindet sich dabei an der Übergabestation des Netzes. Die teilnehmenden Häuser mussten sich an dem Investitionsvolumen beteiligen. Dabei mussten Einfamilienhäuser 15.000 € und größere Gebäude 20.000 € zahlen. Damit beliefen sich die Anteile der Eigenbeteiligung der Bürger auf etwa 515.000 €. Diese Investition wurde allerdings durch Förderungen unterstützt. Die BEG-Förderungen bezuschusste die Hausanschlusskosten mit 45 %. Dabei wurde die Leitung zwischen Hauptleitung und Hausübergabestation als Hausanschluss gewertet. Hinzu kamen insgesamt 4.000 Euro aus dem Spendenshuttel für Ahrtal und der Hochwasserhilfeverein hat jedem 2000 € ausgezahlt. Damit beliefen sich die tatsächlichen Investitionskosten für die Privathaushalte auf 3.000 bis 4.500 Euro. Die Netzkosten von etwa 1 Millionen Euro für das 1 Kilometer lange Netz wurden durch die EFRE-Förderung der EU mit 50 % unterstützt. Ein weiterer kostensenkender Effekt war, dass das Nahwärmenetz mit der Neuverlegung von Strom, Wasser, Glasfaser und Straßenbeleuchtung im Zuge des Wiederaufbaus verlegt wurde. Dies hat die Installationskosten geviertelt, da die

Straßen nicht extra fürs Wärmenetz wiederaufgerissen werden mussten. Ferner waren die Material- und Installationskosten zu diesem Zeitpunkt noch gering. Außerdem gab Herr Schmitt den Tipp, dass die Netzlänge und Verlegungskosten reduziert werden kann, indem die Leitungen durch Privatgrundstücke gelegt werden. Diese Faktoren haben zusammen zu sehr geringen Kosten für das Nahwärmenetz in Marienthal beigetragen.

Im Nachbarort Rech wird ein kaltes Nahwärmenetz mit einer Freiflächen-PV-Anlage geplant bei der sich die ursprünglichen Investitionskosten von 1,6 Mio. € auf aktuell über 4 Mio. € verdreifacht haben. Auch Altenburg hat mit weglaufenden Kosten für ihr Kaltwärmenetz zu kämpfen. In den letzten Jahren sind sehr starke Preissteigerungen aufgetreten, die die Wirtschaftlichkeit der Projekte erheblich erschweren. Neben den Mehrkosten ist auch die Materialverfügbarkeit ein Problem. Der Markt für die nötigen Komponenten ist bereits belastet.

Die Installation und der Betrieb der Anlage wurde von EEGON übernommen. Damit ist EEGON für die technische Betriebsführung und Verwaltung des Nahwärmenetzes verantwortlich. Zu der Verwaltung zählt die Durchführung des Abrechnungsmodelles, der monatliche Einzug der Beiträge, die Abfrage der Zählerstände und die Beauftragung von Wartung. Diese Aufgaben werden oftmals bei vielen Bürgermodellen vergessen und führen zu Problemen. Die Wartung des Heizungsgebäude übernimmt in Marienthal eine Mini-Job-Stelle. Diese kümmert sich darum, das die Anlage ordentlich laufen kann. Der Hersteller der Pelletsanlage kommt aus Blankenheim und wurde auch mit der Wartung der Anlage beauftragt. Er kann über Fernsteuerung auf die Anlage zugreifen und Probleme identifizieren. Außerdem ist der Fernabruf der Hausanschlüsse möglich.

**Finanzierung und Herausforderungen:** Die Finanzierung ist ein kritischer Aspekt, besonders hinsichtlich der Eigenkapitalquote und der Nutzung von Fördermitteln. In Marienthal konnten weite Teile der Investition durch Förderungen gedeckt werden und es wurden erhebliche Einsparungen durch Synergieeffekte in der Installation erzielt. Die Kosten die auf Marienthal zukamen, sind aktuell nicht mehr erreichbar. Dies zeigt sich bei den Nachbargemeinden, die mit erheblichen Preissteigerungen für ihr Nahwärmenetze zu kämpfen haben. In Marienthal hat EEGON die Finanzierung übernommen, wobei die Eigenbeteiligungen durch die Bürger zu entrichten waren. Ein

wichtiger Punkt dabei ist, dass der Bau eines solchen Nahwärmenetz mit einer erheblichen Vorleistung einhergeht, welche nicht zu unterschätzen ist. Zwar werden die Förderungen irgendwann ausgezahlt, aber um die Zeit zu überbrücken ist Eigenkapital oder ein Bankkredit nötig. Bei dem aktuellen Zinsniveau von 3 bis 4 % kann dies eine Wirtschaftlichkeit ins Schwanken bringen. Bei dem Finanzierungskonzept werden die Grundkosten für das Netz zum Teil an die Bürger weitergegeben. Die übrigen Investitionskosten werden über die Energiegenossenschaft getragen, die nach einiger Betriebszeit amortisiert sein soll. In Marienthal wurde vereinbart, dass zwei Jahre lang mit den Schätzwerten zum Energieverbrauch gearbeitet wird, bevor die tatsächlichen Verbrauchswerte abgerechnet werden.

Eine weitere Herausforderung ist die Unsicherheit über die Netzanschlusszahlen, also wie viele Haushalte sich zu einem Anschluss an das Nahwärmenetz entscheiden. Damit einher geht das Kernproblem der Kostenabschätzung. Diese ist insbesondere am Anfang sehr schwer. In Marienthal konnte sich zeitnah klären das 33 Häuser angeschlossen werden wollten, das Konzept war rentabel und es wurde damit umgesetzt. Im Prozess der Planung kann es damit zu regelrechten Kämpfen um den Hausanschluss führen. Dabei wird jeder Hausbesitzer einzeln angesprochen und versucht zu überzeugen. Dafür braucht man verlässliche Zahlen zu den Kosten, die allerdings zunächst schwer abschätzbar sind. Daher ist eine gute Vorgehensweise, zunächst die maximalen Kosten für das System anzugeben und zu spätere Zeit dann ggfs. günstigere Preise zu nennen. Diese Herangehensweise schafft Akzeptanz und Vertrauen.

Die Motivation der Hausbesitzer ist ebenfalls ein kritischer Aspekt. In Marienthal war die Motivation durch den Verlust der Heizsysteme nach der Flut groß, ein nachhaltiges System zu nutzen. In Orten wie Kreuzberg, wo viele schon eine eigene neue fossilthermische Anlage installiert haben, ist die Motivation zum Anschluss an das Netz praktisch nicht gegeben. Sie würden dann ihre bereits getroffene Investition zunichte machen. Dieses Problem haben zahlreiche Gemeinden bei der Umsetzung gemeinschaftlicher Energiekonzepte.

**Zukunftsplanung und Netzbetrieb:** Für die Zukunft sind weitere Entwicklungen in Marienthal geplant. Dazu gehört die Überdachung eines Parkplatzes mit einer PV-

Anlage. Diese soll in Kombination mit einem Stromspeicher das Heizungshaus mit seinen Pumpen mit Strom versorgen und damit die Effizienz des Gesamtsystems weiter steigern. Bei dem Netzbetrieb kam es in Marienthal im Winter 2022/23 zu drei Totalausfällen. Diese wurden durch die Kappung der Hauptstromleitung in einem Nachbarort verursacht. In solcher Situation muss zügig gehandelt werden und über Maßnahmen wie Notstromgeneratoren kann nachgedacht werden. Ein Ausfall eines heißen Nahwärmenetzes ist außerdem unkritischer als der Ausfall eines kalten Nahwärmenetzes. Dies ist der höheren Wärmespeicherkapazität des heißen Netzes geschuldet und der höheren Unabhängigkeit von Stromausfällen. Zwar funktionieren die Pumpen auch bei einer Pelletsanlage ohne Strom nicht mehr, jedoch kann durch ein Notstromaggregat ein Notbetrieb aufrechterhalten werden. Bei einem durch eine Wärmepumpe gespeisten Nahwärmenetz ist ein Betrieb mit einem Notstromaggregat im Winter allerdings nicht machbar.

Ein weiterer Aspekt ist die Modularität und Ausbaufähigkeit des Systems. In Marienthal besteht noch die Kapazität für 5 weitere Häuser. Es gibt zum Zeitpunkt des Interviews bereits drei Interessierte für den Anschluss. Außerdem gibt es die Überlegung für ein Neubaugebiet, welches ebenfalls an das Netz angeschlossen werden könnte. Dies würde allerdings einen Austausch des Heizkessels oder den Parallelbetrieb eines weiteren Heizkessels erfordern. Eine Erweiterung ist vor dem Hintergrund der Modularität des Systems daher effizient umsetzbar. Für die neu angeschlossenen Häuser würden die gleichen Anschluss- und Verbrauchspreise gelten. Allerdings könnten sie nicht mehr von Spenden profitieren, die im Zuge des Neuaufbaus verteilt wurden.

In Kreuzberg war die Energiegenossenschaft EEGON bereits aktiv, allerdings sah sie von einer Umsetzung eines Nahwärmenetzes in Kreuzberg ab. Die Gründe dafür waren insbesondere die Größe des Ortes, die Abstände zwischen den anzuschließenden Häusern und die zum Teil starke Steigung. Ferner war die Errichtung des Heizungshauses an der nötigen Stelle im Ort nicht gewährleistet. Die Abkehr EEGONs von Kreuzberg wirft ein pessimistisches Bild auf die Bestrebungen dieses Konzeptes. Nichtsdestotrotz werden die Erkenntnisse und Erfahrungen aus dem Interview mit Herrn Schmitt bestmöglich für die Realisierung des Energiekonzeptes in Kreuzberg genutzt.

### 8.3. Technische Umsetzung

Die technische Umsetzung des Energiekonzeptes in Kreuzberg steht vor verschiedenen Herausforderungen, wie die Installation des Nahwärmenetzes, die Errichtung der Wärmezentrale und der Aufbau von privaten PV-Anlagen.

#### 8.3.1. Fachfirmen & Spezialisten

Für die technische Umsetzung des Energiekonzeptes sind verschieden Arten von Fachfirmen und Spezialisten erforderlich. Im Folgenden eine Übersicht dieser mit den jeweiligen Abkürzungen:

##### 1. Nahwärmenetz und Wärmezentrale

- **Tiefbauunternehmen [TB]** (Grabungsarbeiten und die Verlegung der Rohrleitungen)
- **Spezialisten für Wärmetechnik [WT]** (Planung und Errichtung der Wärmezentrale, inklusive der Integration der Flusswärmepumpe)
- **Rohrleitungsbauer [RB]** (Installation und Wartung des Rohrleitungssystems)
- **Elektrotechnik-Unternehmen [ET]** (elektrische Anbindung & Steuerungstechnik der Wärmezentrale und des Nahwärmenetzes)

##### 2. Hausübergabestationen (HÜS) für Privathaushalte

- **Heizungs- und Sanitärunternehmen [HS]** (Installation & Wartung)
- **Energieberater [EB]** (individuelle Beratung & Planung der Wärmepumpensysteme sowie Unterstützung bei Förderanträgen)

##### 3. PV-Anlagen auf Dächern

- **Solarteuer [ST]** (Planung, Installation und Wartung)
- **Dachdeckerunternehmen [DD]** (Ggf. für Vorbereitungen am Dach)
- **Elektroinstallateure [EI]** (Netzanschluss der PV-Anlagen & Installation von Wechselrichtern)



#### 4. Zusätzliche Dienstleister

- **Planungs- / Ingenieurbüros [PB]** (Gesamtplanung des Projekts, inklusive Machbarkeitsstudien, technischer Planung & Koordination der verschiedenen Gewerke)
- **Umwelt- und Baugutachter [UG] [BG]** (Durchführung von Umweltverträglichkeitsprüfungen & die Einhaltung von Baustandards)
- **Rechts- und Finanzberater [RB] [FB]** (Klärung rechtlicher Fragen & die Organisation der Finanzierung, einschließlich der Inanspruchnahme von Fördermitteln)

#### 5. Betriebsphase

- **Technischer Betriebsführer [TBF]** (Überwachung & Steuerung des technischen Betriebes)
- **Verwalter [V]** (Abrechnung, Kundenbetreuung, Kommunikation)

#### 8.3.2. Projektablaufplan

In der folgenden Übersicht wird bei jedem Punkt dargestellt, welche Firma für den jeweiligen Arbeitsschritt gebraucht wird und welche Zeit der Schritt etwa in Anspruch nimmt (angelehnt an DIN 69901). Folgende Schritte sind für die Realisierung nötig und können als Best Practice gewertet werden:

##### 1. Planungsphase (13 - 32 Monate)

###### a) Technische Bedarfsanalyse & Machbarkeitsstudie [PB] (3-6 Monate)

- I. Beauftragung der Machbarkeitsstudie
- II. Definition der Projektziele & Stakeholder
- III. Energiebedarfsanalyse & Standortanalyse
- IV. Technologieauswahl & Infrastrukturbewertung
- V. Umwelt- & Sozialverträglichkeitsprüfung
- VI. Kostenabschätzung & Rentabilitätsanalyse
- VII. Risikoerkennung & Risikominderung
- VIII. Erstellung eines Machbarkeitsberichts

###### b) Standortwahl der Wärmezentrale [WT] [PB] [UG] [BG] (2-4 Monate)

- I. Identifikation potenzieller Standorte (Flussnähe)
- II. Infrastrukturanbindung (Entfernung Nahwärmenetz)
- III. Ökologische Auswirkungen (Flussökologie)
- IV. Kostenanalyse (Vergleich der Standorte)
- V. Compliance-Prüfung (Erfüllung rechtlicher Anforderungen)
- VI. Entscheidungsbeschluss

c) Entwurf des Nahwärmenetzes [WT] [PB] [UG] [BG] [RB] (3-6 Monate)

- I. Bedarfs- und Kapazitätsermittlung
- II. Routenplanung und Netzdesign
- III. Technische Spezifikationen
- IV. Integration der privaten Wärmepumpen
- V. Umweltverträglichkeitsprüfung (Auswirkung bestehender Infrastruktur)
- VI. Kostenschätzung
- VII. Compliance-Prüfung (Erfüllung rechtlicher Anforderungen)
- VIII. Abschließende Planung und Dokumentation

d) Genehmigungsverfahren [PB] [UG] [BG] [RB] [FB] (3-12 Monate)

- I. Ermittlung der erforderlichen Genehmigungen
- II. Beauftragung von Gutachten (ökologisch, technisch)
- III. Erstellung der Antragsunterlagen
- IV. Konsultation mit Behörden
- V. Einreichung der Anträge
- VI. Nachverfolgung und Anpassungen
- VII. Erhalt der Genehmigung

e) Ausschreibung [PB] (2-4 Monate)

- I. Erstellung der Ausschreibungsunterlagen
- II. Veröffentlichung der Ausschreibung
- III. Einreichungsfrist
- IV. Prüfung der Angebote
- V. Verhandlung & Auswahl

- VI. Vergabe der Aufträge
- VII. Vertragsabschluss

## 2. Errichtung der allgemeinen Infrastruktur (6 – 12 Monate)

### a) Bau der Wärmezentrale [WT] [ET] [RB] (6-12 Monate)

- I. Bestellung der Komponenten
- II. Vorbereitung des Baugeländes
- III. Konstruktion der Wärmezentrale
- IV. Anbindung an das Nahwärmenetz
- V. Inbetriebnahme & Testlauf
- VI. Abschlussdokumentation & Übergabe

### b) Verlegung des Nahwärmenetzes [TB] [RB] [WT] [ET] (6-12 Monate)

- I. Beschaffung der Materialien
- II. Baustelleneinrichtung (Verkehrsumleitung)
- III. Graben- und Tiefbauarbeiten
- IV. Verlegung der Rohrleitungen
- V. Anschlussarbeiten- & Netzintegration
- VI. Druck- & Dichtigkeitsprüfung
- VII. Abschlussarbeiten & Inbetriebnahme

## 3. Errichtung der privaten Infrastruktur (4 – 20 Monate)

### a) Beratung & Planung [EB] [ST] [HS] (1-3 Monate)

- I. Informations- und Beratungssitzungen
- II. Kostenschätzung, Finanzierung & Förderungen
- III. Individuelle Auslegung durch Solarteur und Sanitärfirma

### b) Installation der HÜS [HS] (1-3 Monate pro Haus) (parallel)

- I. Bestellung der Komponenten durch gewählte Installationsfirma
- II. Vorbereitung der Installationsorte
- III. Lieferung der HÜS

## IV. Montage und Anschluss

c) Installation der PV-Anlage [ST] [DD] (1-3 Monate pro Haus) (parallel)

- I. Bestellung der Komponenten durch gewählten Solarteur
- II. Montage der Unterkonstruktion
- III. Installation der PV-Module
- IV. Elektrische Installation
- V. Inbetriebnahme & Netzanschluss

d) Inbetriebnahme & Feinabstimmung [ST] [HS] [PB] (1 Monat)

- I. Technische Überprüfung
- II. Funktion- & Leistungstests
- III. Systemkalibrierung
- IV. Integration in Energiemanagementsystem
- V. Etablierung eines Wartungsplans

**4. Integration des Systems (1 – 2 Monate)**a) Wärmenetzanschluss der HÜS [HS] [PB] (1-2 Monate)

- I. Verbindungsherstellung (Übergabestation)
- II. Hydraulische Abstimmung
- III. Inbetriebnahme & Feinjustierung

b) Kalibrierung des Systems [WT] [HS] (1-2 Monate)**5. Betriebsphase (Laufend)**a) Überwachung & Wartung [TBF] [WT] [HS] [RB] [PB] (Laufend)b) Energie- & Leistungsmanagement [WT] [PB] (Laufend)c) Kundenbetreuung [V] (Laufend)

- I. Verbrauchsabrechnung
- II. Kundenservice

Diese Punkte beschreiben den Projektablauf mit den erforderlichen Schritten für die Realisierung des Energiekonzeptes. Dabei wird deutlich, dass zahlreiche Arbeitsschritte von der Planung, über die Errichtung bis hin zur Betriebsphase nötig sind. Für eine Umsetzung sind diverse Firmen und Spezialisten erforderlich, die zusammenarbeiten müssen.

Die Gesamtzeit der Realisierung würde mit den getroffenen Annahmen zwischen 24 und 66 Monate dauern. Dies entspricht einer Projektdauer von 2 bis 5,5 Jahren.

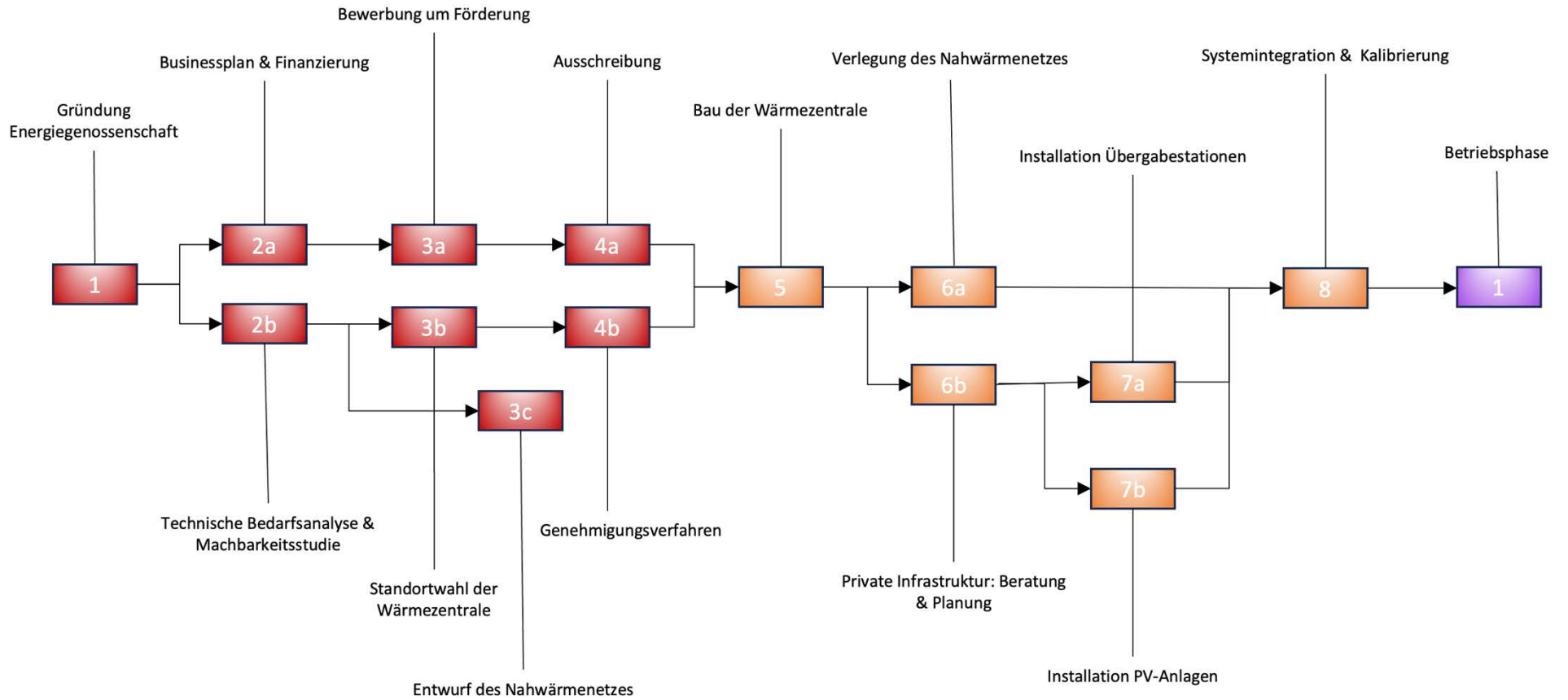


Abbildung 28: Darstellung der Arbeitspakete zur Realisierung des Energiekonzeptes

### 8.3.3. Beschreibung des Energiekonzeptes

Im Rahmen der Entwicklungsinitiativen in Kreuzberg wird ein innovatives Energieversorgungskonzept angestrebt, das auf die Erreichung der Klimaneutralität in der Wärmeversorgung der lokalen Gebäudeinfrastruktur abzielt. Das fundamentale Element dieses Konzepts besteht aus einem Nahwärmenetz, welches durch eine fortschrittliche Wärmepumpe angetrieben wird. Diese Wärmepumpe extrahiert Energie effizient aus der durch Kreuzberg fließenden Ahr und dient als primäre Energiequelle für das kalte Nahwärmenetz. Das System ist konzeptionell so ausgelegt, dass es eine Vorlauftemperatur von 40 Grad Celsius liefert, was es besonders geeignet für die direkte Integration in Flächenheizsysteme macht, z.B. in Fußbodenheizungen, die in den Wohngebäuden der Gemeinde verbreitet sind. Siehe Abbildung 29

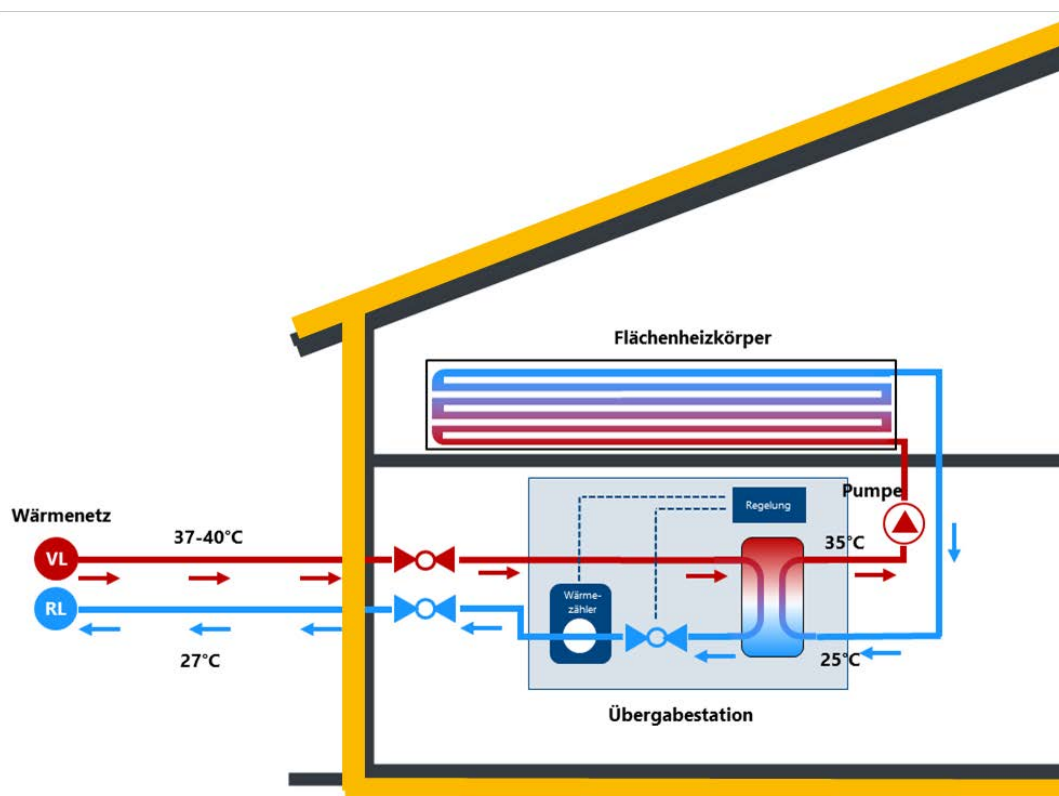


Abbildung 29 System Schema bei gutem Gebäudestandard

Für Gebäude, die nicht über solche Flächenheizsysteme verfügen oder die aufgrund ihres baulichen Zustands höhere Vorlauftemperaturen benötigen, bietet das Konzept eine flexible Lösung. Diese Gebäude können die von dem Nahwärmenetz bereitgestellte Grundtemperatur durch ihre bestehenden Heizungsanlagen (Gas, Pellets, Öl oder Strom) anzuheben, um den spezifischen Heizbedarf zu decken. Siehe Abbildung 30





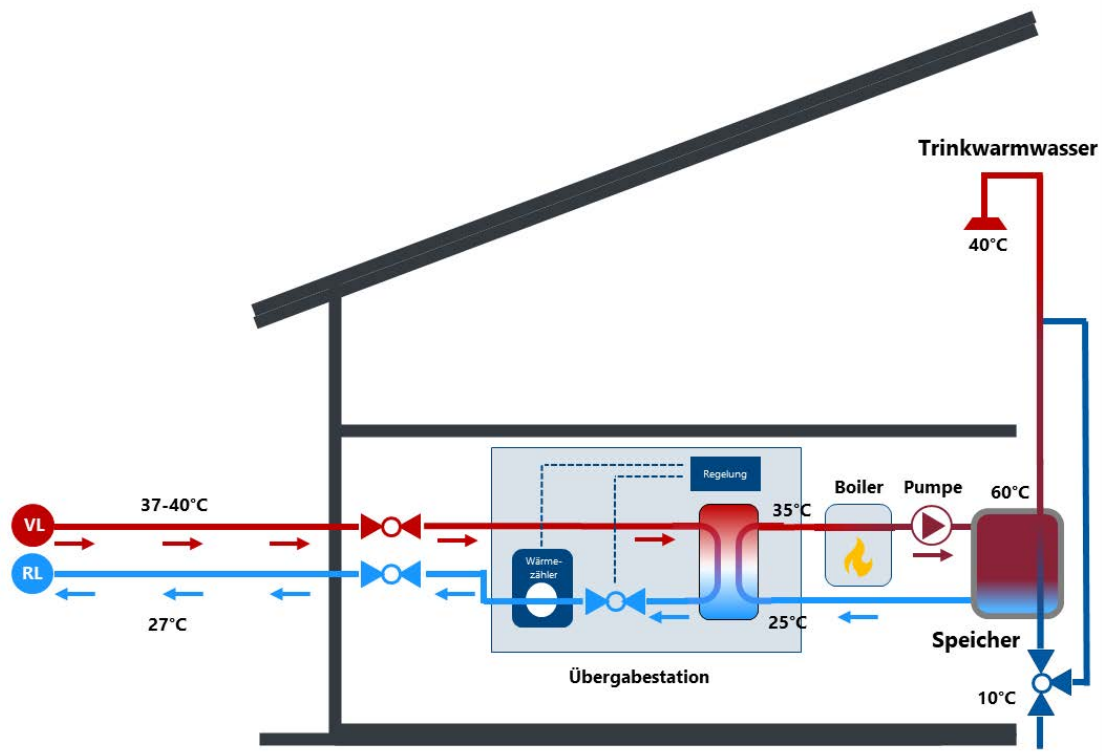


Abbildung 31 Systemschema Trinkwarmwasser

Abbildung 31 zeigt die schematische Darstellung der Trinkwarmwassererwärmung über das Nahwärmenetz. Aufgrund der hygienischen Anforderungen bezüglich des Legionellenschutzes ist es nötig das Trinkwarmwasser zu duschzwecken zeitweise auf 60 °C zu erhitzen. Um diesen Anforderungen zu entsprechen kann wahlweise das bestehende Kombigerät verwandelt werden oder aber eine weitere Einheit zu Trinkwassererwärmung. Dezentrale Elektrodurchlauferhitzer bieten eine kostengünstige und Klimaneutrale Möglichkeit von wenigen Hundert Euro die Erwärmung des Trinkwassers zu gewährleisten. In Übergangs- sowie Sommermonaten kann der dafür benötigte Strom aus der eigenen Photovoltaikanlage verwendet werden. Strom oder Wärmespeicher können den Anteil des selbstverwendeten Solarstrom für die Trinkwassererwärmung oder im Falle eines Batteriespeichersystems den Nutzerstrom maximieren.

Mit der fortschreitenden Sanierung und Verbesserung des Gebäudebestands ist zu erwarten, dass eine zunehmende Anzahl von Gebäuden in der Lage sein wird, die Wärmeversorgung durch das Nahwärmenetz direkt zu nutzen, ohne eine zusätzliche Anpassung der Vorlauftemperatur vornehmen zu müssen. Selbst Gebäude, die aktuell nicht vollständig für einen ganzjährigen Betrieb mit der direkt bereitgestellten Wärme

geeignet sind, können von diesem System in den wärmeren Monaten profitieren. Dies unterstreicht das Engagement für Energieeffizienz und Nachhaltigkeit in der Gemeinde und fördert die langfristige Vision einer umweltfreundlichen Energieversorgung.

Die Energieversorgung für die Wärmepumpe wird sowohl durch lokal erzeugten Photovoltaik-Strom als auch über das öffentliche Netz sichergestellt. Diese duale Stromversorgung und das Wärmepumpen-System selbst gewährleisten eine hohe Zuverlässigkeit und Klimafreundlichkeit unter der Berücksichtigung der Kosten.

Um die finanzielle Grundlage für dieses ambitionierte Projekt zu schaffen, wird ein Bürgerenergiegenossenschaftsmodell vorgeschlagen. Dieses Modell ermöglicht es den Bewohnern von Kreuzberg Ahrweiler, direkt an der Energiezukunft ihrer Gemeinde teilzuhaben und von den ökonomischen sowie ökologischen Vorteilen des Nahwärmenetzes nicht nur indirekt, sondern auch direkt zu profitieren. Die Energiegenossenschaft ermöglicht außerdem gemeinsame Großbestellungen für Photovoltaikanlagen-Komponenten und somit einen finanziellen Vorteil gegenüber der Einzelanschaffung.

Photovoltaikanlagen tragen in diesem Kontext nicht nur zur Reduktion des Bedarfs an extern bezogenem Strom bei, sondern setzen auch wichtige Anreize für den Übergang zur Elektromobilität. Insbesondere batteriebetriebene Fahrzeuge, wie Elektrofahrräder, Elektromopeds und Elektroautos, profitieren von der Möglichkeit, mittels lokal produziertem Strom aus Photovoltaikanlagen kosteneffizient geladen und betrieben zu werden. Darüber hinaus eröffnet die Technologie des bidirektionalen Ladens perspektivisch neue Potenziale für das Energiemanagement innerhalb des lokalen Stromnetzes. Durch die Rückeinspeisung von Strom aus den Batterien der Elektrofahrzeuge in das Stromnetz können diese Fahrzeuge als effiziente Zwischenspeicher für elektrische Energie fungieren. Dies ermöglicht eine flexible Nutzung überschüssiger Energiekapazitäten, ohne dass hierfür auf kostenintensive stationäre Speichersysteme zurückgegriffen werden muss. Die Integration solcher Funktionen stärkt die Resilienz des lokalen Energiesystems und fördert eine effizientere Nutzung erneuerbarer Energiequellen.

Dieses innovative Energiekonzept steht beispielhaft für den Übergang zu einer nachhaltigeren und klimabewussteren Energieversorgung. Es demonstriert, wie lokale Ressourcen effizient genutzt werden können, um den energetischen Bedarf einer Gemeinde zu decken, während gleichzeitig die Umwelt geschont und die Lebensqualität der Bewohner verbessert wird. Kreuzberg hat mit diesem Projekt die Möglichkeit ein klares Zeichen für den Klimaschutz und für die aktive Gestaltung einer nachhaltigen Zukunft zu setzen.

#### 8.3.4. Beschreibung des Flusswasser-Wärmepumpensystems

Für die Wärmebereitstellung des Wärmenetzes ist eine Wärmepumpe geplant die mittels Flusswasserwärmetauscher die Ahr als Wärmequelle anzapft und somit sonst nicht genutzte Umweltwärme zu Beheizung der Gebäude ermöglicht. Elementar bei der Auslegung von Wärmepumpensystemen sind die verschiedenen Temperaturniveaus, welche die WP in Ihrem betrieb zur Verfügung stehen. Dabei gilt: Je geringer der Temperaturhub der Quelltemperatur auf Nutzwärmetemperatur ist, desto effizienter arbeitet die Wärmepumpe bzw., desto besser ist ihr „COP“ Coefficient of Performance, der beschreibt die viel Strom aufgewendet werden muss um einen bestimmten Wärmestrom zu erzeugen. Dieser Wert dient oft als Vergleichswert unterschiedlicher WP-Systeme. Da sich diese Temperaturniveaus über das Jahr hinweg verändern, verändern sich auch die COP also die Betriebspunkte der Wärmepumpe. Die unterschiedlichen Betriebspunkte im Verhältnis mit der an diesem Zeitpunkt zu liefernden Wärmemenge beschreibt den „SCOP“ Seasonal COP. Für den Wirtschaftlichen Systemvergleich wird jedoch die „JAZ“ Jahresarbeitszahl benötigt, welche die von der WP produzierte Wärme abzüglich der Systemverluste im Verhältnis zum im System aufgenommenem elektrischem Strom bezieht.

*Formel 5: Berechnung der Jahresarbeitszahl*

$$JAZ = \frac{\text{von der WP produzierte Wärme} \left[ \frac{kWh}{a} \right] - \text{Verluste} \left[ \frac{kWh}{a} \right]}{\text{vom System aufgenommene elektrische Energie} \left[ \frac{kWh}{a} \right]}$$

Die JAZ betrachtet also nicht nur noch das System Wärmepumpe an einem Betriebspunkt, sondern die Gesamtanlage über ein ganzes Jahr. Typischerweise wird die JAZ im Nachhinein mit realen Messwerten bestimmt. Näherungsweise kann die Effizienz des Systems aber mit dem SCOP beschrieben werden. Voraussetzung dafür ist eine möglichst genau Aufschlüsselung der Temperaturverläufe im System.

Für die Flusswasserwärmepumpe wird hinsichtlich der EU F-Gas Verordnung das natürliche Kältemittel R600a (Isobutane) verwendet, um sicher zu stellen, dass auch zukünftig alle Regularien eingehalten werden.

Für die Auslegung der Wärmepumpe wird sich wie auch hier meist an der maximalen Wärmelast und am Betriebspunkt orientiert, welcher den größten Temperaturhub zwischen Verdampfer und Kondensator aufweist. Demnach wurde diese Anlage auf eine Wärmelast von 3MW Spitzenleistung ausgelegt, wobei bei zeitweise eventuell geforderter Überlast noch weiter elektrisch Nacherhitzt werden kann.

Da die Verdampfung des Kältemittels durch die Wärme des Flusses erfolgt, ist das Temperaturniveau des Flusses von entscheidender Bedeutung. Leider standen während der Entwicklung dieses Konzeptes keine detaillierten Daten zum Temperaturverlauf der Ahr zur Verfügung. Vor diesem Hintergrund wurde der Temperaturverlauf der Ahr näherungsweise mithilfe des Temperaturverlaufs ihres Nebenflusses modelliert. Dabei kamen die Wasser-Temperaturen des Rheins von der nächstgelegenen Pegelstation „Oberwinter“ zum Einsatz, die um 2 Kelvin nach unten angepasst wurden, um der Erkenntnis Rechnung zu tragen, dass die Ahr tendenziell etwas kühler ist. Auf diese Weise wurden minimale Temperaturen von 3 °C ermittelt.

Es ist hervorzuheben, dass für eine präzisere Analyse die Durchführung von Messungen in Kreuzberg empfohlen wird, um eventuelle Abweichungen zu identifizieren und zu korrigieren. Zudem ist es erforderlich, zu verifizieren, dass die Durchflussmenge der Ahr während der Heizperiode ausreichend ist. Für diese Analyse wurden die öffentlich ausgewiesenen durchschnittlichen Durchflussmengen, die bei 8,9 m<sup>3</sup>/s liegen, zugrunde gelegt.

Auf folgenden Parameter ergeben den in Abbildung 32 gezeigte Betriebspunkt der Wärmepumpe.

*Temperatur Nahwärmenetz = 37 – 40°*

*Temperaturspreizung für Wärmeübertagung zwischen Fluss und Kältemittel 3 K*

*Kondensation Kältemittel = 40°C / 5,31 bar*

*Verdampfung Kältemittel = –3 °C / 1,41 bar*

*Unterkühlung = 10 K*

*Flusswassertemperatur = 3 °C*

*Temperaturspreizung für Wärmeübertragung zwischen Fluss und Kältemittel 6 K*

*Verdichterwirkungsgrad = 75*

**TLK ENERGY**

### log p-h Diagramm

Auswahl Kältemittel  
Iso-Butane (R600a)

Kreislauf definieren  
Temperatureniveaus (Verd./...)

Kondensationstemperatur: 40 °C

Verdampfungstemperatur: -3 °C

Überhitzung: 0 K

Unterkühlung: 10 K

Verdichterwirkungsgrad: 0,75

EN

log(p)-h Diagramm Iso-Butane (R600a)

COP (Wärmepumpe) = 5.18 / COP (Kältemaschine) = 4.18

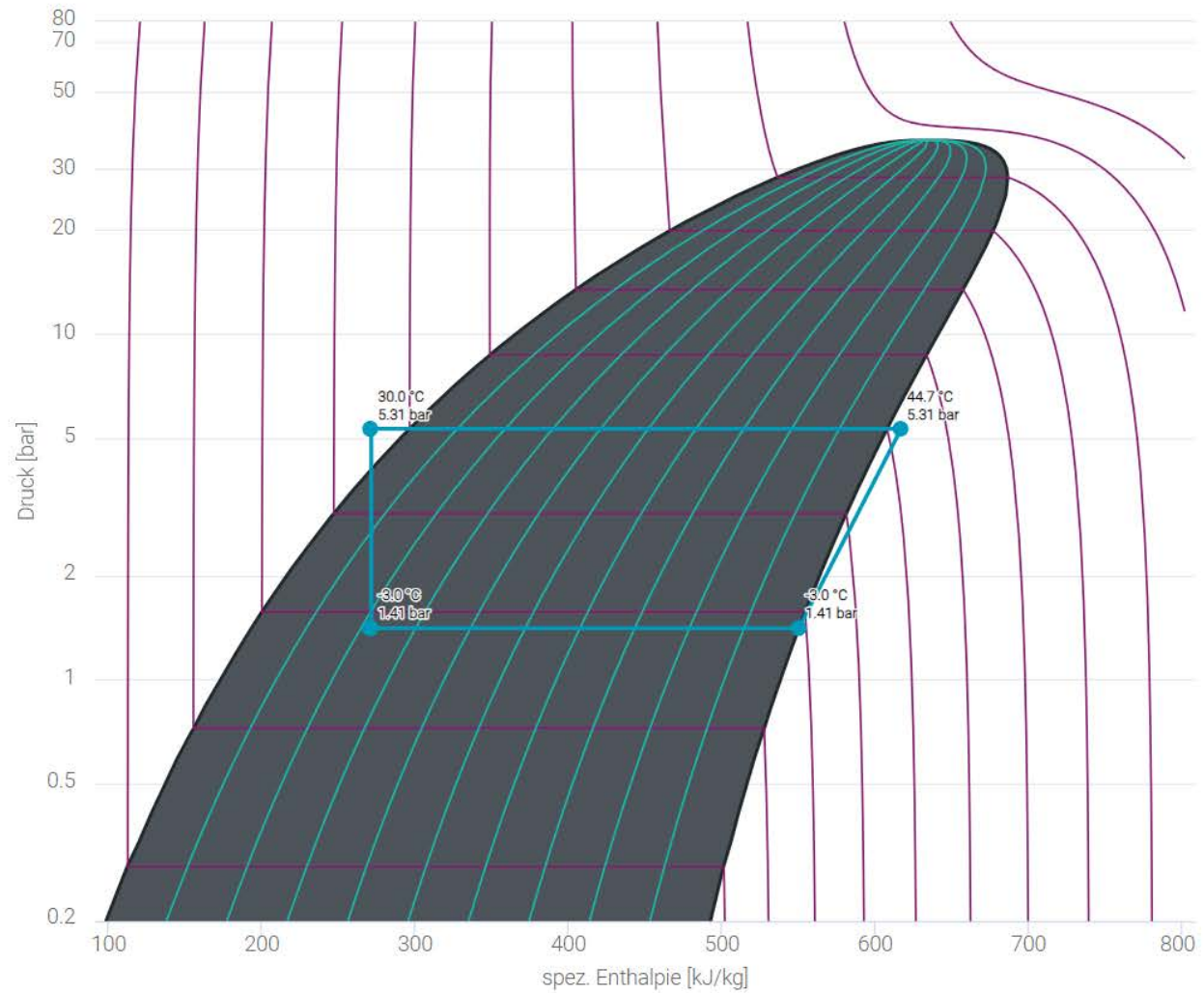
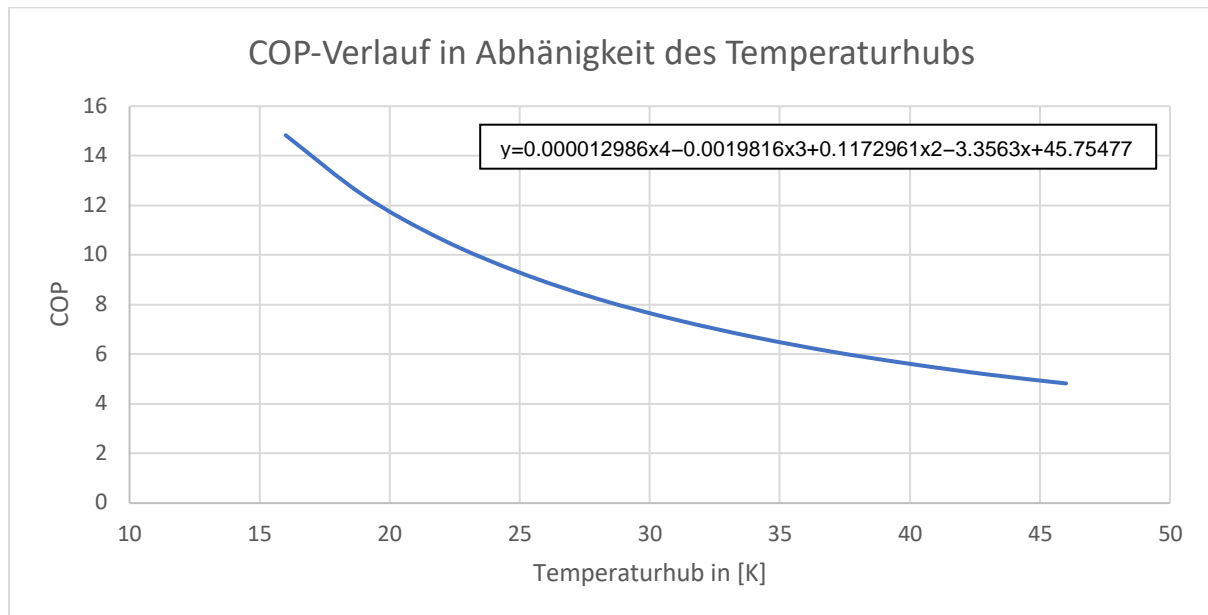


Abbildung 32 Auslegung Wärmepumpe [43]



Für die Berechnung des SCOP wurden auf dieser Grundlage COP-Werte für verschiedene Verdampfertemperaturen bestimmt.



Aus diesem COP-Verlauf wurde anschließend ein Polynom erstellt mit dessen Hilfe die COP-Werte bei unterschiedlichen Temperaturen berechnet werden konnten. Aus der fixen Kondensationstemperatur, dem modellierten Temperaturerlauf der Ahr übers Jahr und diesem Polynom ergeben sich damit die COP-Werte der einzelnen Betriebspunkte im Jahresverlauf. Anschließend wurden diese COP-Werte mit der zu diesem Zeitpunkt benötigten Heizlast multipliziert, aufsummiert und anschließend durch den jährlichen Wärmebedarf geteilt. Somit wurden also die einzelnen Betriebspunkte gewichtet und zu einem SCOP zusammengefasst. Dieser SCOP beläuft sich auf 6,03.

*Formel 6: Berechnung des SCOP*

$$SCOP = \frac{\sum_{i=1}^{365} (COP_i \times \text{Energienmenge}_i)}{\sum_{i=1}^{365} \text{Energienmenge}_i}$$

## Gewässerschutz

Die Entnahme von Wärme aus Gewässern für Heiz- oder Kühlzwecke mittels Wärmeübertragern ist eine innovative Methode, die das Potential hat, erneuerbare Energiequellen effizient zu nutzen. Eine solche Anwendung am Beispiel der Ahr zeigt, wie die Implementierung eines Wärmeentzugssystems unter Berücksichtigung von Gewässerschutzmaßnahmen realisiert werden kann.

Bei einer Entzugsleistung von max. 3,5 MW aus der Ahr, die einen durchschnittlichen Durchfluss von 8,9 m<sup>3</sup>/s aufweist, resultiert die Wärmeentnahme in einer minimalen Temperatursenkung von nur 0,094°C. Dies unterstreicht, dass selbst bei signifikanter Energiegewinnung die thermische Beeinflussung des Gewässers äußerst gering ist. Solch eine geringfügige Temperaturänderung hat voraussichtlich keine negativen Auswirkungen auf die aquatische Fauna und Flora, was die Methode besonders umweltverträglich macht.

Formel 7: Berechnung der Temperaturerhöhung der Ahr

$$\Delta T = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_{Wasser} * cp_{Wasser}}$$

$$\Delta T = \frac{3.500kW}{8.900 \frac{kg}{s} * 4,18 \frac{kJ}{kg * K}} = 0,0941 K$$

Tabelle 23: Ergebnisse der Temperaturerhöhung der Ahr

Leistung	Durchfluss Ahr			
	12 m <sup>3</sup> /s	9 m <sup>3</sup> /s	6 m <sup>3</sup> /s	3 m <sup>3</sup> /s
1.500 kW	0,03 °C	0,04 °C	0,06 °C	0,12 °C
3.000 kW	0,06 °C	0,08 °C	0,12 °C	0,24 °C
4.500 kW	0,09 °C	0,12 °C	0,18 °C	0,36 °C

Für die Wärmeentnahme wird eine Betonwanne konstruiert, in der ein schwimmender Plattenwärmetauscher platziert ist. Dieser Wärmetauscher entzieht dem durchfließenden Wasser effizient Wärme, indem er sie an einen Wärmepumpenkreislauf überträgt. Die Verwendung eines solchen geschlossenen Systems minimiert das Risiko von Umweltkontaminationen und gewährleistet, dass keine schädlichen Substanzen in das Gewässer gelangen.

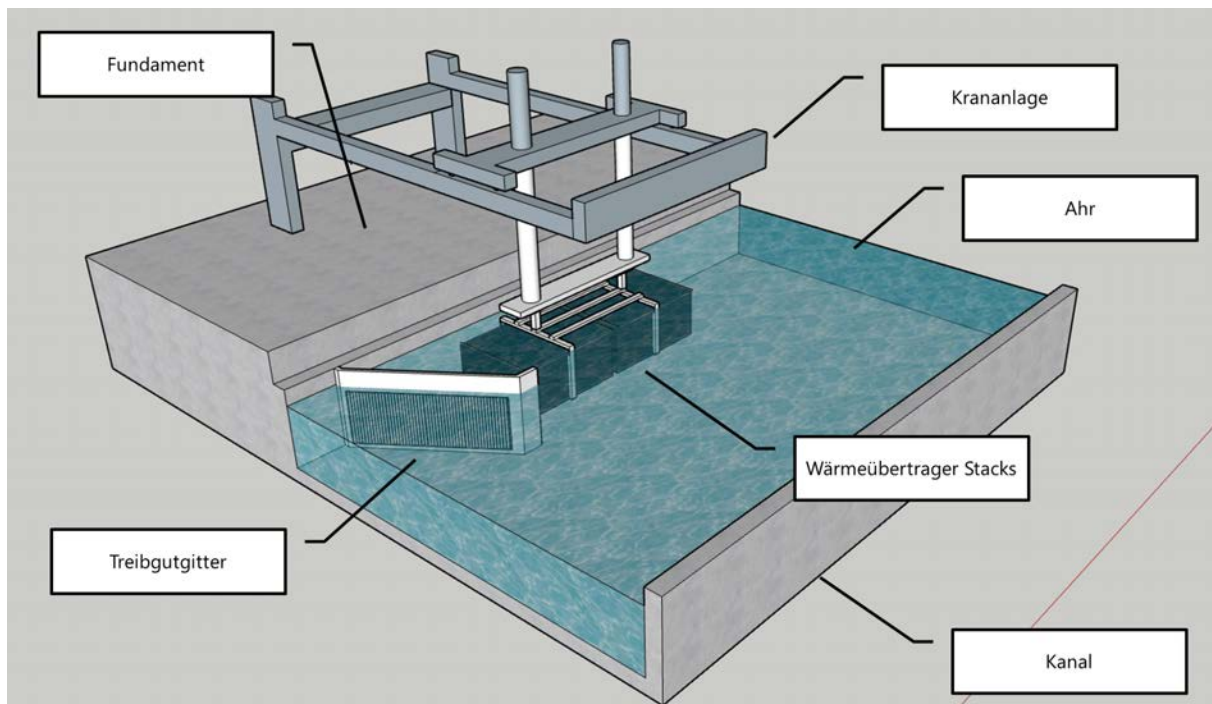


Abbildung 33: Modelldarstellung der Krananlage inklusive Wärmeübertrager-Stacks

Als Implementierungsvariante wird der Einsatz einer Krananlage vorgeschlagen, die einen Wärmetauscher-Stack mittels Schwimmvorrichtungen knapp unterhalb der Wasseroberfläche positioniert. Der Wärmetauscher wird über flexible Leitungen mit der Energiezentrale bzw. der Großwärmepumpe verbunden. Das kondensierte, natürliche Kältemittel R600a zirkuliert direkt durch die Leitungen und die Plattenwärmetauscher, wo es verdampft und dabei Wärme aus dem Flusswasser entzieht.

Dank der flexiblen Leitungen ist es möglich, die Wärmeübertrager-Stacks für Wartungs- und Reinigungsarbeiten ohne zusätzlichen Montageaufwand aus dem Gewässer zu heben. Diese Konstruktion ermöglicht eine effiziente und unkomplizierte Instandhaltung der Anlage, was die Betriebszeit und Leistungsfähigkeit des Systems optimiert. Die flexible Anbindung der Wärmeübertrager an die Energiezentrale vereinfacht nicht nur den Zugang für regelmäßige Überprüfungen und eventuell notwendige Reparaturen, sondern minimiert auch das Risiko von Betriebsunterbrechungen. Ein grobes Gitter, das vor den Wärmeübertrager-Stacks angebracht wird, dient als effektive Barriere gegen übermäßige Verunreinigung durch Treibgut. Diese Vorkehrung trägt wesentlich zur Minimierung von Wartungsarbeiten bei, indem es verhindert, dass größere Schwebeteilchen und Fremdkörper in den Wärmeübertrager gelangen.



Abbildung 34 Praxisbeispiel MEFA, Kupferzell [44]

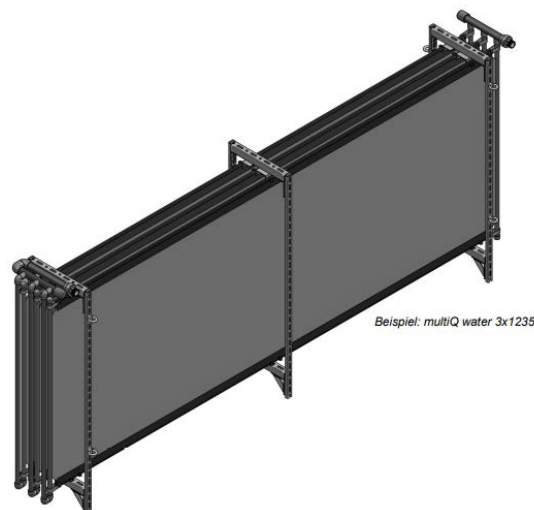


Abbildung 35 Registerbauform, Datenblatt multiQ water 1235 [45]

Die Auswahl von Materialien und Technologien, die sowohl effizient in der Wärmeübertragung als auch minimal invasiv für das Ökosystem sind, spielt eine entscheidende Rolle im Gewässerschutz. Durch die sorgfältige Planung und Implementierung des Wärmeentzugssystems wird nicht nur eine nachhaltige Energiequelle genutzt, sondern auch der Schutz und die Erhaltung der natürlichen Ressource Wasser sichergestellt.

Dieser Ansatz demonstriert das Potential für eine synergetische Beziehung zwischen der Nutzung erneuerbarer Energien und dem Umweltschutz. Die geringfügige Temperaturabsenkung durch den Wärmeentzug bei gleichzeitiger Gewährleistung des



Gewässerschutz zeigt, dass Technologien zur Energiegewinnung umweltverträglich gestaltet werden können.

### 8.3.5. Netzplan und Energiezentrale

In Abbildung 36 ist der schematische Netzplan von Kreuzberg zu sehen. Es wird vorgeschlagen, dass nur Gebäude, die nahe beieinander liegen und eine wirtschaftliche Anbindung ermöglichen, angeschlossen werden. Aus diesem Grund wurden 141 Gebäude in das Wärmenetz von Kreuzberg integriert. Die Energiezentrale des Ortes, bestehend aus einer Wärmepumpe und einem Flusswärmeübertrager, soll in der Nähe der Ahr platziert werden. Es wird vorgeschlagen, dass sich diese auf der östliche Seite des Ortes befindet, wo ausreichend Platz vorhanden ist.



Abbildung 36: Schematische Darstellung des Wärmenetzes inkl. Energiezentrale

Nach Tabelle 24 ergeben sich insgesamt 10 Stränge, die eine Gesamtlänge von 2.953 Metern aufweisen. Im weiteren Verlauf wird das Wärmenetz auf diesen Wert hin ausgelegt.

Tabelle 24: Stränge und Länge des Wärmenetzes in Kreuzberg

Strangnummer	Farbe	Länge [m]
1	gelb	446,39
2	grün	186,00
3	blau	239,22
4	rot	228,57
5	orange	548,93
6	hellgrün	240,36
7	weiß	395,69
8	hellgrau	85,56
9	braun	98,78
10	türkis	123,93
<b>Gesamtlänge</b>		<b>2.593,43</b>

#### 8.4. Finanzierung & Wirtschaftlichkeit

Die Finanzierung und Wirtschaftlichkeit des Energiekonzeptes ist ein kritischer Aspekt für das Gelingen der Energiewende in Kreuzberg. Zunächst werden die Kosten für die Komponenten des Energiekonzeptes ermittelt. Die Komponenten sind die PV-Dachanlagen, die Großwärmepumpe, die Flusswasserwärmetauscher und das Nahwärmenetz. Im nächsten Schritt können wirtschaftliche Parameter wie die Kosten pro erzeugte bzw. verbrauchte Kilowattstunde berechnet werden. Im letzten Teil sollen mögliche Finanzierungsmöglichkeiten des Konzeptes aufgezeigt werden.

##### 8.4.1. Kosten der Komponenten

Die Kosten der Komponenten werden auf der Grundlage der ermittelten technischen Daten und Größen und der marktüblichen, recherchierten Komponentenkosten ermittelt. Dabei handelt es sich um Näherungswerte, da die Preise in Zukunft abweichen können und veränderte technische Konfigurationen sich ebenfalls auf die Kosten auswirken.

#### 8.4.2. PV-Kosten

Die Photovoltaikanlage auf den Dächern der Häuser in Kreuzberg soll eine nachhaltige Stromversorgung ermöglichen. Das nutzbare Gesamtpotential an PV-Leistung wurde im Energiekonzept auf 2.241,3 kW berechnet. Es werden die marktüblichen Gesamtsystempreisen von 15.000 Euro pro 10 kWp Anlagenleistung angenommen [46]. Damit ergeben sich Gesamtkosten von 3,362 Mio. € für Kreuzberg. Bei den 210 Häusern ergibt dies im Durchschnitt 16.000 € pro Haus. Dabei muss berücksichtigt werden das gemäß der Netzberechnungen in Kreuzberg diese Leistung nicht installiert werden kann. Nichtsdestotrotz wird mit Blick auf zukünftige Netzausbaumaßnahmen diese Leistung in diesem Konzept angenommen.

#### 8.4.3. Großwärmepumpen (GWP)-Kosten

Für den Betrieb des Nahwärmenetz in Kreuzberg ist eine thermische Leistung von 3000 kW nötig. Diese wird über eine mit Flusswasser gespeisten Wärmepumpe bereitgestellt. Eine Wärmepumpe in dieser Leistungsklasse wird als Großwärmepumpe (GWP) klassifiziert. Diese sind zurzeit ausschließlich Sonderanfertigungen von spezialisierten Herstellern und noch nicht in der Breite kommerziell verfügbar [47]. Daher nutzt dieser Ansatz das Prinzip der Parallelisierung der Wärmepumpen. Das bedeutet, dass z.B. 3 Wärmepumpen vom Typ Viessmann VITOCAL 300-G PRO mit 1055 kW parallel geschaltet werden und damit eine gesamte thermische Leistung von etwa 3 MW erzeugen können. Eine Wärmepumpe von diesem Typ kostet etwa 490.000 Euro [48]. Damit belaufen sich die Gesamtkosten für das 3 MW-System auf etwa 1,47 Mio. €. Zum Vergleich dazu kostet ein GWP-Projekt in Stuttgart-Münster mit einer thermischen Leistung von 20 MW voraussichtlich etwa 16,5 Mio. Euro [49]. Dies entspricht etwa 2,475 Mio. Euro für 3 MW Leistung. Dabei müssen noch Effekte in der Anlagengröße und der Peripherie berücksichtigt werden, nichtsdestotrotz ist ein Wärmepumpensystem mit 3 kleinen Systemen dem großen einzelnen System wirtschaftlich nicht unterlegen (die Skaleneffekte von Großwärmepumpe überwiegen bisher noch nicht die Vorteile der Serienfertigung von Kleinwärmepumpen). Außerdem bietet es zahlreiche Vorteile gegenüber einem einzelnen großen System:



**Vorteile des parallelen Betriebs:**

- Redundanz: Die Verwendung mehrerer Einheiten bietet eine inhärente Redundanz. Im Falle eines Ausfalls einer Wärmepumpe kann das System weiterhin Wärme liefern, wenn auch mit verminderter Kapazität.
- Flexibilität: Mehrere Wärmepumpen erhöhen die Flexibilität bei der Lastanpassung. Sie können je nach Bedarf mehr oder weniger Einheiten betreiben, was die Effizienz des Gesamtsystems verbessern kann.
- Wartung: Obwohl die Wartung vieler kleiner Einheiten zunächst aufwendiger erscheint, kann die Wartung einfacher und kostengünstiger sein, da einzelne Einheiten ausgetauscht oder repariert werden können, ohne das gesamte System stillzulegen.
- Installation: Die Einheiten können kommerziell bestellt werden, da es sich um Serienmodelle handelt und von Fachfirmen installiert werden, ohne das spezielle Anforderungen wie bei GWPs gestellt werden.

**Herausforderungen des parallelen Betriebs:**

- Steuerung und Regelung: Die Koordination der zahlreichen Wärmepumpen erfordert eine komplexere Steuerungs- und Regelungstechnik, um sicherzustellen, dass das System effizient arbeitet und die Wärmelasten angemessen verteilt werden.
- Anschluss und Infrastruktur: Die Infrastruktur für elektrischen Anschluss, Wasserkreisläufe und eventuelle Pufferspeicher muss sorgfältig geplant werden, um die parallele Nutzung vieler Einheiten zu ermöglichen. Der Anschluss und die Verschaltung verursachen wahrscheinlich deutlich höhere Kosten als es bei einem einzelnen System der Fall wäre.

Es wird bei dieser Variante angenommen, dass die Errichtung der Energiezentrale mit der internen Verschaltung, Steuerung und Installation etwa 30 % der Kosten für die Wärmepumpen beträgt. Damit kostet die Energiezentrale etwa 441.000 Euro. Die Kosten des Gesamtsystem der Großwärmepumpe betragen damit etwa 1,911 Mio. €.

#### 8.4.4. Flusswasser-Wärmetauscher-Kosten

Der Flusswasser-Wärmetauscher soll thermische Energie aus der Ahr in Kreuzberg beziehen und damit die Quelle für die Wärmepumpen darstellen. Der Lamellen-Wärmetauscher soll mit einer Kran-Apparatur direkt in die Ahr geschwenkt werden können. Der Kran ermöglicht dabei die Anpassung an den Pegelstand der Ahr und das Herausheben des Wärmetauschers für mögliche Reinigungsarbeiten.

Gemäß der modellierten Wärmepumpe für das Kreuzberger-Nahwärmenetz beträgt die benötigte thermische Leistung aus der Quelle 2,2 MW. Bei einer Temperaturdifferenz von 6 K zwischen dem Wärmepumpen-Kältemittel und der Ahr am kältesten Tag (3°C) werden 45 Lamellen des Typs multiQ water 1235 der Firma MEFA Befestigungs- und Montagesysteme GmbH benötigt. Dies zeigt die folgende Berechnung:

Überschlägiger Wärmedurchgangskoeffizient

$$U \text{ in } \frac{W}{(m^2 * K)}$$

$U_{\text{Plattenwärmetauscher, Flüssig-Flüssig}}$  [50]

$$U \text{ in } 1000 \frac{W}{m^2 * K}$$

Benötigter Wärmestrom

$$\dot{Q} \text{ in kW}$$

Temperaturabstand Flusswasser & Kältemittel

$$\Delta T \text{ in K}$$

Wärmeübertragerfläche multiQ 1.235

$$A \text{ in } m^2$$

Formel 8: Berechnung der Wärmeübertragerfläche in  $m^2$

$$A_{\text{Wärmeübertrager}} = 3,6 * 1,55 * 2 = 11,16 m^2$$

$$A_{\text{gesamt}} = \frac{\dot{Q}}{(U * \Delta T)} = \frac{3000kW}{1000 \frac{W}{m^2 * K} * 6 K} = 500 m^2$$

Formel 9: Berechnung der notwendigen Profilplatten für den Wärmetauscher

$$\text{Anzahl der Platten } n = \frac{500 m^2}{11,16 m^2} \approx 45 \text{ Profilplatten}$$

Die angefragten Kosten für einen solchen Wärmetauscher mit 45 Lamellen betragen etwa 40.000 € [51]. Für die Installation, den Kanalbereich und den Anschluss werden zusätzliche 40.000 € veranschlagt. Ferner werden 20.000 € für die benötigte Kranapparatur und die Fundamentarbeiten angenommen. Damit belaufen sich die Gesamtkosten für den Flusswasserwärmetauscher auf 100.000 Euro.

#### 8.4.5. Nahwärmenetz und PV-Kosten

Die Errichtung des Nahwärmenetz hat mehrere Kostenstellen, wie die Netzleitungen inkl. Montage, Grabungskosten, Netz-Pumpen und Planung. Es wird mit marktüblichen Kosten von ca. 300 Euro pro Trassenmeter isolierter Wärmeleitung gerechnet [52] [53]. Das geplante Wärmenetz in Kreuzberg wird eine Länge von etwa 2.600 m aufweisen. Dazu kommen noch etwa 650 m (25 % von 2.600m, getroffene Annahme) Leitung für den Anschluss der Häuser vom Hauptstrang. Damit ergibt sich eine Gesamt-Netzlänge von 3.250 m.

Die Hausübergabestationen (HÜS) müssen zusätzlich einberechnet werden. Sie ermöglichen die Übergabe und Messung des Nahwärmenetzes an den Heizkreislauf des Hauses. Es wird mit etwa 5.000 Euro pro HÜS gerechnet [52]. Das Nahwärmenetz in Kreuzberg soll gemäß der vorgeschlagenen Planung 141 Häuser mit Wärme versorgen.

Die Kostenberechnung wird in Anlehnung an Berechnung der C.A.R.M.E.N. e.V. durchgeführt wobei die Kosten unter Berücksichtigung der Inflation und Preissteigerung des Statistischen Bundesamtes dargestellt werden [54] [52]:

*Tabelle 25: Kosten der Arbeitspakete*

<b>Arbeitspaket</b>	<b>Kosten</b>
Netzleitung inkl. Montage	405.545 €
HÜS inkl. Montage	705.000 €
Grabungskosten	305.078 €
Netz-Pumpen	23.920 €
Netzregelungstechnik	25.000 €
Planung	54.097 €
Gesamt	1.518.640 €

Die Gesamtkosten für das Nahwärmenetz inklusive der HÜS betragen etwa 1,518 Mio. Euro.

**Gesamtkosten***Tabelle 26: Gesamtkosten für die Wärmeversorgung*

<b>Komponente-Wärmeversorgung</b>	<b>Kosten</b>
Großwärmepumpe	1.911.000 €
Flusswasserwärmetauscher	120.000 €
Nahwärmenetz öffentlich	813.640 €
Nahwärmenetz privat	705.000 €
Gesamt	3.529.640 €

Die Kosten für die Wärmeversorgung über das Nahwärmenetz in Kreuzberg betragen damit etwa 3,53 Mio. Euro. Bei 141 angeschlossenen Verbrauchern betragen die hausspezifischen Investitionskosten 25.032 €/Haus.

Dies sind nur die Komponenten und Installationskosten des Nahwärmekonzeptes. Für die professionelle Erstellung der kommunalen Wärmeplanung durch einen externen Dienstleister werden Kosten von 25.000 €/Konzept angenommen.

Als jährliche Betriebskosten für Wartung, Instandsetzung, Abrechnungswesen und Messstellenbetrieb werden 1 % der Investitionskosten pro Jahr angenommen (VDI 2067 Tab. 5). Dies entspricht ca. 35.000 €/Jahr.

Da die Kosten der Hausanschlüsse inklusive Montagekosten jedoch privat getragen werden reduziert sich der Betrag der öffentlichen Kosten auf 17.068€/Jahr

*Tabelle 27: Jährliche Betriebskosten*

<b>Komponente-Stromversorgung</b>	<b>Kosten</b>
PV-Anlagen für 2.241 kWp	3.361.950 €
Gesamt	3.361.950 €

Damit ergeben sich Gesamtkosten von 3,362 Mio. € für die elektrische Stromversorgung von Kreuzberg durch PV-Anlagen. Bei den 210 Häusern ergibt dies im Durchschnitt 16.000 €/Haus.

#### **8.4.6. Fördermöglichkeiten**

Die Förderung für Nahwärmenetz kann durch den Bund und das Land Rheinland-Pfalz erfolgen. Im Folgenden werden die Kernaspekte aus dem „Praxisleitfaden Nahwärme“ der Energieagentur Rheinland-Pfalz vorgestellt, bei näheren Informationen wird auf dieses verwiesen [55].

##### **Förderung von strategisch konzeptionellen Maßnahmen**

Die Bundesförderung der ZUG (Zuständigkeit: Zukunft – Umwelt – Gesellschaft GmbH) fördert die Erstellung der kommunalen Wärmeplanung. Dabei wird die Erstellung durch externe Dienstleister durch einen nicht rückzahlbaren Zuschuss gefördert. Ab dem 01.01.2024 erhalten finanzschwache Kommunen 80 % der förderfähigen Ausgaben, alle anderen Antragsteller 60 % [55]. Die förderfähigen Ausgaben für die Wärmeplanung sind nicht begrenzt. Antragsberechtigt sind Kommunen und kommunale Zusammenschlüsse. Im Falle einer Energiegenossenschaft mit kommunaler Beteiligung wäre eine Antragstellung möglich. Bei geschätzten Kosten für kommunale Wärmeplanung in Kreuzberg von 25.000 Euro würden damit 20.000 Euro bezuschusst werden. Die tatsächlichen Kosten für Kreuzberg wären also 5.000 €/Konzept.

##### **Förderung für effiziente Wärmenetz (BEW)**

Der Neubau von Nahwärmenetzen mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien und mehr als 16 Gebäuden wird durch das BAFA gefördert. Durch das BAFA werden dabei Machbarkeitsstudien (Modul 1) für die Umsetzung und Wirtschaftlichkeit in Höhe von 50 % der förderfähigen Kosten (max. 2 Mio. €) geleistet. Im Modul 2 werden alle Maßnahmen des Neubaus des Wärmenetzes mit mindestens 75 % erneuerbarer Energien gefördert (Installation Wärmepumpe, Nahwärmenetz, Übergabestationen an Gebäude) [56]. Grundlage für die Förderung ist die Vorlage einer Machbarkeitsstudie. Dabei ist zu beachten, dass Hausübergabestationen nur mit gefördert werden, wenn diese im Eigentum des Wärmenetzbetreibers liegen und nicht im Privatbesitz. Die Höhe des Zuschusses beträgt 40 Prozent der förderfähigen Kosten (max. 100 Mio. Euro pro Antrag). Die Förderung ist auf die Wirtschaftlichkeitslücke begrenzt. Im Modul 4 wird eine Betriebskostenförderung zusätzlich zu den Investitionskosten gestattet. Diese gilt nur für durch die BEW (Modul 2) geförderte Wärmepumpen. Gefördert werden auch bei diesem Modul Kommunen und eingetragene Genossenschaften.

Gemäß Modul 2 können die Gesamtkosten des Kreuzberger Wärmekonzeptes in Höhe von 3,53 Mio. € mit 40 % durch das BAFA gefördert werden [55]. Da nur 2.88 Mio. € öffentlich finanziert werden ergeben sich somit Kosten in Höhe von 1.71 Mio € für den öffentlichen Bereich und 705.000 € für den privaten Bereich, der allerdings ebenfalls mit 30 % gefördert werden kann. Somit ergeben sich für den privaten Bereich Kosten von 493.500 €. Dies entspricht 3500€ pro Haushalt. Euro.

### **Bundesförderung für effiziente Gebäude Einzelmaßnahmen (BEG EM)**

Das BAFA fördert außerdem die Kosten für die Wärmeübergabestation und private Wärmepumpen, falls diese nicht im Eigentum des Wärmenetzbetreiber liegen. Die Übergabestation und Wärmepumpe wird mit jeweils 30 % gefördert [56].

### **Förderung Zukunftsfähige Energieinfrastruktur**

Das Land Rheinland-Pfalz fördert ebenfalls den Bau von Wärmenetzen. Der Zuschuss beträgt 20 % der förderfähigen Investitionskosten. Die maximalen Projektkosten betragen 5 Mio. Euro. Hierbei dürfen auch Energiegenossenschaften einen Antrag stellen. Es müsste abschließend geklärt werden, ob eine Kumulierung mit Weiteren Fördermitteln wie der des BAFA möglich ist. Wenn dies nicht der Fall ist, sollte die Förderung des BAFA wahrgenommen werden [55].



### 8.4.7. Wirtschaftliche Zusammenfassung des Projekts

Die aufgeführten Kosten sind bisher nicht auf eine Finanzierung über eine bestimmte Laufzeit, sondern ausschließlich als statische Geldwerte aufgeführt. Dies soll im Folgenden durch die Einbeziehung der Annuität über eine Laufzeit geändert werden. Bei diesen Berechnung werden die Hausanschlusskosten von 5.000 € pro Haus nicht berücksichtigt, da es sich um private Einmalzahlungen handelt, die nicht auf die Energiegenossenschaft umgelegt werden sollen. Mit den angenommenen 141 Anschlussnehmern reduziert sich daher die Investition der Energiegenossenschaft um 705.000 €. Die Zusammenfassung ist in Tabelle 28 ersichtlich.

Folgende Randbedingungen werden betrachtet:

- Anschlussnehmer: 141
- Einmalige Förderung der Investitionskosten: 40 % [55]
- Zinssatz des Kredits: 4%
- Betriebskosten: 1 %/a der Investitionskosten

Tabelle 28: Wirtschaftliche Berechnung des Wärmenetzes anhand der Annuitätenmethode

Komponente	Investition nach Förderung [€]	Annuität [%]	Betriebskosten (bei 1 %) [€/a]	Kapitalgebundene KostenWärmenetz [€/a]
Großwärmepumpe	1.146.600	8,99	11.466	114.592
Flusswasser-WÜ (inkl. Kran & Kanalarbeiten)	72.000	8,99	720	7.196
Nahwärmenetz (inkl. Wärmezentrale, ohne HÜS)	488.184	5,05	4.882	29.547
Gesamtkosten	-	-	-	<b>151.335 € / a</b>

Die jährlich zu leistenden kapitalgebunden, verzinsten und geförderten Kosten für das Nahwärmenetz belaufen sich mit dieser Rechnung auf etwa 151.335 € pro Jahr. Diese Kosten wären von der Energiegenossenschaft zu tragen, die das Nahwärmenetz baut und betreibt.

Um den notwendigen Wärmepreis für jeden Anschlussnehmer zu berechnen wurden folgende Annahmen getroffen:

- Hausanschlusskosten: 5.000 € (einmalig)

- Gewinnmarge der Energiegenossenschaft: 10 %

In Tabelle 29 sind die relevanten Kenndaten des Wärmekonzeptes zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit zusammengefasst.

Tabelle 29: Übersicht der Kenndaten des Wärmekonzeptes

	Einheit	Wert
Wärmebedarf Gesamter Ort	MWh/a	5.967
Wärmebedarf Wärmenetz	MWh/a	4.170
Strombedarf WP	MWh/a	706,69
Hausanschlüsse	-	141

Der Grundpreis der Anschlussnehmer setzt sich folgendermaßen zusammen:

Formel 10: Berechnung des Grundpreises für das Wärmenetz

$$\begin{aligned} \text{Grundpreis inkl. Wartung} \left[ \frac{\text{€}}{\text{a}} \right] &= \frac{\text{Kapitalgebundene Kosten}_{\text{Wärmenetz}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{a}} \right]}{\text{Anschlussnehmer} * \text{Gewinnmarge} \left[ \frac{\%}{\text{a}} \right]} = \frac{151.335 \frac{\text{€}}{\text{a}}}{141 * 1,1} \\ &= 1.181 \frac{\text{€}}{\text{a}} \end{aligned}$$

Dadurch ergibt sich ein Grundpreis für die Anschlussnehmer des Wärmenetzes von 1.181 €/a.

Da die Energiegenossenschaft gegenüber dem Kunden als regulärer Wärmeversorger auftritt ergibt sich auch ein Arbeitspreis für die genutzte Wärmeenergie.

Formel 11: Berechnung des Arbeitspreises für das Wärmenetz

$$\begin{aligned} \text{Arbeitspreis} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}_{\text{th}}} \right] &= \frac{\text{Strombedarf WP} \left[ \frac{\text{MWh}}{\text{a}} \right] * \text{Strombezugskosten} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]}{\text{Wärmebedarf} \left[ \frac{\text{MWh}}{\text{a}} \right] * \text{Gewinnmarge} \left[ \frac{\%}{\text{a}} \right]} \\ &= \frac{706,69 \frac{\text{MWh}}{\text{a}} * 0,33 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}}{4.170 \frac{\text{MWh}}{\text{a}}} = 0,062 \frac{\text{€}}{\text{kWh}_{\text{th}}} \end{aligned}$$

Die Energiegenossenschaft kann ihren Kunden daher einen Wärmepreis von 0,062 €/kWh<sub>th</sub> anbieten.

Tabelle 30: Übersicht der Kenndaten des PV-Konzeptes

	Einheit	Wert
Strombedarf Kommune <sub>Gesamt</sub>	MWh/a	2030
PV-Ertrag	MWh/a	2.102
Eigenverbrauchsquote	%	30
Eigenverbrauch	MWh/a	630,6
Installierte Leistung PV	kWp	2.241
Einspeisung <sub>PV,Gesamt</sub>	MWh/a	1.471

Für das Konzept der Stromproduktion aus PV-Anlagen wurden weitere Annahmen getroffen: [57]

- Einspeisevergütung für PV-Anlagen bis 10 kWp: 0,0811 €/kWh [57]
- Strompreis für Netzbezug: 0,33 €/kWh [58]
- Mengenrabatt bei der Beschaffung aller PV-Anlagen zentral: 20 %
- Investitionskosten für 2.241 kWp PV-Anlagen: 3.361.950 € (Kapitel 8.4.5)

Die Erlöse der Stromeinspeisung aller PV-Anlagen berechnen sich aus der Einspeisevergütung und der Strommenge, die ins Netz eingespeist wurde. Die Berechnung dazu ist in Formel 12 ersichtlich.

Formel 12: Berechnung der Erlösung aus Einspeisung

$$\begin{aligned} \text{Erlöse}_{\text{Einspeisung,Gesamt}} &= \text{Einspeisung}_{\text{PV,Gesamt}} * 1.000 * \text{Einspeisevergütung} \\ &= 1.471 \frac{\text{MWh}}{\text{a}} * 1.000 * 0,0811 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = \mathbf{119.331 \text{ €/a}} \end{aligned}$$

Neben der direkten Einspeisung von elektrischer Energie in das öffentliche Netz ermöglicht die Nutzung von Photovoltaikanlagen auch einen direkten Eigenverbrauch erzeugter Energie. Dies führt zur Vermeidung eines Netzbezugs, wobei die Menge der erzeugten Energie mit dem aktuellen Strompreis multipliziert wird. Die Berechnung ist in Formel 13 ersichtlich. Insgesamt wird dadurch ein Bilanzierender Erlös von 208.098 €/a erwirtschaftet.

Formel 13: Berechnung der Erlösung aus dem vermiedenen Netzbezug

$$\begin{aligned} \text{Erlöse}_{\text{Vermiedener Netzbezug}} &= \text{Eigenverbrauch} * 1.000 * \text{Netzstrompreis} \\ &= 630,6 \frac{\text{MWh}}{\text{a}} * 1.000 * 0,33 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = \mathbf{208.098 \text{ €/a}} \end{aligned}$$

Die Bilanzsumme aus der direkten Einspeisung und dem vermiedenen Netzbezug ist in Formel 14 dargestellt. Die gesamte Bilanzsumme entspricht 327.429 €/a.

Formel 14: Berechnung der Bilanzsumme für PV

$$\begin{aligned} \text{Bilanzsumme}_{PV} &= \text{Erlöse}_{\text{Einspeisung, Gesamt}} + \text{Erlöse}_{\text{Vermiedener Netzbezug}} \\ &= 119.331 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 208.098 \frac{\text{€}}{\text{a}} = \mathbf{327.429 \frac{\text{€}}{\text{a}}} \end{aligned}$$

Nachdem die Erlöse aus der Stromproduktion der PV-Anlage berechnet wurden, werden diese in einen spezifischen Wert umgerechnet. Eine Aufteilung aus den Anschlussnehmer wie im Wärmenetz ist nicht möglich, da die installierte PV-Leistung auf jedem Hausdach unterschiedlich ist.

Formel 15: spezifische Erlöse pro kWp

$$\text{Erlöse}_{\text{pro kWp}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWp}} * \text{a} \right] = \frac{\text{Installierte Leistung [kWp]}}{\text{Bilanzsumme}_{PV} \left[ \frac{\text{€}}{\text{a}} \right]} = \frac{2.241 \text{ kWp}}{327.429 \frac{\text{€}}{\text{a}}} = \mathbf{146 \frac{\text{€}}{\text{kWp} * \text{a}}}$$

Insgesamt ergeben sich nach Formel 15 spezifische Erlöse von 146 €/kWp\*a. Mithilfe der Investitionskosten und der installierten Leistung sowie dem angenommenen Mengenrabatt von 20% ergeben sich spezifische Investitionskosten von 1.200 €/kWp. In diesem Energiekonzept wurde nicht davon ausgegangen, dass eine Förderung für die Installation von PV-Anlagen in Anspruch genommen werden kann. Die spezifischen Investitionskosten sind in Formel 16 ersichtlich.

Formel 16: Berechnung der spezifischen Investitionskosten pro kWp PV-Leistung

$$\begin{aligned} \text{Investitionskosten}_{\text{pro kWp}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWp}} \right] &= \frac{\text{Investitionskosten [€]}}{\text{Installierte Leistung [kWp]}} * \text{Mengenrabatt [%]} \\ &= \frac{3.361.950 \text{ €}}{2.241 \text{ kWp}} * (1 - 0,2) = \mathbf{1.200 \frac{\text{€}}{\text{kWp}}} \end{aligned}$$

Im Anschluss ergibt sich die Amortisationszeit aller Anlagen nach Formel 17. Es wird eine Zeitdauer von 8,21 Jahren erreicht.

Formel 17: Berechnung der Amortisationszeit aller Anlagen

$$\text{Amortisationszeit [a]} = \frac{\text{Investitionskosten}_{\text{pro kWp}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWp}} \right]}{\text{Erlöse}_{\text{pro kWp}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{kWp}} * \text{a} \right]} = \frac{1.200 \frac{\text{€}}{\text{kWp}}}{146 \frac{\text{€}}{\text{kWp} * \text{a}}} = \mathbf{8,21 \text{ a}}$$

Eine Übersicht über die Gesamtinvestitionskosten des erstellten Energiekonzeptes für die Gemeinde Kreuzberg ist in der folgenden Abbildung 37 zu finden. Es muss darauf hingewiesen werden, dass hierbei die Förderung von 40% der Investitionskosten für das Wärmenetz betrachtet wurde.

Die Gesamtinvestition für das Wärmenetz und die PV-Anlagen auf den Dächern der Häuser beträgt 5.068.734 €. Es ist wichtig zu betonen, dass für das Wärmenetz lediglich eine einmalige Anschlussgebühr von 5.000 € sowie ein Grundpreis/Arbeitspreis erhoben wird. Dadurch sind zu Beginn keine großen Investitionen seitens der Anschlussnehmer erforderlich.

Im Gegensatz dazu wird vorgeschlagen, dass die PV-Anlagen über das Eigenkapital der Bürger beschafft werden. Die spezifischen Kosten belaufen sich auf 1.200 € pro kWp, und die durchschnittliche Amortisationszeit beträgt 8,21 Jahre.

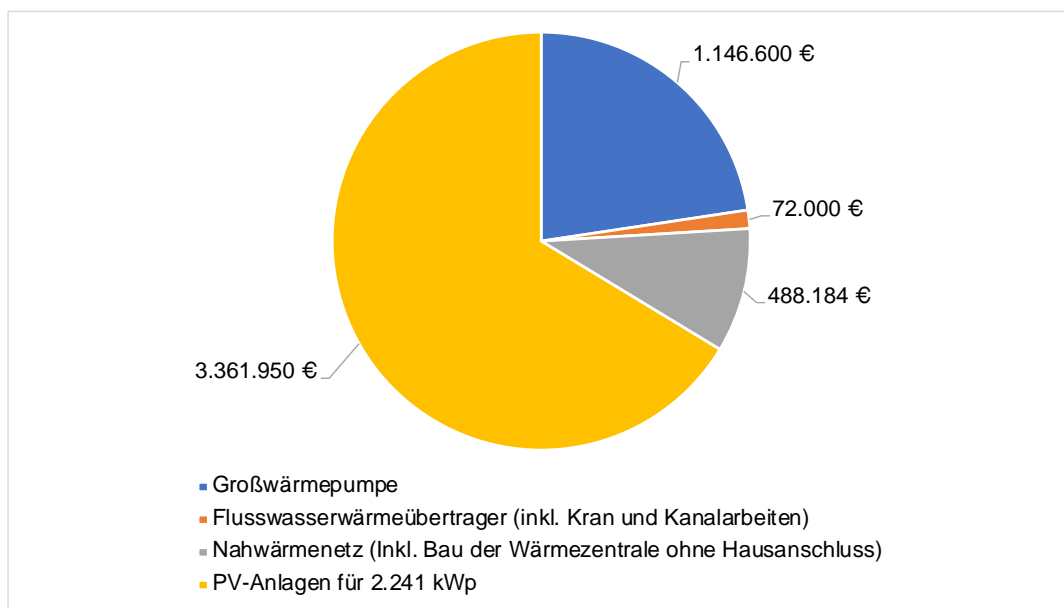


Abbildung 37: Darstellung der Gesamtinvestitionen für das Energiekonzept inkl. 40% Förderung für das Wärmenetz

In Kontrast zu Abbildung 37, welche die Gesamtinvestitionen für das Energiekonzept unter Berücksichtigung einer Förderungsrate von 40% für das Wärmenetz veranschaulicht, präsentiert Abbildung 38 die Gesamtinvestitionen ohne jegliche Förderung. Diese Darstellung impliziert eine erhöhte Investitionssumme für die Großwärmepumpe auf 1.911.000 €, für den Flusswasserwärmeübertrager auf 120.000 € und für das Nahwärmenetz auf 818.640 €.

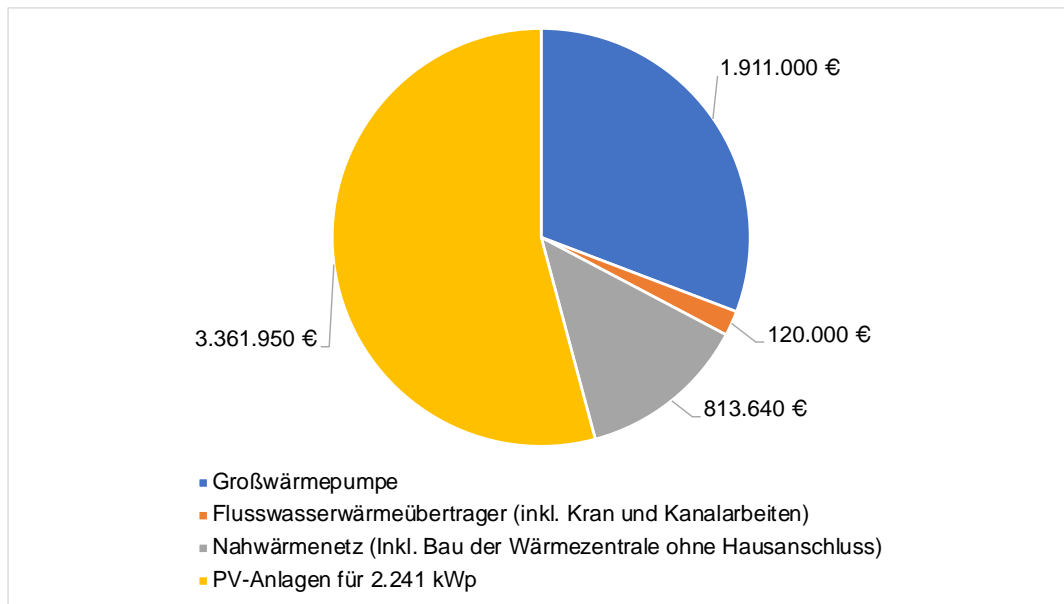


Abbildung 38: Darstellung der Gesamtinvestitionen für das Energiekonzept ohne Förderung für das Wärmenetz

### **8.5. Gesellschaftsform**

Das ambitionierte Energiekonzept für Kreuzberg soll durch die Gründung einer Energiegenossenschaft realisiert werden. Trotz der früheren Herausforderungen, mit denen sich die Energiegenossenschaft EEGON konfrontiert sah, insbesondere bedingt durch die geographischen und infrastrukturellen Gegebenheiten Kreuzbergs wie die Größe des Ortes, die Abstände zwischen den anzuschließenden Häusern, die teilweise starke Steigung und die Schwierigkeiten bei der Errichtung eines zentralen Heizungshauses, bleibt der Optimismus für ein neues Vorhaben bestehen.

Die Entscheidung, das Betriebskonzept einer Energiegenossenschaft zu wählen, bringt zahlreiche Vorteile mit sich [55]. Einerseits ermöglicht es eine direkte Beteiligung und Mitbestimmung der Gemeinschaft an der Energiewende, was zu einer erhöhten Akzeptanz und Unterstützung innerhalb der lokalen Bevölkerung führt. Die genossenschaftliche Struktur fördert zudem lokale Wirtschaftskreisläufe und kann durch die Reinvestition von Gewinnen in das Projekt oder in weitere nachhaltige Vorhaben zur sozialen und ökonomischen Stärkung der Region beitragen. Darüber hinaus bietet die Form einer Genossenschaft die Möglichkeit, Fördermittel und günstige Finanzierungsbedingungen zu akquirieren, die für die Realisierung und den Betrieb von erneuerbaren Energieprojekten entscheidend sind. Für weitere Informationen über die Genossenschaftliche Beteiligung wird auf den „Praxisleitfaden Nahwärme“ der Energieagentur Rheinland-Pfalz verwiesen [55].

### **8.6. Betriebskonzept**

Der Betrieb des Nahwärmenetzes soll ebenfalls durch die Energiegenossenschaft erfolgen. Sie soll die Verwaltung und Wartung des Netzes übernehmen, wobei Wartungsverträge mit den Herstellern der Wärmepumpen und des Flusswasserwärmeübertrages abgeschlossen werden sollten. Dies bietet mehrere Vorteile: Hersteller haben oft tiefgehendes Wissen über ihre eigenen Systeme und können spezifische Wartungs- und Reparaturleistungen anbieten, die präventive Maßnahmen und schnelle Fehlerdiagnosen einschließen. Spezialisierte Firmen bringen zudem oft branchenspezifische Erfahrung und technisches Know-how mit, das für die Aufrechterhaltung eines effizienten Betriebs des Nahwärmenetzes entscheidend ist. Die Systemleistung der Wärmepumpen und Wärmetauscher kann durch den Hersteller oder die Wartungsfirma fernüberwacht werden und bei



Problemen kontrolliert und repariert werden. Dabei halten sich die täglichen Wartungsarbeiten bei strombetriebenen Wärmepumpen in Grenzen im Vergleich zu Pellet-Blockheizkraftwerken. Der Flusswasserwärmeübertrager sollte regelmäßig gereinigt werden, wobei die Kranapparat den Wärmetauscher aus der Ahr heben kann.

Die Abrechnung und das Kundenmanagement sind weitere zentrale Aufgabenbereiche während des Betriebs. Sie beinhalten die genaue Erfassung des Wärmeverbrauchs der Kunden, die gerechte und transparente Rechnungsstellung sowie die Bereitstellung eines Kundenservices. Da die Kunden oftmals selbst Teil der Energiegenossenschaft sind, liegt es in ihrem eigenen Interesse, den Betrieb möglichst optimal aufrechtzuerhalten. Dabei sollten Verantwortliche für die administrativen Aufgaben ernannt werden, die auch entlohnt werden.

Die Wärmeversorgung auf der Grundlage von Wärmepumpen ist bei Stromausfällen grundsätzlich ausfallgefährdet. Da das Nahwärmenetz auch als Pufferspeicher dienen kann, damit kurzzeitige Stromausfälle überbrückt werden. Bei längeren Stromausfällen könnten die bereits bestehenden fossilen Heizsysteme als Back-Up genutzt werden. Durch die Nutzung von mehreren Wärmepumpen, die parallel geschaltet sind, reduziert sich im laufenden Betrieb das Ausfallrisiko des Gesamtsystems durch Redundanz.

## Fazit

Das erstellte Energiekonzept für Kreuzberg zeigt eine Möglichkeit der Reduktion von Treibhausgasemissionen, der Energieunabhängigkeit, der langfristigen Preisstabilität und der nachhaltigen Struktur für die Zukunft auf. Das Energiekonzept basiert auf einem Nahwärmenetz, welches durch ein Wärmepumpen-System mit 3 MW thermischer Leistung gespeist wird. Dabei nutzt die Wärmepumpe die Energie der Ahr mit einem Flusswasser-Wärmetauscher. In Kombination mit einer Vorlauftemperatur von 40 °C des Nahwärmenetzes erzielt die Wärmepumpe eine sehr hohe Effizienz. Das Nahwärmnetz soll aus ökonomischen Gründen den kompakten Ortskern von Kreuzberg erschließen, wobei insgesamt 141 Häuser der 210 Kreuzberger Häuser an das knapp 2.500 Meter lange Netz angeschlossen werden können. Häuser mit Flächenheizsystemen können diese Temperatur für ihre Heizwecke nutzen, wobei Häuser, die höhere Temperaturen benötigen, ihre bereits existierenden fossilen Heizkessel zur Temperaturerhöhung nutzen können. Damit werden getätigte Investitionen nach der Flutkatastrophe nicht absolut gemacht. Dies betrifft einen Hauptpunkt der Schwierigkeiten in Kreuzberg, da der Wille zu einer grüneren Zukunft existiert, insbesondere nach der durch den Klimawandel begünstigten Flutkatastrophe, doch die finanziellen Mittel sind nach der Flut kaum noch vorhanden. Die wirtschaftlichen Berechnung des vorgeschlagenen Energiekonzeptes zeigen aber eine bezahlbare Möglichkeit für die Kreuzberger Bürger. Förderungen des Bundes, Skalen- und Synergieeffekte bei den Komponenten und die hocheffiziente Nutzung der Flusswärme ermöglichen Kosten von 0,062 €/kWh Wärmeenergie. Hinzu kommen einmalige Anschlusskosten von 5.000 Euro pro Haus (3.500 Euro nach Förderung). Es wird vorgeschlagen das Nahwärmenetz durch die Gründung einer Energiegenossenschaft zu installieren, finanzieren und betreiben. Dies ermöglicht den Bürgern die direkte Beteiligung an der Energiewende, schafft Akzeptanz und fördert die lokale Wirtschaft. Neben der nachhaltigen Wärmeversorgung soll die Stromversorgung über private PV-Aufdachsysteme erfolgen. Diese bieten in Kreuzberg ein nutzbares PV-Potential von 2.241 kWp verteilt auf die 210 Hausdächer. Die volle Ausschöpfung dieses Potentials würde etwa 2.100 MWh Strom erzeugen und damit Kreuzberg mit dem vorgeschlagen Energiekonzept annähernd bilanziell autark machen. Laut Stromnetzplan reicht die Kapazität des Stromnetzes nicht aus 2.241 kWp PV-Leistung zu installieren. Die vorliegende Studie konnte keine Aussage über die aktuelle

Kapazität des Stromnetzes treffen, da veraltete Stromnetzpläne als Grundlage verwendet wurden und die Stromnetze inzwischen modernisiert wurden. Somit konnte der aktualisierte Stand nicht in die Simulation integriert werden. Andere erneuerbare Energiequellen sind in Kreuzberg bei aktueller Gesetzlage nicht erschließbar.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das Energiekonzept, das mit Hilfe zahlreicher Simulationen, Berechnungen, Recherchen, Interviews und Modellierungen entwickelt wurde, in den Augen der Autoren die beste Option für eine nachhaltige Energieversorgung Kreuzbergs darstellt. Die Kosten der Wärmeversorgung sind dabei konkurrenzfähig und auf Dauer nachhaltig und die Stromversorgung mit privaten PV-Anlagen wirtschaftlich attraktiv. Damit kann Kreuzberg erhebliche Teile der Treibhausgasemissionen einsparen und langfristige nachhaltige Strukturen schaffen.

9. Anhang

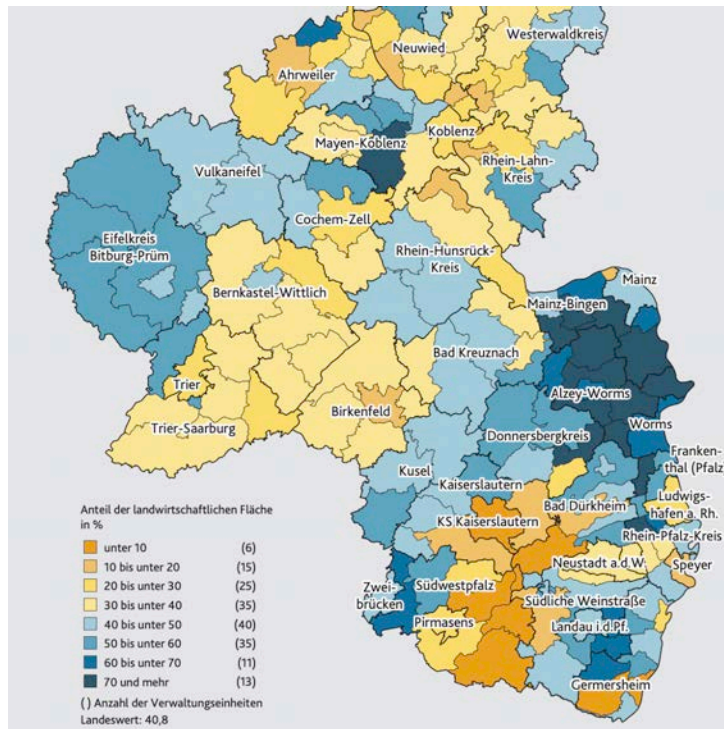


Abbildung 39: Landwirtschaftliche Flächen Rheinland-Pfalz (Statistisches Monatsheft RLP 04.2021)

```
capital_cost_el_storage = 600 # Kosten pro kWh Speicherkapazität

capital_cost_heat_storage = 6
standing_loss_per_h = 0.00005 # per unit
heat_storage_efficiency = 0.97

hp_efficiency = 3 # Wärmepumpe COP

# Netzwerk erstellen
network = pypsa.Network()

network.set_snapshots(range(8760))

# Knoten
network.add("Bus", "electric_bus")
network.add("Bus", "pv_bus")
network.add("Bus", "wind_bus")
network.add("Bus", "store_bus")

# Hinzufügen der Generatoren
network.add("Generator", "grid_power", bus="electric_bus",
           marginal_cost=electricity_rate,
           p_nom=grid_p_nom)

network.add("Generator", "pv_park", bus="pv_bus",
           p_nom_extendable=True,
           capital_cost=pv_capital_cost,
           p_max_pu=pv_data,
           lifetime=lifespan_ee)

network.add("Generator", "pv_infeed", bus="pv_bus",
           sign=-1,
           p_nom=infeed_p_nom,
           marginal_cost=grid_infeed_pv,
           lifetime=lifespan_ee)

network.add("Generator", "wind_park", bus="wind_bus",
           p_nom_extendable=True,
           capital_cost=wind_capital_cost,
           p_max_pu=wind_data,
           lifetime=lifespan_ee)

network.add("Generator", "wind_infeed", bus="wind_bus",
           sign=-1,
           p_nom=infeed_p_nom,
           marginal_cost=grid_infeed_wind,
           lifetime=lifespan_ee)

network.add("Load", "household_group", bus="electric_bus",
           p_set=load_data)
```

Abbildung 40: Ausschnitt aus dem Python-Code der PyPSA-Modellierung

## Literaturverzeichnis

- [1] AW-Wiki, „AhrtalWerke Wiki,“ [Online]. Available: <https://www.aw-wiki.de/index.php/Kreuzberg#Einwohner>. [Zugriff am 25 September 2023].
- [2] Vattenfall GmbH, „Vattenfall,“ Vattenfall GmbH, [Online]. Available: <https://group.vattenfall.com/de/newsroom/news/2023/netto-null---was-bedeutet-das-eigentlich>. [Zugriff am 15 Juni 2023].
- [3] Next Kraftwerke GmbH, „next-kraftwerke,“ Next Kraftwerke GmbH, [Online]. Available: <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/virtuelles-kraftwerk>. [Zugriff am 15 Juni 2023].
- [4] B. v. Kreuzberg, Interviewee, *Digitale Umfrage zum energetischen Stand der Gebäude in Kreuzberg*. [Interview]. Mai 2023.
- [5] Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz, „21. Bautätigkeit,“ 2022. [Online]. Available: [https://www.statistik.rlp.de/fileadmin/dokumente/jahrbuch/Jahrbuch\\_2022\\_Kapitel\\_21\\_-\\_Bautaetigkeit.pdf](https://www.statistik.rlp.de/fileadmin/dokumente/jahrbuch/Jahrbuch_2022_Kapitel_21_-_Bautaetigkeit.pdf). [Zugriff am 13 Oktober 2023].
- [6] C. V. E. G. München, „Energieverbrauch Einfamilienhaus – Stromverbrauch und Gasverbrauch im Überblick,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.check24.de/strom-gas/ratgeber/energieverbrauch-einfamilienhaus/#:~:text=Durchschnittlich%20verbraucht%20ein%20Einfamilienhaus%2025.000,und%20Jahr%20ausgegangen%20-%20Warmwasser%20eingeschlossen>. [Zugriff am 13 Oktober 2023].
- [7] Małgorzata Danecka, „gruenes.haus,“ 2023. [Online]. Available: <https://gruenes.haus/wie-viel-photovoltaik-brauche-ich/#:~:text=Ein%20Einfamilienhaus%20benötigt%20im%20Schnitt,Anlagen%20im%20Schnitt%201%20kWp>. [Zugriff am 13 Oktober 2023].
- [8] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, „Bericht zum Zustand und Ausbau der Verteilnetze 2021,“ Bonn, 2021.
- [9] Deutscher Bundestag, „Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude und zur Änderung weiterer Gesetze,“ 2020. [Online]. Available:

- [https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger\\_BGBl&bk=Bundesanzeiger\\_BGBl&start=/\\*\[@attr\\_id=%27bgbl107s1519.pdf%27\]#\\_\\_bgbl\\_%2F%2F\\*%5B%40attr\\_id%3D%27bgbl120s1728.pdf%27%5D\\_\\_1697193351479](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&bk=Bundesanzeiger_BGBl&start=/*[@attr_id=%27bgbl107s1519.pdf%27]#__bgbl_%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl120s1728.pdf%27%5D__1697193351479).
- [10] Deutsche Energie-Agentur, „Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand,“ 2016. [Online]. Available: [https://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/8162\\_dena-Gebaeudereport.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/user_upload/8162_dena-Gebaeudereport.pdf). [Zugriff am 13 Oktober 2023].
- [11] Institut für Wohnen und Umwelt (IWU), „Tabula WebTool,“ 2016. [Online]. Available: <https://webtool.building-typology.eu/#bm>. [Zugriff am 10 Oktober 2023].
- [12] R. S. D. M. Felix Rehmann, „KURZFRISTIG UMZUSETZENDE MAßNAHMEN ZUR STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ VON GEBAUDEN UND QUARTIEREN,“ Technische Universität Berlin, Juli 2022. [Online]. Available: <https://api-depositonce.tu-berlin.de/server/api/core/bitstreams/4302c3f2-6994-4b70-8036-8d0a8156ca60/content>. [Zugriff am 5 Oktober 2023].
- [13] Verkehrsbetriebe Mittelrhein, „VMR,“ [Online]. Available: <https://www.verkehrsbetriebe-mittelrhein.de/de/strecken/liniennetzplaene>. [Zugriff am 20 Mai 2023].
- [14] A. Hupperich, „Kreuzberg Ahrtal,“ [Online]. Available: <https://www.kreuzberg-ahrtal.de/>. [Zugriff am 20 April 2023].
- [15] Verkehrsverbund Rhein-Mosel GmbH, „VRM,“ [Online]. Available: [https://www.vrminfo.de/fileadmin/data\\_vrminfo/PDF/2023/VRM\\_Liniennetzplan\\_2023.pdf](https://www.vrminfo.de/fileadmin/data_vrminfo/PDF/2023/VRM_Liniennetzplan_2023.pdf). [Zugriff am 12 Juli 2023].
- [16] Verbandsgemeinde Altenahr, „Altenahr,“ [Online]. Available: <https://www.altenahr.de/de/>. [Zugriff am 29 April 2023].
- [17] Apple Inc., „Apple Maps,“ Apple Inc., [Online]. Available: <https://www.apple.com/de/maps/>. [Zugriff am 20 Juni 2023].
- [18] Abfallwirtschaftsbetriebe Landkreis Ahrweiler, „meinawb,“ AWB, [Online]. Available: <https://www.meinawb.de/abfuhrtermine>. [Zugriff am 30 April 2023].



- [19] Abfallwirtschaftsbetrieb Landkreis Ahrweiler, „meinawb,“ Abfallwirtschaftsbetrieb Landkreis Ahrweiler, [Online]. Available: <https://www.meinawb.de/gebuehren#modal-basisgebuehr>. [Zugriff am 21 Juni 2023].
- [20] Abfallwirtschaftsbetrieb Landkreis Ahrweiler, „meinawb,“ Abfallwirtschaftsbetrieb Landkreis Ahrweiler, [Online]. Available: <https://www.meinawb.de/deponien>. [Zugriff am 22 Juni 2023].
- [21] Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität des Landes Rheinland-Pfalz, „Solarkataster RLP,“ 20 April 2023. [Online]. Available: <https://solarkataster.rlp.de/start>.
- [22] Die Bundesregierung, „Bundesregierung,“ Bundesregierung Deutschland, [Online]. Available: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/bundesnaturschutzgesetz-aktualisiert-2052452#:~:text=Die%20Errichtung%20und%20der%20Betrieb,wo%20es%20ausgewiesenerma%20windig%20ist..> [Zugriff am 8 Mai 2023].
- [23] Land Rheinland-Pfalz, „Geodaten.naturschutz.rlp,“ Landschaftsinformationssystem der Naturschutzverwaltung RLP, [Online]. Available: [https://geodaten.naturschutz.rlp.de/kartendienste\\_naturschutz/index.php](https://geodaten.naturschutz.rlp.de/kartendienste_naturschutz/index.php). [Zugriff am 23 Juni 2023].
- [24] Naturschutzverwaltung Rheinland-Pfalz, „Geoportal der Naturschutzverwaltung Rheinland-Pfalz,“ 2020. [Online]. Available: <https://geodaten.naturschutz.rlp.de>. [Zugriff am 10 Oktober 2023].
- [25] Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz, „mkuem.rlp,“ [Online]. Available: <https://mkuem.rlp.de/themen/energie-und-klimaschutz/erneuerbare-energien/windenergie>. [Zugriff am 24 Mai 2023].
- [26] EWE AG, „ewe,“ EWE AG, [Online]. Available: <https://www.ewe.com/de/zukunft-gestalten/klimaschutz/klimapedia/energiezukunft/blockheizkraftwerk>. [Zugriff am 27 Juni 2023].
- [27] Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz, „prj-wwvauskunft,“ Landesamt für Umwelt, [Online]. Available: <http://213.139.159.46/prj->

- [www.vaukunft/projects/messstellen/wasserstand/register2.jsp?intern=false&msn=2718040300&pegelname=Altenahr%20%20&gewaesser=Ahr&dfue=1](http://www.vaukunft/projects/messstellen/wasserstand/register2.jsp?intern=false&msn=2718040300&pegelname=Altenahr%20%20&gewaesser=Ahr&dfue=1). [Zugriff am 9 Mai 2023].
- [28] EnBW Energie Baden-Württemberg AG, „EnBW,“ EnBW AG, [Online]. Available: <https://www.enbw.com/erneuerbare-energien/wasser/standorte.html>. [Zugriff am 9 Mai 2023].
- [29] Westnetz GmbH, „westnetz,“ [Online]. Available: <https://www.westnetz.de/content/dam/revu-global/westnetz/documents/bauen/ihr-weg-zum-netzanschluss/niederspannung/210930-tabnswestnetz2021-ohneaenderungsverfolgung.pdf>. [Zugriff am 6 August 2023].
- [30] Bundesministerium der Justiz, „Land Rheinland-Pfalz,“ Bundesministerium der Justiz, [Online]. Available: [https://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/e650a8b9e58e4b09c1257a22002a91da/4a21c08d66c73e13c125859200472d4d/\\$FILE/WHG\\_LESEFASSUNG\\_04.12.18.pdf](https://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/e650a8b9e58e4b09c1257a22002a91da/4a21c08d66c73e13c125859200472d4d/$FILE/WHG_LESEFASSUNG_04.12.18.pdf). [Zugriff am 10 Mai 2023].
- [31] Kreis Ahrweiler, „Kreis Ahrweiler ÖPNV,“ Kreis Ahrweiler, [Online]. Available: [https://kreis-ahrweiler.de/verkehr\\_ordnung/oeffentlicher-personennahverkehr/](https://kreis-ahrweiler.de/verkehr_ordnung/oeffentlicher-personennahverkehr/). [Zugriff am 20 Mai 2023].
- [32] Westnetz GmbH, „Stromnetzpläne des Ort Kreuzberg,“ 2023.
- [33] Gurobi Optimization LLC, „gurobi,“ Gurobi Optimization LLC, [Online]. Available: <https://www.gurobi.com/solutions/gurobi-optimizer/>. [Zugriff am 23 Mai 2023].
- [34] Deutscher Wetterdienst, „Climate Data Centers,“ Deutscher Wetterdienst, [Online]. Available: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/cdc/>. [Zugriff am 2 August 2023].
- [35] European Commission, „Joint Research Center,“ European Commission, [Online]. Available: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/). [Zugriff am 4 August 2023].
- [36] N. Pflugradt, „LoadProfileGenerator,“ Technische Universität Chemnitz, Chemnitz, 2023.

- [37] Hochschule Trier, „Umwelt Campus "Energietools",“ [Online]. Available: <https://www.umwelt-campus.de/energietools>. [Zugriff am 5 August 2023].
- [38] Bundesregierung, „Bundesregierung,“ [Online]. Available: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/europa/verbrennermotoren-2058450>. [Zugriff am 8 Oktober 2023].
- [39] Energieagentur Rheinland-Pfalz, „Energieagentur RLP,“ Energieagentur RLP, [Online]. Available: <https://www.energieagentur.rlp.de/info/die-energieagentur-informiert/presse/presseinformationen/detailansicht/perspektiven-fuer-die-waermeversorgung-der-haeuser-im-ahrtal/>. [Zugriff am 27 September 2023].
- [40] Bundesministerium des Innern und für Heimat, „BMI,“ BMI, [Online]. Available: <https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/pressemitteilungen/DE/2021/08/aufbauhilfe-2021.html>. [Zugriff am 28 September 2023].
- [41] ARD, „Tagesschau,“ ARD, [Online]. Available: <https://www.tagesschau.de/inland/gesellschaft/ahrtal-nahwaerme-100.html>. [Zugriff am 16 Dezember 2023].
- [42] Landesregierung Rheinland-Pfalz, „RLP,“ Landesregierung Rheinland-Pfalz, [Online]. Available: <https://www.rlp.de/aktuelles/einzelansicht/news/News/detail/malu-dreyer-ehrt-fluthelfende-menschen-leisten-grosses-wenn-sie-fuereinander-da-sind/>. [Zugriff am 20 Dezember 2023].
- [43] TLK Energy, „log p-h Diagramm,“ 12 März 2024. [Online]. Available: <https://tlk-energy.de/phasendiagramme/druck-enthalpie>. [Zugriff am 12 März 2024].
- [44] MEFA Befestigungs- und Montagesysteme GmbH, „MEFA,“ 12 März 2024. [Online]. Available: <https://www.mefa.de/impressum>. [Zugriff am 14 März 2024].
- [45] multiQ water, „multiQ water 1235 Datenblatt,“ [Online]. [Zugriff am 5 März 2024].
- [46] Wegatech, „<https://www.wegatech.de>,“ Wegatech, [Online]. Available: <https://www.wegatech.de/ratgeber/photovoltaik/kosten-und-wirtschaftlichkeit/photovoltaikanlagen/#:~:text=Eine%20typische%20Anlagengröße%20für%20eine,Komponenten%20auch%20Planung%20und%20Montage.> . [Zugriff am 2 März 2024].

- [47] Bundesverband Wärmepumpen e.V. , „Wärmepumpen.de,“ Bundesverband Wärmepumpen e.V. , [Online]. Available: <https://www.waermepumpe.de/waermepumpe/grosswaermepumpen/>. [Zugriff am 2 März 2024].
- [48] Heizungs-Discount, „<http://www.heizungs-discount.de>,“ Heizungs-Discount, [Online]. Available: [http://www.heizungs-discount.de/Kataloge/Viessmann/viessmann\\_preisliste\\_mittel\\_und\\_grosskessel\\_vitoplex\\_vitocell\\_vitorond\\_vitotrans\\_vitoradial\\_vitomax\\_vitoplex\\_vitoccontrol\\_kwt\\_vitocal\\_pyrot\\_pyrotec\\_mawera\\_vitocom\\_vitodata\\_vitohome.pdf](http://www.heizungs-discount.de/Kataloge/Viessmann/viessmann_preisliste_mittel_und_grosskessel_vitoplex_vitocell_vitorond_vitotrans_vitoradial_vitomax_vitoplex_vitoccontrol_kwt_vitocal_pyrot_pyrotec_mawera_vitocom_vitodata_vitohome.pdf). [Zugriff am 2 März 2024].
- [49] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., „<https://www.bdew.de>,“ BDEW, [Online]. Available: <https://www.bdew.de/energie/waermewende/waerme-schafft-effizienz/großwaermepumpe-als-baustein-fuer-klimaneutrale-fernwaerme/>. [Zugriff am 2 März 2024].
- [50] A. Schweizer, „Formelsammlung und Berechnungsprogramme Maschinen- und Anlagenbau,“ 21 August 2022. [Online]. Available: [https://www.schweizer-fn.de/waerme/waermetauscher/waermetauscher.php#k\\_wert\\_tab](https://www.schweizer-fn.de/waerme/waermetauscher/waermetauscher.php#k_wert_tab). [Zugriff am 14 März 2024].
- [51] MEFA Befestigungs- und Montagesysteme GmbH, „multiQ Preisliste 2023,“ Geschäftsfeld multiQ, Kupferzell, 2023.
- [52] C.A.R.M.E.N. e.V., „<https://www.carmen-ev.de>,“ [Online]. Available: [https://www.energiesystemtechnik.de/images/pdf/Merkblatt\\_Nahwaerme\\_CAR\\_MEN.pdf](https://www.energiesystemtechnik.de/images/pdf/Merkblatt_Nahwaerme_CAR_MEN.pdf). [Zugriff am 2 März 2024].
- [53] Wolf Power Systems Holding GmbH, „<https://www.kesselheld.de>,“ Wolf Power Systems Holding GmbH, [Online]. Available: <https://www.kesselheld.de/fernwaermeleitung-preis/>. [Zugriff am 2 März 2024].
- [54] Statistisches Bundesamt, „<https://www.destatis.de>,“ Statistisches Bundesamt, 4 März 2024. [Online]. Available: [https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Verbraucherpreisindex/\\_inhalt.html#](https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Verbraucherpreisindex/_inhalt.html#). [Zugriff am 5 März 2024].

- [55] Energieagentur RLP, „<https://www.energieagentur.rlp.de>,“ [Online]. Available: [https://www.energieagentur.rlp.de/fileadmin/user\\_upload/Praxisleitfaeden/Praxisleitfaden\\_Nahwaerme.pdf](https://www.energieagentur.rlp.de/fileadmin/user_upload/Praxisleitfaeden/Praxisleitfaden_Nahwaerme.pdf). [Zugriff am 2 März 2024].
- [56] BAFA, „[bafa.de](https://www.bafa.de),“ BAFA, [Online]. Available: [https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente\\_Waermenetze/effiziente\\_waermenetze\\_node.html](https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente_Waermenetze/effiziente_waermenetze_node.html). [Zugriff am 2 März 2024].
- [57] Bundesnetzagentur (BNetzA, „EEG-Förderung und -Fördersätze,“ 5 März 2024. [Online]. Available: [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/EEG\\_Foerderung/start.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/EEG_Foerderung/start.html). [Zugriff am 5 März 2024].
- [58] Statistisches Bundesamt, „Erdgas und Stromdurchschnittspreise,“ [Online]. Available: [https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Erdgas-Strom-Durchschnittspreise/\\_inhalt.html](https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Erdgas-Strom-Durchschnittspreise/_inhalt.html).
- [59] Kreditanstalt für Wiederaufbau, „KfW,“ KfW 270, [Online]. Available: [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilie/Foerderprodukte/Eneuerbare-Energien-Standard-\(270\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilie/Foerderprodukte/Eneuerbare-Energien-Standard-(270)/). [Zugriff am 28 April 2023].
- [60] Kreditanstalt für Wiederaufbau, „KfW,“ KfW 261, [Online]. Available: [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestehende-Immobilie/Foerderprodukte/Bundesfoerderung-fuer-effiziente-Gebaeude-Wohngebaeude-Kredit-\(261-262\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestehende-Immobilie/Foerderprodukte/Bundesfoerderung-fuer-effiziente-Gebaeude-Wohngebaeude-Kredit-(261-262)/). [Zugriff am 2023 April 2023].
- [61] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, „BAFA,“ BEG, [Online]. Available: [https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/beg\\_em\\_foerderuebersicht.html?nn=1463514](https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/beg_em_foerderuebersicht.html?nn=1463514). [Zugriff am 29 April 2023].
- [62] Investitions- und Strukturbank Rheinland-Pfalz, „ISB,“ ISB RLP, [Online]. Available: <https://isb.rlp.de/foerderung/603.html>. [Zugriff am 29 April 2023].
- [63] Investitions- und Strukturbank Rheinland-Pfalz, „ISB,“ ISB 285, [Online]. Available: <https://isb.rlp.de/foerderung/285.html>. [Zugriff am 29 April 2023].
- [64] Umweltbundesamt, „umweltbundesamt,“ Umweltbundesamt, [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/heizen-bauen/sonnenkollektoren-solarthermie#unsere-tipps>. [Zugriff am 24 Juni 2023].

- 
- [65] nPro Energy GmbH, „Wirtschaftliche Parameter für die Auslegung von Energiesystemen,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.npro.energy/main/de/help/economic-parameters>. [Zugriff am 13 Oktober 2023].
- [66] nPro Energy GmbH, „nPRo - Planning tool for buildings & districts,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.npro.energy>. [Zugriff am Oktober 2023].