

Masterprojekt - Erneuerbare Energien

Zwischenbericht

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, 13. 10. 2023



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VI
1. Allgemeines	1
1.1. Einleitung & Motivation.....	1
1.2. Ortsgemeinde Kreuzberg.....	2
1.3. Konzepte energieautarker Kommunen.....	2
1.4. Erfolgsfaktoren	4
2. Methodisches Vorgehen	5
2.1. Bestandsaufnahme	5
2.2. Potentialanalyse	6
2.3. Netzberechnung	7
2.4. Energiesystemmodellierung	7
2.5. Erstellung des Energiekonzepts	8
3. Bestandsaufnahme	8
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. ÖPNV.....	21
3.4.1.2. Straßen	21
3.4.1.3. Fahrrad	22
3.5. Vorhandene erneuerbarer Energiequellen.....	22
3.6. Bestehende Abfallentsorgung	23
3.7. Förderprogramme	23

4. Potentialanalyse.....	25
4.1. Erneuerbare Energien	25
4.1.1. Photovoltaik	25
4.1.1.1. PV-Potential.....	25
4.1.1.2. PV-Konzepte.....	28
4.1.2. Windenergie	30
4.1.2.1. Wind-Potential	30
4.1.3. Bioenergie.....	32
4.1.3.1. Bioenergie-Potential	33
4.1.3.2. Bioenergie-Konzepte	35
4.1.4. Wasserkraft.....	36
4.1.4.1. Wasserkraft-Potential	36
4.2. Speicherung.....	40
1.1.1. Quartiersstromspeicher	40
1.1.2. Quartierswärmespeicher	41
4.3. Mobilität.....	42
4.4. Wärmeversorgung.....	46
4.4.1. Wärmebedarfe der Gebäude	49
5. Netzberechnung.....	53
5.1. Stromnetzplan Kreuzberg.....	53
5.2. Netzberechnung – PandaPower.....	55
5.2.1. Netzzustandsberechnung	56
5.2.2. PV-Szenario (Gebäude) - Netzberechnung	58
5.2.3. PV-Szenario (Freifläche) - Netzberechnung	62
5.2.4. Maßnahmen - Netzberechnung	63
6. Energiesystemmodellierung.....	65
7. Energiekonzept	69
7.1. Allgemeines Energiekonzept.....	69
7.2. Entwicklung der Szenarien.....	72
7.3. Szenarien des Energiekonzeptes.....	80
7.4. Abschluss und Ausblick.....	84
8. Anhang.....	85

Literaturverzeichnis87

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].....	20
Abbildung 14: VRM-Liniennetzplan 2023, Ausschnitt Kreuzberg. Entnommen aus [13] [15].	21
Abbildung 15: Solarpotential des Ortsteil Kreuzberg. Ermittelt mit dem Solarkataster RLP [26].	26
Abbildung 16: Biotop-/Artenschutzgebiet, Natura2000 Netz, Kreuzberg [29].....	31
Abbildung 17: Nationale Schutzgebiete, Kreuzberg [29]	31
Abbildung 18: Biotopkataster, Kreuzberg [29]	32
Abbildung 19: Gemarkungsgrenzen von Kreuzberg [29].....	34
Abbildung 20 Energiebedarfe und Bezüge der Gebäudes und des Low-Ex-Netzes [37]	51
Abbildung 21 Energiebedarf der Gebäude nach Monaten [37].....	51
Abbildung 22 Randbedingung der Projektsimulation [37].....	52
Abbildung 23: Netzplan von Kreuzberg [37]	53
Abbildung 24: Ausschnitt um den Transformator "Schule" in Kreuzberg [37].....	54
Abbildung 25: Ausschnitt von der Ahrbrücke	54
Abbildung 26: Grafische Darstellung des implementierten Netzes mit künstlichen Koordinaten.....	55
Abbildung 27: Spannungsabweichung an den Knoten beim Worst Case mit 100 % PV-Leistung. Darstellung der Knoten mit einer Spannungsüberschreitung von über 3 %.	60
Abbildung 28: Maximale Ströme auf den Leitungen Knoten beim Worst Case mit 100 % PV-Leistung. Darstellung der Leitungen mit einem maximalen Strom von über 270 A.	60
Abbildung 29: PyPSA Energiesystemmodell Kreuzberg.....	65
Abbildung 30 Energieflussbild Energiezentrale Variante 1 [45].....	73
Abbildung 31 Wirtschaftlichkeitsanalyse Variante 1 [45]	74
Abbildung 32 Energieflussbild Energiezentrale Variante 2 [45].....	75
Abbildung 33 Wirtschaftlichkeitsanalyse Variante 2 [45]	76
Abbildung 34 Energieflussbild Energiezentrale Variante 3 [45].....	76
Abbildung 35: Wirtschaftlichkeitsanalyse Variante 3 [45]	78

Abbildung 36 Energieflussbild Energiezentrale Variante 4 [45]	78
Abbildung 37 Wirtschaftlichkeitsanalyse Variante 4 [45]	79
Abbildung 38: Landwirtschaftliche Flächen Rheinland-Pfalz (Statistisches Monatsheft RLP 04.2021)	85
Abbildung 39: Ausschnitt aus dem Python-Code der PyPSA-Modellierung	86

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bewertung/Zusammenfassung der Erkenntnisse aus der Umfrage in Kreuzberg	13
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.....	27
Tabelle 5: PV-Potential für Kreuzberg Übersicht	27
Tabelle 6: PV-Potential auf öffentlichen Gebäuden	29
Tabelle 7: Übersicht der einzelnen PV-Konzepte für Kreuzberg	30
Tabelle 8: Messdaten Altenahr, Ahr Abfluss, 1946 - 2019, Landesamt für Umwelt RLP [32].....	36
Tabelle 9: Technische Daten, Laufwasserkraftwerke, EnBW [33]	37
Tabelle 10: Technische Daten für das Wasserkraftwerk an der Ahr.....	38
Tabelle 11: Bewertung zur Umsetzung eines Wasserkraftwerks an der Ahr.....	39
Tabelle 12 Wärmebedarf aller Gebäude [].....	49
Tabelle 13 Kältebedarf aller Gebäude [37]	50
Tabelle 14 Strombedarf aller Gebäude [37].....	50
Tabelle 15 Wärmebereitstellung Raumwärme & Trinkwasser [37].....	50
Tabelle 16 Kältebereitstellung [37].....	50
Tabelle 17: Kabeltypen von Kreuzberg (Quelle: Westnetz GmbH).....	56
Tabelle 18: Transformator-Leistungen und Übersetzungsverhältnisse Quelle: Westnetz GmbH)	56
Tabelle 19: Transformatorauslastung bei der maximalen Last in Kreuzberg.....	57
Tabelle 20: Ergebnisse der Spannungsabweichung und des maximalen Stroms bei maximaler Last in Kreuzberg	58
Tabelle 21: Transformatorauslastung im Worst-Case 100% PV-Szenario in Kreuzberg.....	59
Tabelle 22: Ergebnisse der Anzahl der Überschreitungen der Spannungsabweichung und des maximalen Stroms im Worst-Case 100% PV-Szenario in Kreuzberg.....	59
Tabelle 23: Transformatorauslastung im Worst-Case 24% PV-Szenario in Kreuzberg.....	61
Tabelle 24: Ergebnisse der Anzahl der Überschreitungen der Spannungsabweichung und des maximalen Stroms im Worst-Case 24% PV-Szenario in Kreuzberg.....	61
Tabelle 25: Maximal mögliche PV-Leistung einer Freiflächen-Anlage am jeweiligen Transformator in Kreuzberg	63
Tabelle 26: Ergebnisse der Energiesystemmodellierung.....	67
Tabelle 27 Anlagen Kosten [44].....	72
Tabelle 28 Ergebnisse Energiemengen Variante 1 [45]	73
Tabelle 29 Ergebnisse CO2, Primärenergie, Autarkie & Eigenverbrauch Variante 1 [45]	74
Tabelle 30 Ergebnisse Energiemengen Variante 2 [45]	75
Tabelle 31 Ergebnisse CO2, Primärenergie, Autarkie & Eigenverbrauch Variante 2 [45]	75
Tabelle 32 Ergebnisse Energiemengen Variante 3 [45]	77
Tabelle 33 Ergebnisse CO2, Primärenergie, Autarkie & Eigenverbrauch Variante 3 [45]	77
Tabelle 34 Ergebnisse Energiemengen Variante 4 [45]	79

Tabelle 35 Ergebnisse CO2, Primärenergie, Autarkie & Eigenverbrauch Variante 4 [45].....	79
Tabelle 36: Zusammenfassung von Szenario 1 [45].....	80
Tabelle 37: Zusammenfassung von Szenario 2 [45].....	81
Tabelle 38: Zusammenfassung von Szenario 3 [45].....	82
Tabelle 39: Zusammenfassung von Szenario 4 [45].....	83

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, Umsetzung, Monitoring und Evaluierung 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 CO₂-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.

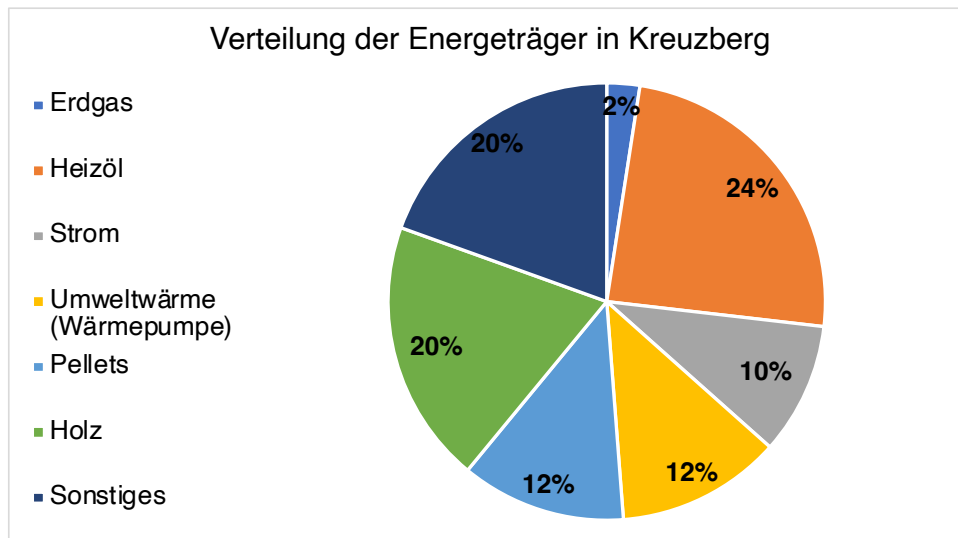


Abbildung 1: Verteilung der Energieträger in Kreuzberg nach der Umfrage [4]

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 m² und 250 m² beheizen. Lediglich ein Gebäude hat eine sehr große Fläche von 800 m². Es handelt sich dabei um einen Hotelbetrieb im Ort.

Für weitere Kalkulationen wird anhand der durchgeführten Umfrage ein Mittelwert von 167 m² als beheizte Fläche angenommen.

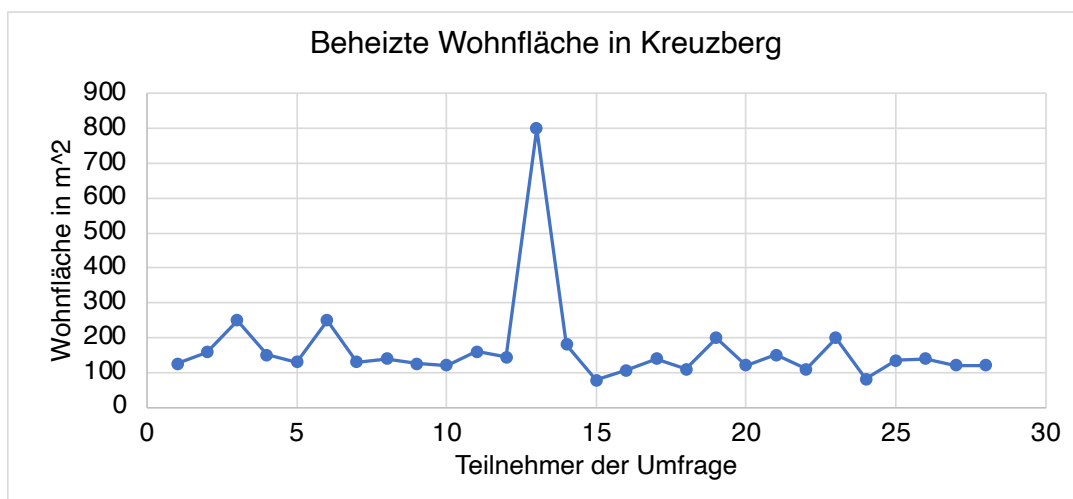


Abbildung 2: Beheizte Wohnfläche der Teilnehmer in Kreuzberg [4]

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.

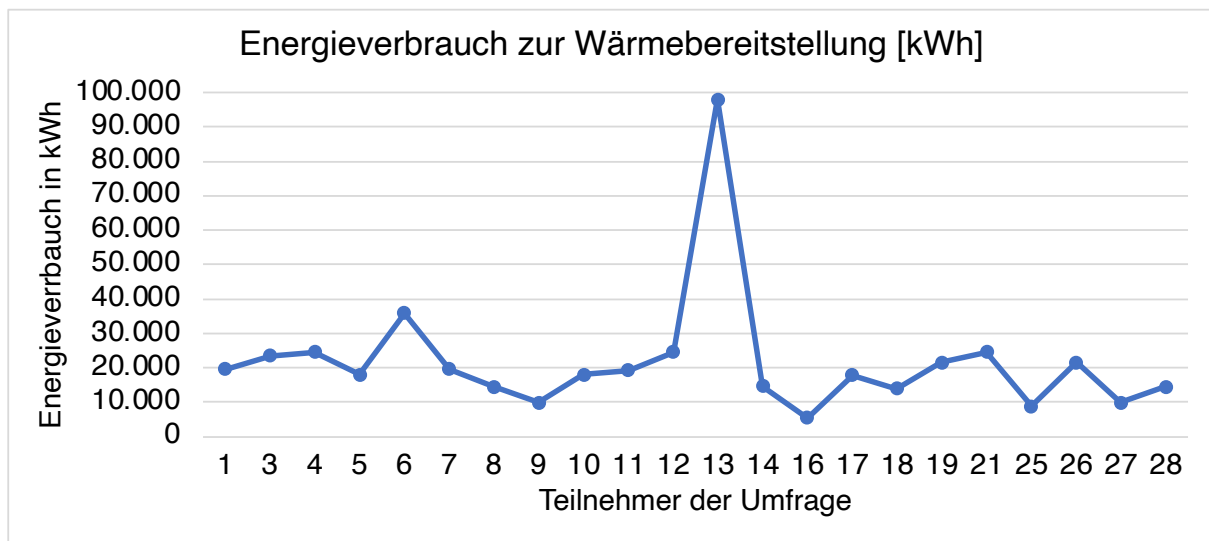


Abbildung 3: Energieverbrauch zur Wärmebereitstellung in Kreuzberg in kWh [4]

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

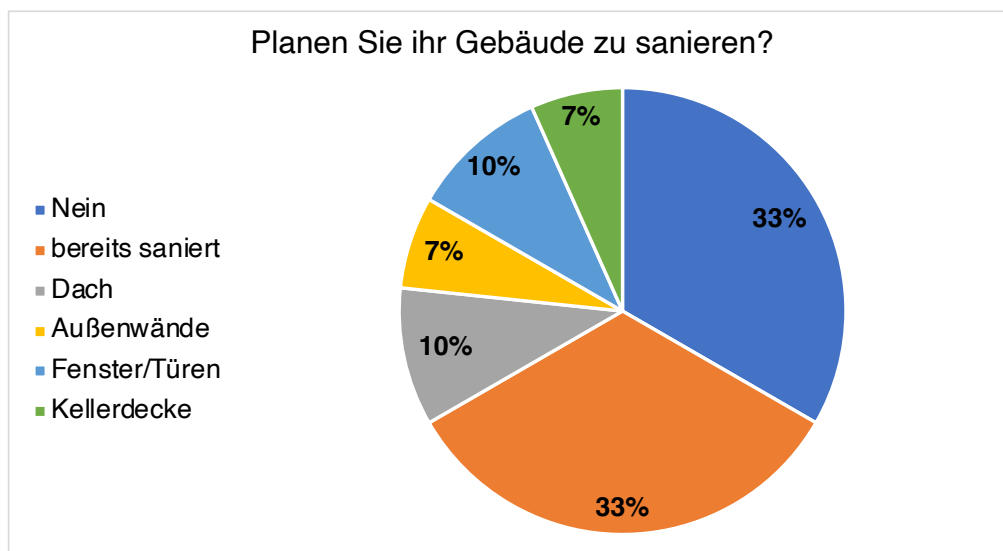


Abbildung 4: Sanierungsgrad/Maßnahmen der Gebäude in Kreuzberg [4]

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.

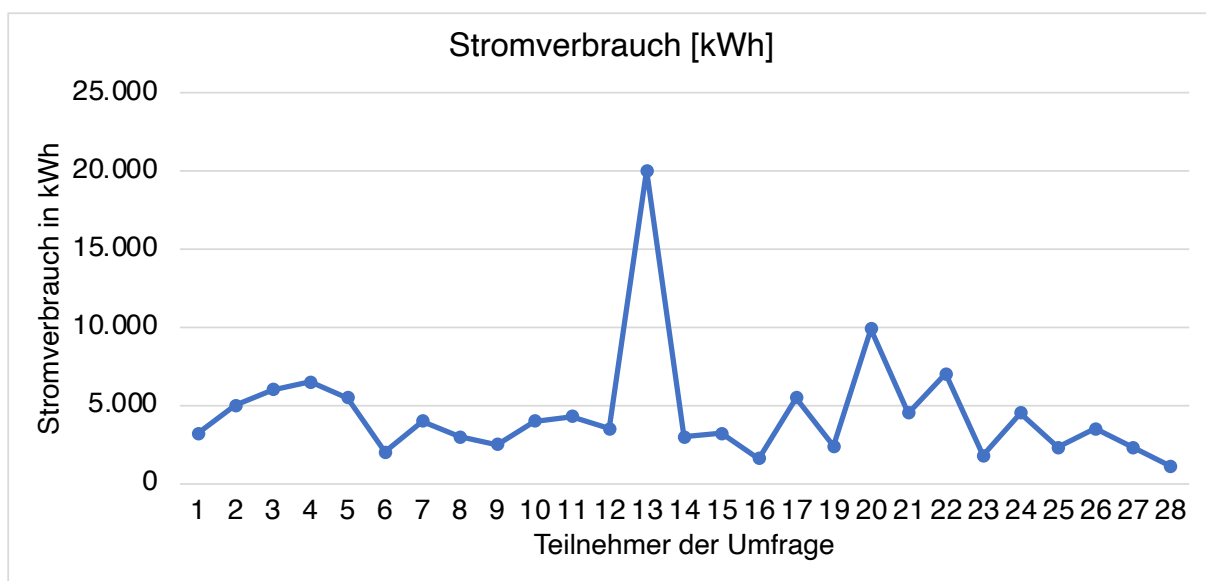


Abbildung 5: Stromverbrauch der Gebäude in Kreuzberg [4]

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.

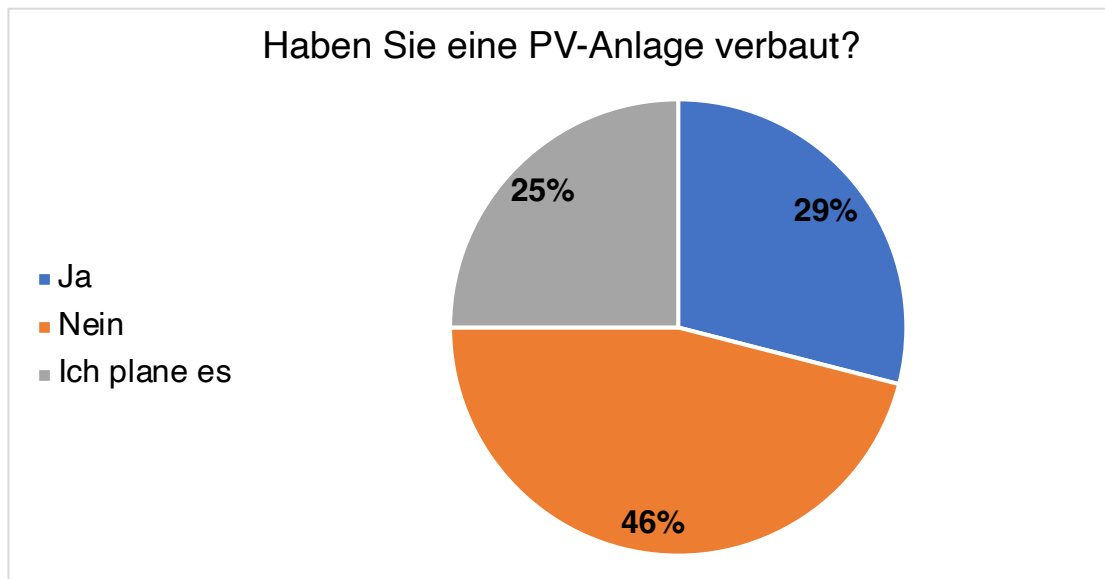


Abbildung 6: Interesse oder bereits installierte PV-Anlage [4]

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.

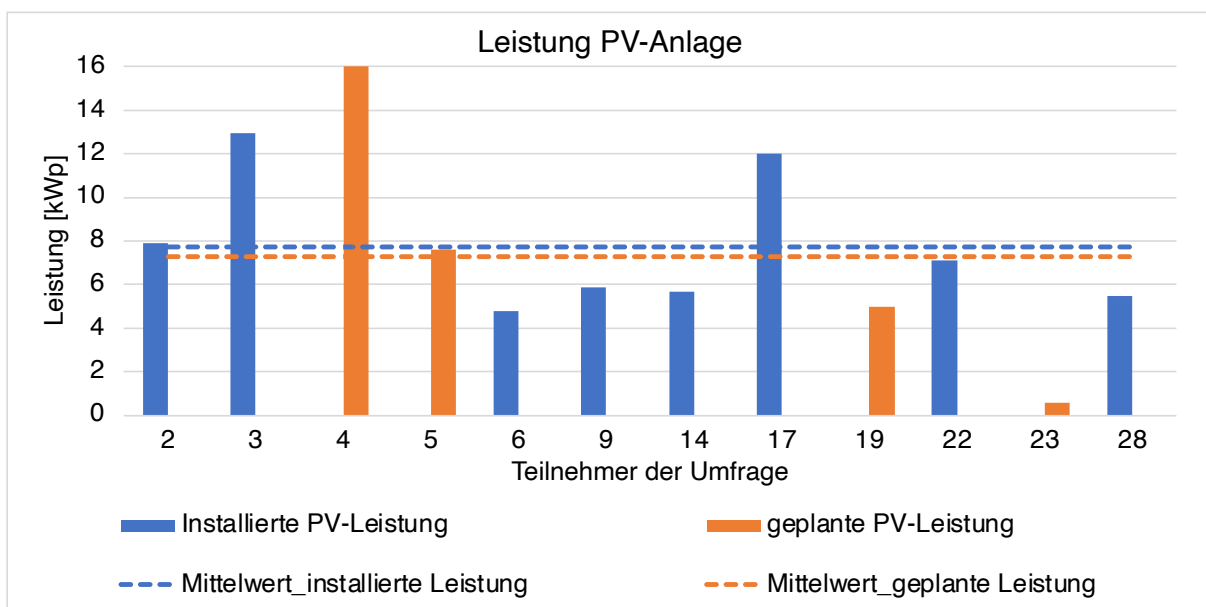


Abbildung 7: Leistung installierter und geplanter PV-Anlagen in Kreuzberg [4]

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)
Verwendete Energieträger	Positiv , lediglich 26 % der Teilnehmer verwenden fossile Energieträger.
Wohnfläche	Neutral der Mittelwert der beheizten Wohnfläche liegt bei 167 m² . In Rheinland-pfalz liegt der Durchschnitt bei 104,6 m ² [5]
Energiebedarf für Wärme	Neutral , der durchschnittliche Energiebedarf liegt bei 21.715 kWh . Durchschnitt in Deutschland für EFH liegt bei 25.000 kWh/a [6]

Sanierungsgrad	Positiv , 33 % der Gebäude sind bereits saniert und weitere 34 % haben aktuell konkrete Maßnahmen geplant.
Strombedarf	Neutral , der durchschnittliche Strombedarf liegt bei 4.522 kWh/a . Ein 4 Personen Haushalt liegt im Durchschnitt bei 4.250 kWh/a [6]
PV-Anlagen	Positiv , 29 % haben bereits eine PV-Anlage verbaut und 46 % planen konkret eine. Hoher Zuspruch für Solarstrom.
Leistung der PV-Anlage	Neutral , die durchschnittliche Leistung liegt bei bestehenden bzw. geplanten Anlagen bei 7,73 bzw. 7,3 kWp . Der Durchschnitt liegt bei 5 bis 10 kWp pro EFH [7]
Elektromobilität	Negativ , nur 7 % besitzen aktuell ein E-PKW und 3 % planen eine Anschaffung. Bisher ist die Akzeptanz sehr gering.
Gesamtbewertung	Neutral bis leicht positiv. 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]

Netzanschlussstyp	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
Mittelwert	8,35	1.754

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

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

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 Strombedarf ein Wert von 1,25 MW. Durch eine weitere Durchdringung von E-Fahrzeugen und Wärmepumpen wird für die Zukunft ein Strombedarf 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.

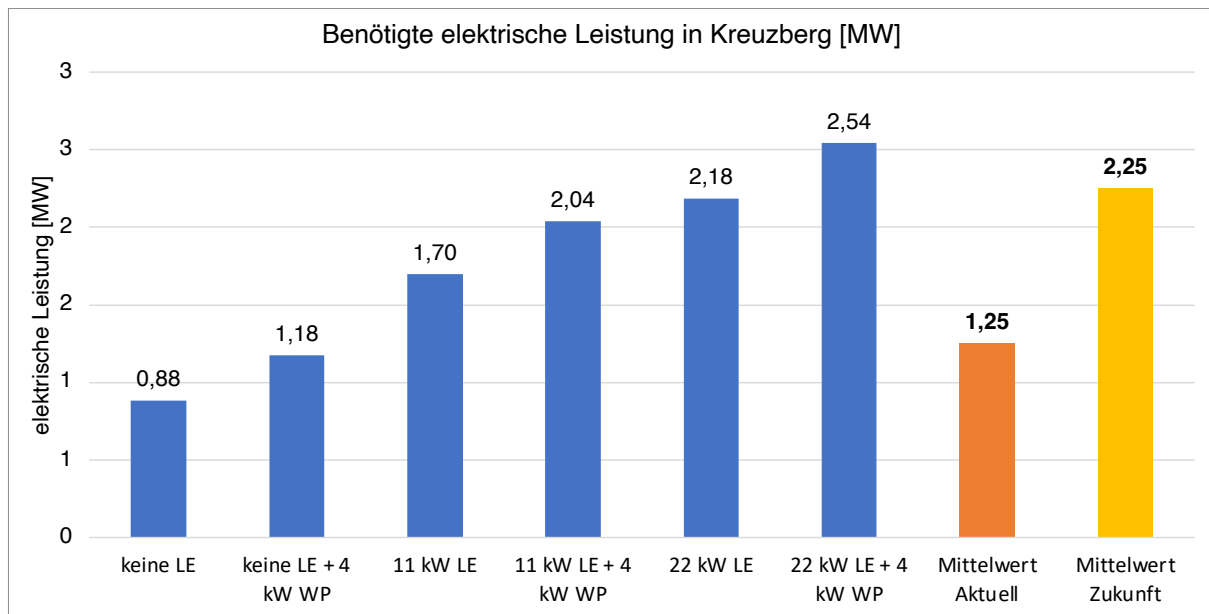


Abbildung 9: Abschätzung des aktuellen und zukünftigen Strombedarf in Kreuzberg [8]

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 m² 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.

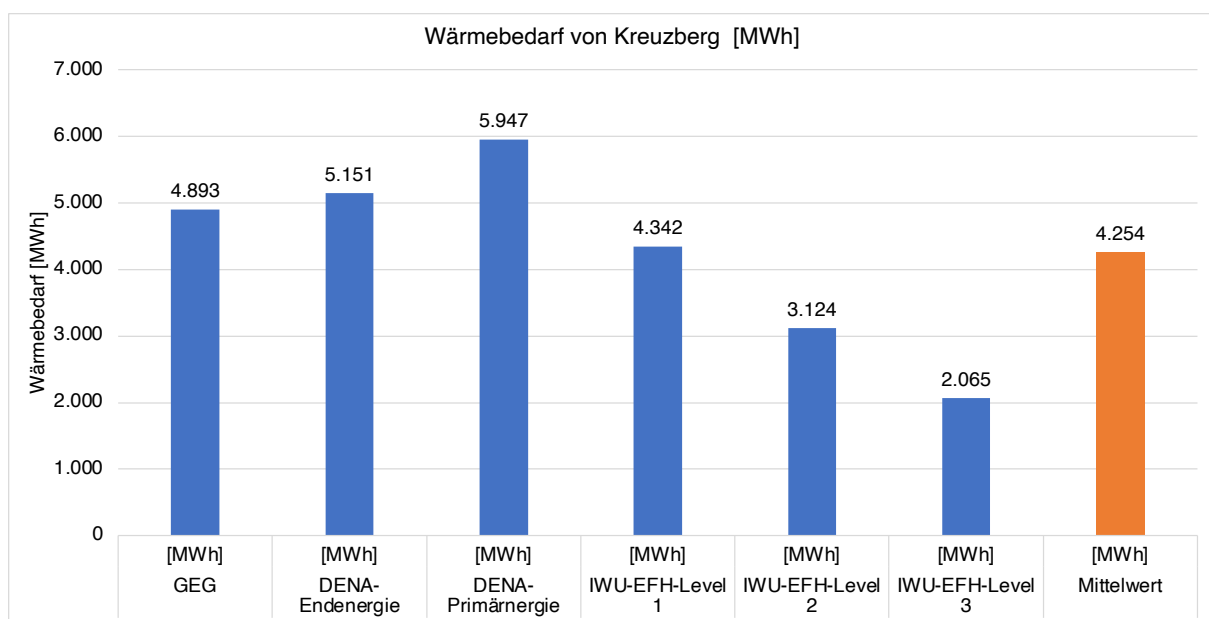


Abbildung 10: Wärmebedarf von Kreuzberg abgeschätzt nach den verschiedenen Altersklassen [9] [10] [11]

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

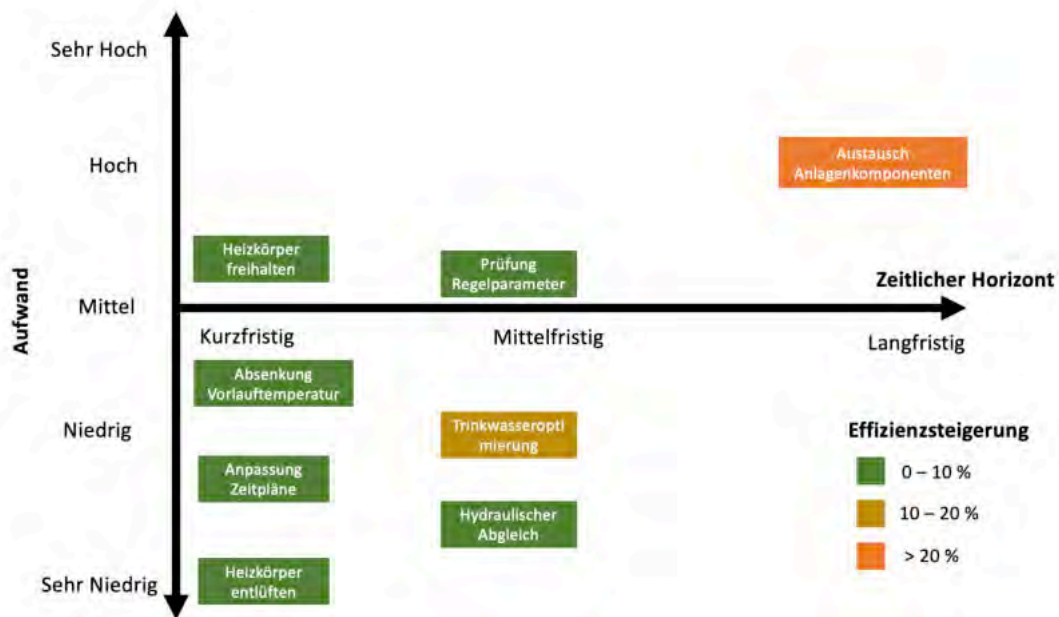


Abbildung 11: Bewertung der Maßnahmen zur Effizienzsteigerung bei der Anlagentechnik [12]

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.

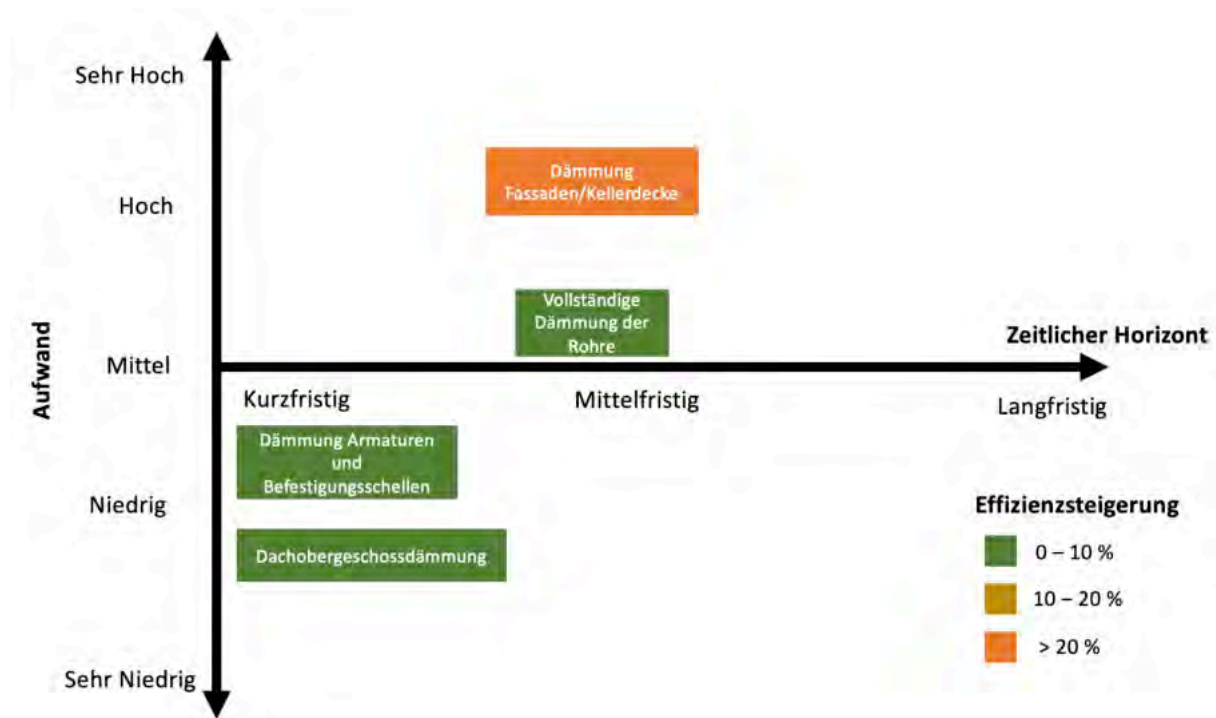


Abbildung 12: Bewertung der Maßnahmen zur Effizienzsteigerung in Bezug auf eine Dämmung [12]

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.

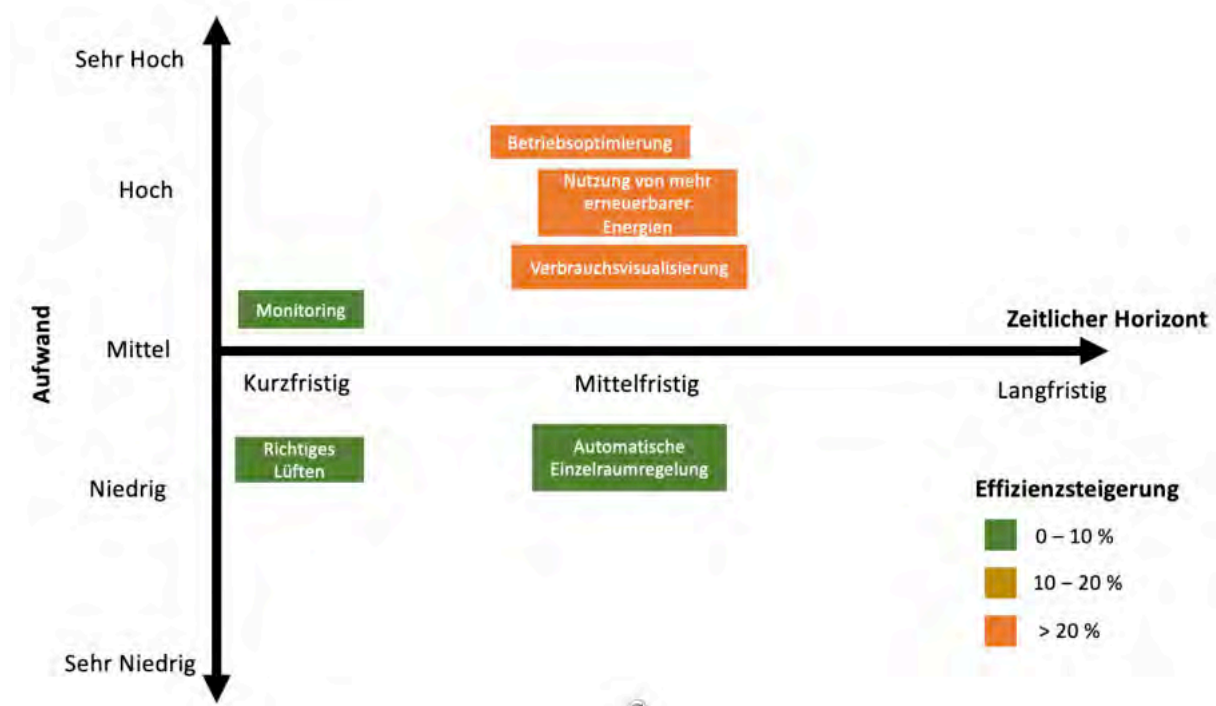


Abbildung 13: Bewertung der Maßnahmen zur Verhaltensänderung und der Systemoptimierung [12]

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. ÖPNV

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.

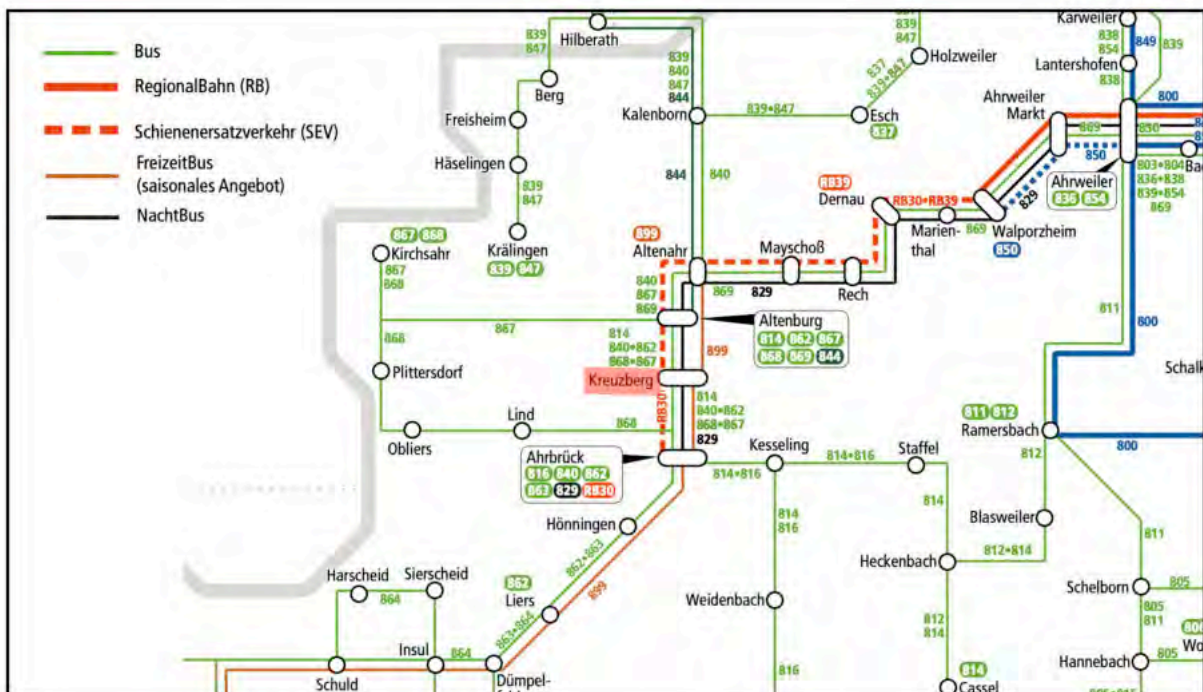


Abbildung 14: VRM-Liniennetzplan 2023, Ausschnitt Kreuzberg. Entnommen aus [13] [15].

3.4.1.2. Straßen

Der Ort ist durch die Bundesstraße 257 erschlossen, die in Kreuzberg unter dem Lingenberg als Tunnel verläuft, sowie durch die Landesstraße 76, die an der B 257 endet.

3.4.1.3. Fahrrad

Kreuzberg wird von dem Ahr-Radweg durchquert, welcher insgesamt 80 Kilometer durch das Ahrtal führt [16].

3.5. Vorhandene erneuerbarer Energiequellen

Für die Bestandsanalyse ist die Berücksichtigung der vorhanden 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 m² aufweist.

Tabelle 3: Bestandsanalyse vorhandener EE-Anlagen in Kreuzberg

Gebäude	Modulanzahl [n]	PV-Leistung [kW _{el}]	ST-Leistung [kW _{th}]
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	-
Gesamt	334	82,25	6,5

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.

3.7. Förderprogramme

In Deutschland gibt es zahlreiche Förderprogramme für erneuerbare Energien und Energieeffizienz auf Bundes- und Landesebene. Für Kreuzberg stehen damit folgende Förderung grundsätzlich zu Verfügung.

Bundesebene:

1. KfW-Förderung: Die KfW-Bank (Kreditanstalt für Wiederaufbau) bietet verschiedene Programme zur Finanzierung von erneuerbaren Energien und Energieeffizienzmaßnahmen, wie z.B.:
 - KfW 270: Erneuerbare Energien – Standard [21]
 - KfW 295, 261: Energieeffizient Bauen und Sanieren [22]
2. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA): Das BAFA bietet Zuschüsse für Einzelmaßnahmen zur Sanierung von Wohngebäuden (WG) und Nichtwohngebäuden (NWG) im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) [23]:
 - Gebäudehülle (z.B. Dämmung)
 - Anlagentechnik (z.B. effiziente Regelungstechnik, Beleuchtung oder Lüftungsanlagen)
 - Heizungstechnik (z.B. Solarthermieanlage, Wärmepumpe)
 - Heizungsoptimierung (z.B. Optimierung von Bestandsanlagen)

Landesebene (Rheinland-Pfalz):

3. Investitions- und Strukturbank Rheinland-Pfalz (ISB): Die ISB bietet Förderprogramme wie:
 - Effizienzcredit RLP 603: Förderung Vorhaben mit positivem Umwelteffekt [24].
 - Landesförderprogramm 285: Effizienz in gewerblichen Unternehmen [25].
4. Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau Rheinland-Pfalz (MWVLW) und Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz (MUEEF): Diese Ministerien bieten verschiedene Förderprogramme und Initiativen zur Unterstützung von erneuerbaren Energien und Energieeffizienz in Rheinland-Pfalz an.

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.

4.1.1.1. 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 [26]. Die Datensammlung erfolgte dabei hausscharf, um bei zukünftigen Berechnungen präzise Ergebnisse zu erlangen.



Abbildung 15: Solarpotential des Ortsteil Kreuzberg. Ermittelt mit dem Solarkataster RLP [26].

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 ²]	200 W
Dachflächen-Nutzungsgrad [%]	70 %
Modulwirkungsgrad [%]	20 %
Wirtschaftliche Mindestleistung [W] ¹	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 %

¹ 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.

4.1.1.2. PV-Konzepte

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 (Altbau?)	31,92
Bahnhof Kreuzberg (öffentlich?)	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.

4.1.2.1. Wind-Potential

Windenergieanlagen können i.d.R. nicht in Naturschutzgebieten umgesetzt werden. Außer der Standort befindet sich in einem sogenannten Windenergiegebiet (Windvorranggebieten) [27]. 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 [28].

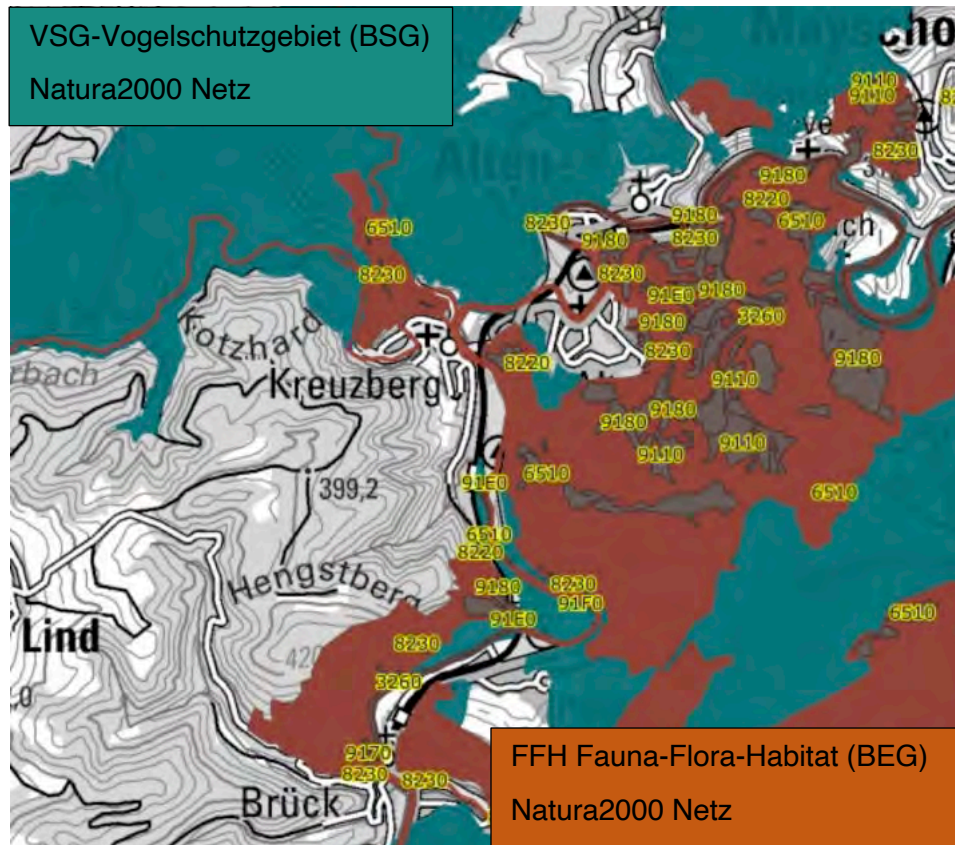


Abbildung 16: Biotop-/Artenschutzgebiet, Natura2000 Netz, Kreuzberg [29]

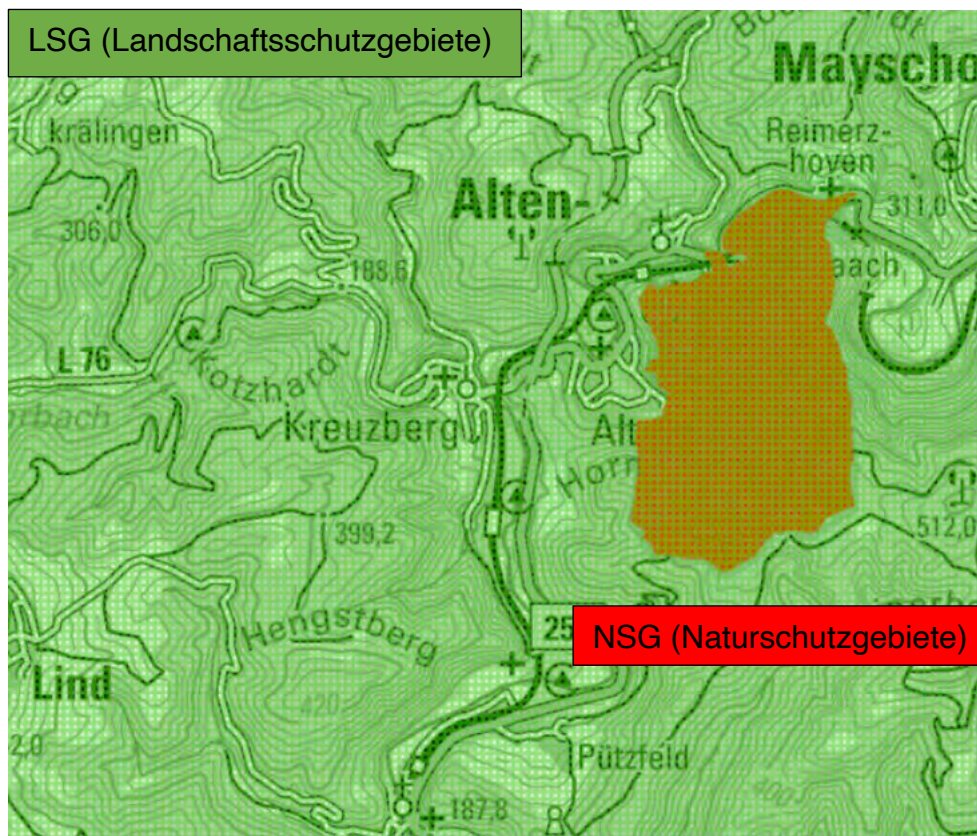


Abbildung 17: Nationale Schutzgebiete, Kreuzberg [29]

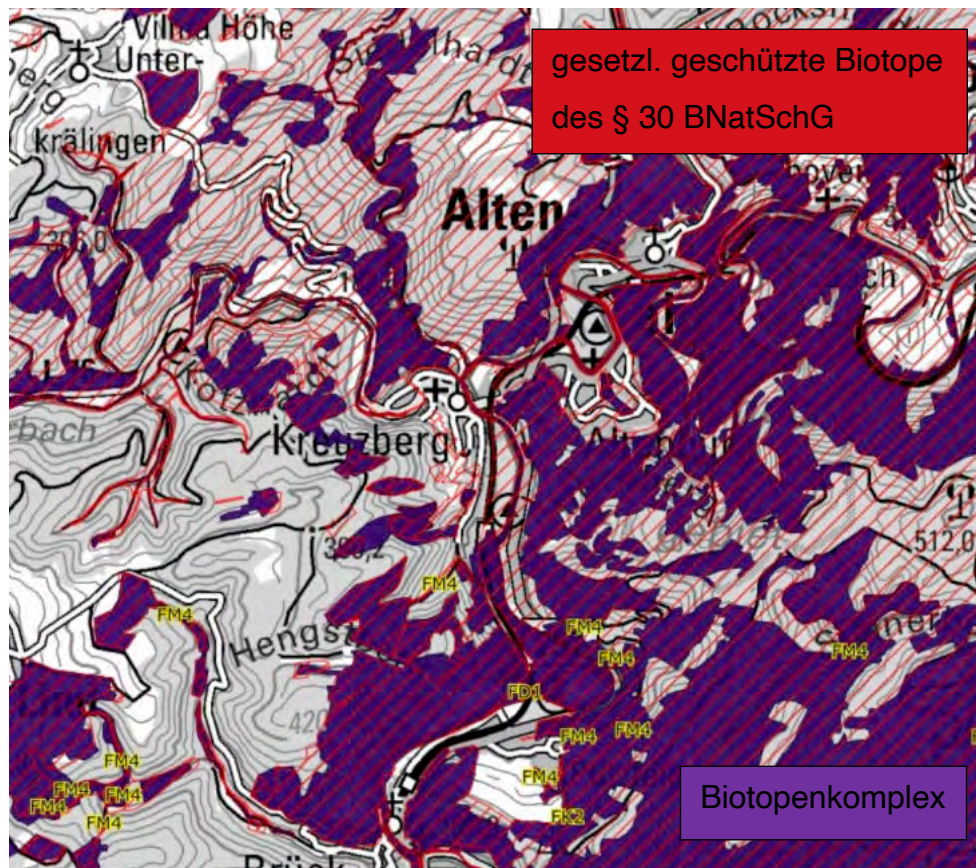


Abbildung 18: Biotopkataster, Kreuzberg [29]

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 [30]. 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.

4.1.3.1. 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:

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 dass 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.

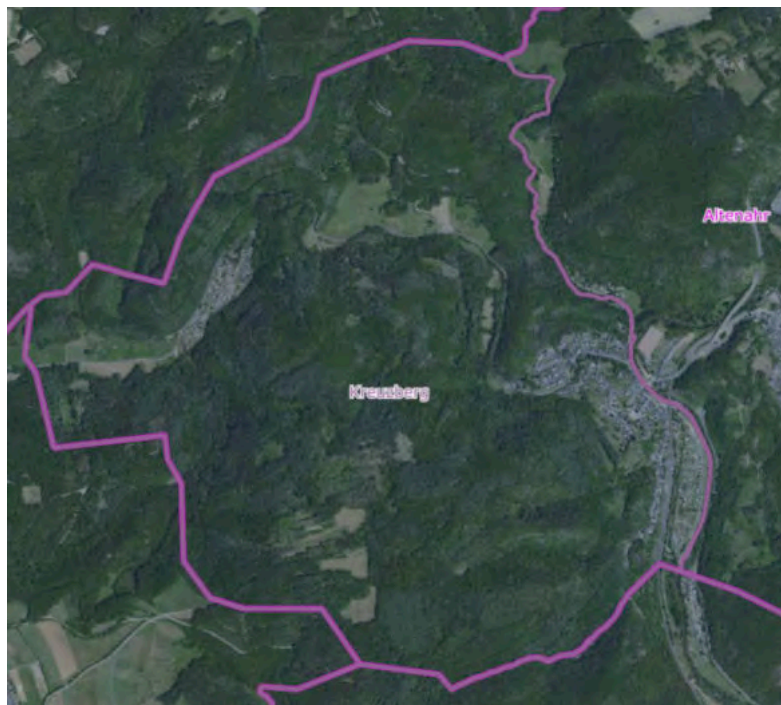


Abbildung 19: Gemarkungsgrenzen von Kreuzberg [29]

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.

4.1.3.2. 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 [31].

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.

4.1.4.1. 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 8: Messdaten Altenahr, Ahr Abfluss, 1946 - 2019, Landesamt für Umwelt RLP [32]

Abfluss in m ³ /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 ³ /s	3,52 m ³ /s	6,86 m ³ /s
MHQ (Mittlerer Hochwasserabfluss)	83 m ³ /s	46,7 m ³ /s	90,3 m ³ /s
HQ (Höchster Hochwasserabfluss)	214 m ³ /s	236 m ³ /s	236 m ³ /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 9: Technische Daten, Laufwasserkraftwerke, EnBW [33]

Werk	Mooshausen (Iller)	Kehl (Rhein)	Esslingen (Neckar)
Mittleres Nutzgefälle	6,1 m	5 m	5,2 m
Durchfluss	9 m ³ /s	35 m ³ /s	30 m ³ /s
Turbinen	1 Rohrturbinen	1 Kaplan turbine	2 Kaplan turbine
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 m³/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 10: Technische Daten für das Wasserkraftwerk an der Ahr

Werk	Konzept (Ahr)
Mittleres Nutzgefälle	6,1 m
Durchfluss	2,65 m ³ /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 11: 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 [34].

Das WHG-RLP § 35 regelt die Wasserkraftnutzung in Rheinland-Pfalz [35]. 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

1.1.1. 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.

Technologische Grundlagen

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.

Funktionsweise

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 Quartierstromspeichern 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.

1.1.2. Quartierswärmespeicher

Technologische Grundlagen

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.

Funktionsweise

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 Wärmeherzeugung und -nachfrage ausgeglichen werden.
- CO₂-Reduktion: Die effiziente Nutzung von Wärme, insbesondere wenn sie aus erneuerbaren Quellen stammt, kann zur Reduzierung von CO₂-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 fortschrittlicher Ansatz, der sowohl technologische Neuerungen als auch die Bedürfnisse der Bürger berücksichtigt, ist von essenzieller Bedeutung. Ein nachhaltiges Mobilitätskonzept könnte die folgenden Bausteine enthalten:

ÖPNV: Kernstück einer nachhaltigen Mobilität

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

- **Taktfahrpläne für Gemeinden:** Ein regelmäßiger Taktverkehr für Gemeinden über 200 Einwohner bietet den Bürgern eine verlässliche und bequeme Reiseoption [36]. 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: Gemeinschaftlicher Transport

- **Förderung der lokalen Mobilität:** 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: Die Zukunft des Individualverkehrs

- **Emissionsfreie Fortbewegung:** 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: Flexibilität im urbanen Raum

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: Vernetzung und Effizienz

- **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 [36].

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.

Zwischenfazit

Das Mobilitätskonzept für Kreuzberg stellt eine ganzheitliche Vision dar, die traditionelle Verkehrsmittel mit modernen Innovationen kombiniert. Durch die Integration von ÖPNV, Elektromobilität, Mikromobilität und digitalen Plattformen wird eine umweltfreundliche, effiziente und bürgerzentrierte Mobilitätslösung angestrebt. Dieser Ansatz ebnet den Weg für eine nachhaltige und zukunftsfähige Fortbewegung in der Gemeinde.

4.4. 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 besonders nützlich ist.

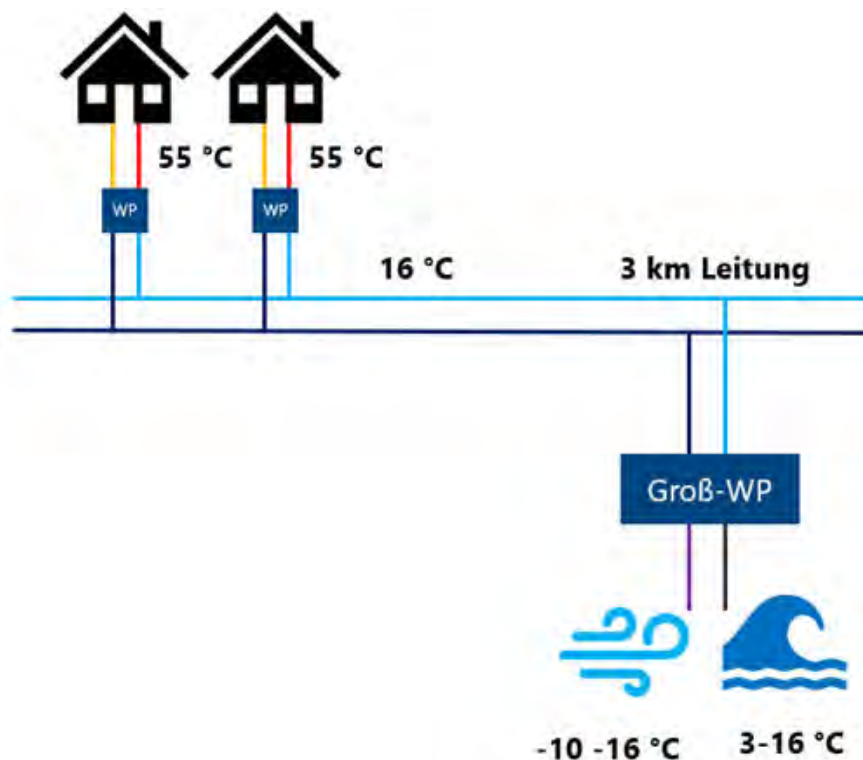


Abbildung 23 Prinzipschema der Wärmeversorgung in Kreuzberg

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 CO₂-Emissionen bei, während die Betriebskosten niedrig gehalten werden.

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.

4.4.1. Wärmebedarfe der Gebäude

Zur Ermittlung der Wärmebedarfe der Gebäude wurde die Gebäudeflächen mit entsprechenden Nutzungstypen und Gebäudealter in das Simulationsprogramm NPro eingeladen welches anhand dieser Daten den Strom- Kälte- und Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser der Gebäude berechnet und die Verluste des dazugehörigen Wärmenetzes miteinbezieht. Der energetische Stand der Gebäude wurde hier mit Gebäuden aus dem Jahr 1958-1968 und somit vor der ersten Wärmeschutzverordnung angenommen.

Für die Berechnung des Wärmebedarfs der Gebäude wurde eine Wärmepumpen COP von 3,4 für die Raumwärme (für Temperaturhub von 16 auf 55 °C, exergetischer Wirkungsgrad 40%) und ein COP von 2,7 für Warmwasser (für Temperaturhub von 10 auf 60°C, exergetischer Wirkungsgrad 40%) angenommen. Die 16 °C stehen hier für die Temperatur im Wärmenetz, die 55°C für die maximale Vorlauftemperatur in den Gebäuden und die 60°C für die Frischwassertemperatur bzw. Vorlauftemperatur des Warmwassers zur Legionellen-Prophylaxe. Zur Berechnung der Lasten wurden die Lufttemperaturen des Testreferenzjahres der Stadt Bonn verwendet, da Bonn der nächstgelegene auswählbare Referenzort ist.

Insgesamt ergeben sich mit für die Gebäude der Gemeinde Kreuzberg folgende Energiebedarfe.

Tabelle 12 Wärmebedarf aller Gebäude []

Wärme	Jahressumme (MWh)	Jahreshöchstwert (kW)
Wärmebedarf aller Gebäude	5.966	4.573
davon Raumwärme	5.203	4.392
davon Trinkwarmwasser	763	208
Strombedarf der Wärmepumpen	-1.106	---
Ausgleich von Wärmebedarfen in Gebäuden	-143	---
Wärmebezug aller Gebäude	4.717	3.215
Ausgleich von Wärmebedarfen im Netz	-7	---
Wärmeverluste (netto)	645	---
Wärmeeinspeisung an Energiezentrale	5.356	3.379

Tabelle 13 Kältebedarf aller Gebäude [37]

Kälte	Jahressumme (MWh)	Jahreshöchstwert (kW)
Kältebedarf aller Gebäude	490	1.500
davon Klimatisierung	490	1.500
davon Prozesskälte	0	0
Ausgleich von Kältebedarfen in Gebäuden	-143	---
Kältebezug aller Gebäude	347	1.455
Ausgleich von Kältebedarfen im Netz	-7	---
Wärmeeinträge (netto)	38	---
Kälteeinspeisung an Energiezentrale	378	1.469

Tabelle 14 Strombedarf aller Gebäude [37]

Strom	Jahressumme (MWh)	Jahreshöchstwert (kW)
Strombedarf aller Gebäude	1.085	285
davon Nutzerstrom	1.030	273
davon Elektromobilität	55	16
Strombedarf aller Gebäudeenergiesysteme	1.106	---
Strombezug aller Gebäude	2.191	1.501
Pumparbeit	57	---
Stromlast an Energiezentrale	2.248	1.534

Tabelle 15 Wärmebereitstellung Raumwärme & Trinkwasser [37]

Wärmebereitstellung	Gesamtleistung (kW)	Erzeugte Wärme (MWh)	Strombedarf (MWh)	Jahresarbeitszahl
Raumwärme-WP	4410	5203	824	6.31
Warmwasser-WP	219	763	282	2.71

Tabelle 16 Kältebereitstellung [37]

Kältebereitstellung	Gesamtleistung (kW)	Erzeugte Kälte (MWh)	Strombedarf (MWh)	Jahresarbeitszahl
Passive Kühlung	1502	490	---	---

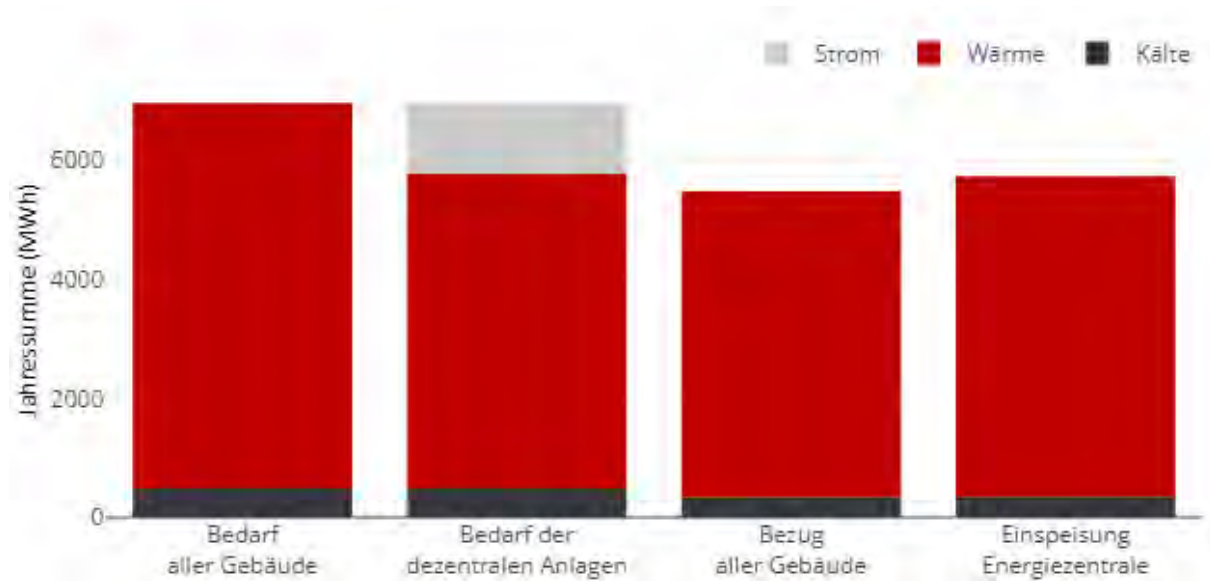


Abbildung 20 Energiebedarfe und Bezüge der Gebäudes und des Low-Ex-Netzes [37]

Abbildung 20 beschreibt die Energiebezüge der Konzeptkomponenten. Rechts ausgewiesen die benötigte Wärmemenge zur Deckung der Wärme der Gebäude inklusive Netz und Übertragungsverlusten. Links daneben der Wärmebezug der Gebäude aus dem Low-Ex-Netz, welcher dann mittels Strom der Wärmepumpen auf das benötigte Energieniveau gebracht wird und damit dem Bedarf der Gebäude entspricht.

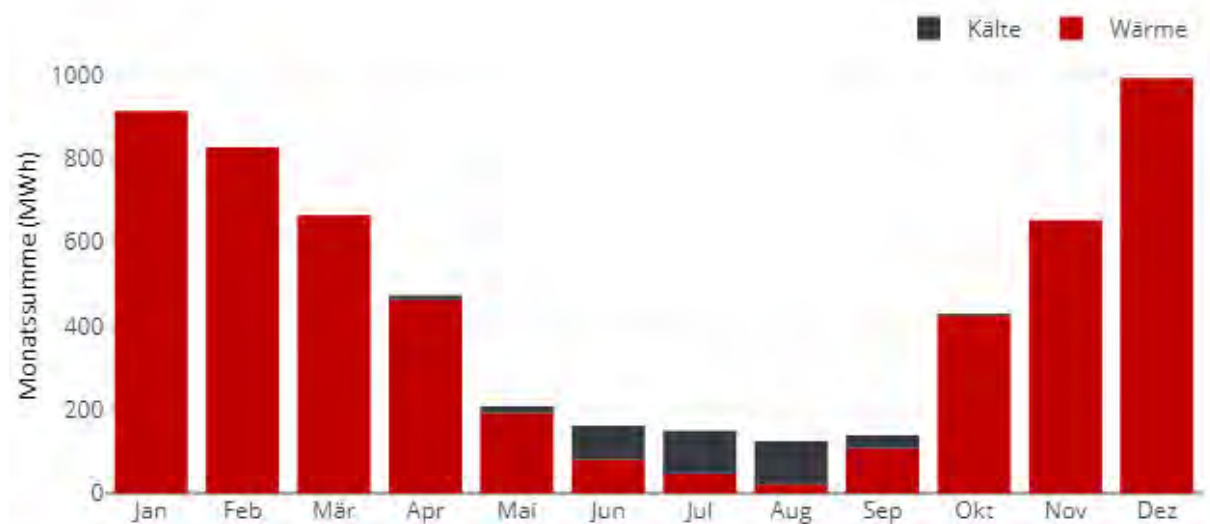


Abbildung 21 Energiebedarf der Gebäude nach Monaten [37]

Abbildung 21 zeigt den nach Monaten aufgeteilten jährlichen Wärmebedarf aller Gebäude in MWh in Kreuzberg.

Projekt-Einstellungen

Land	Deutschland
Stadt	Bonn
Lufttemperatur-Profil	Testreferenzjahr
Feiertage berücksichtigt	ja
Zeitumstellung berücksichtigt	nein
Erster Wochentag des Jahres (1. Jan.)	Montag

Abbildung 22 Randbedingung der Projektsimulation [37]

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:

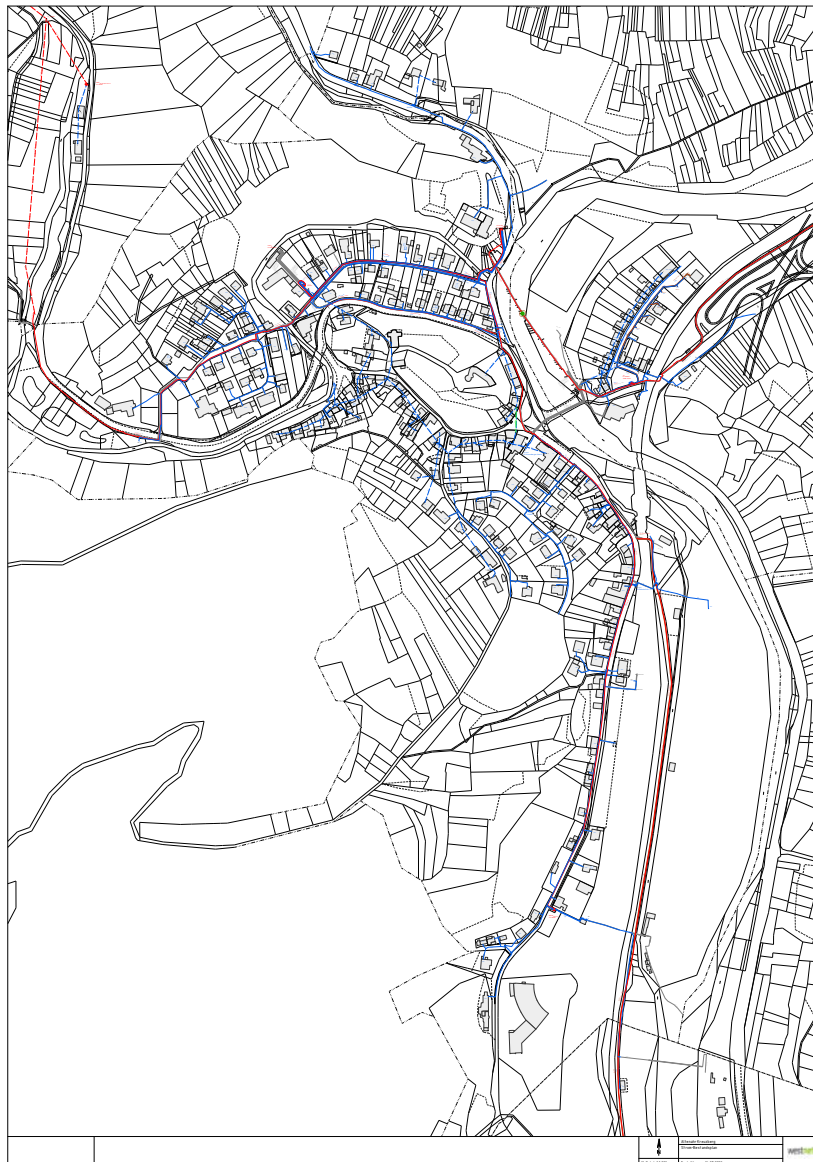


Abbildung 23: Netzplan von Kreuzberg [38]



Abbildung 24: Ausschnitt um den Transformator "Schule" in Kreuzberg [38]

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 25: 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).

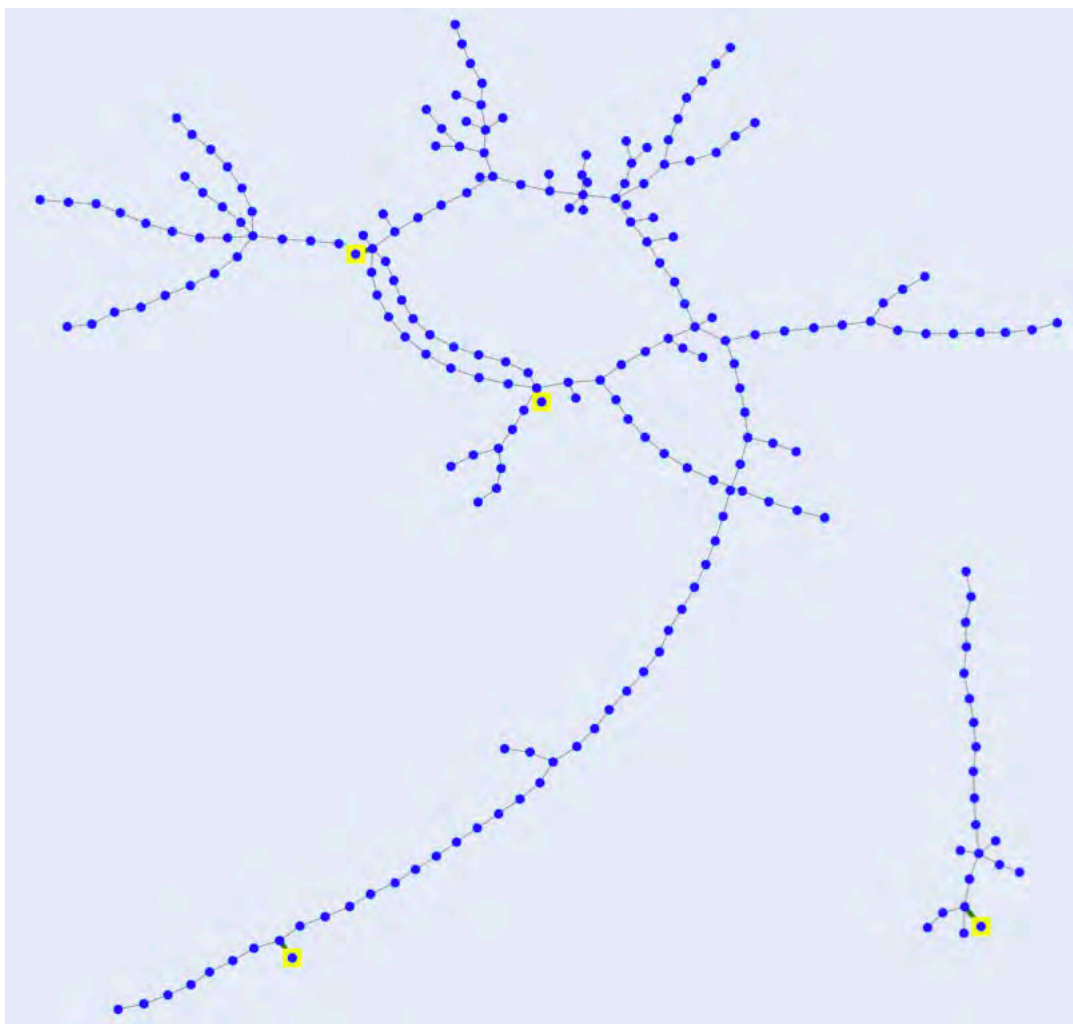


Abbildung 26: Grafische Darstellung des implementierten Netzes mit künstlichen Koordinaten

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 17: Kabeltypen von Kreuzberg (Quelle: Westnetz GmbH)

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

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 10 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 18: Transformator-Leistungen und Übersetzungsverhältnisse Quelle: Westnetz GmbH)

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

angeschlossen 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 ² 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 19: 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 den Hausanschlüssen (Knoten), sowie der maximale Strom auf den Leitungen von Interesse. Diese beiden Simulationsergebnisse sind entscheidend um die

² 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.

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 20: 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 eine 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 21: 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 22: 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 %).

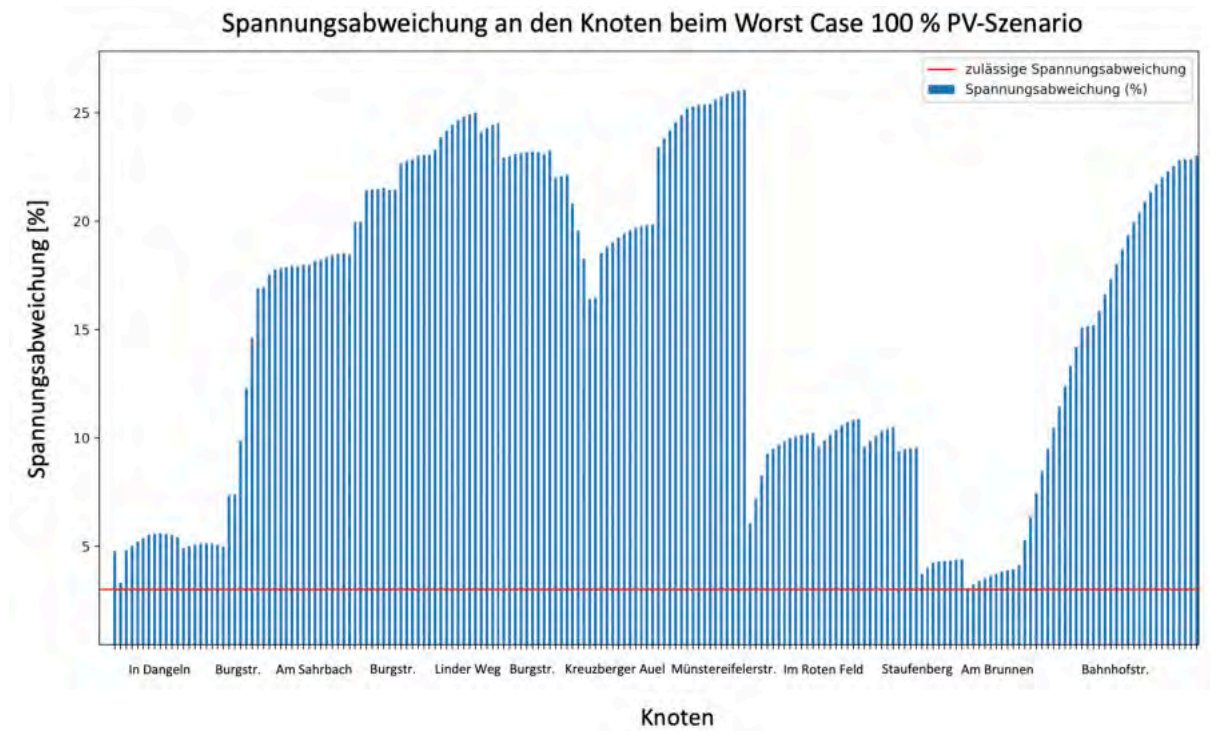


Abbildung 27: Spannungsabweichung an den Knoten beim Worst Case mit 100 % PV-Leistung. Darstellung der Knoten mit einer Spannungsüberschreitung von über 3 %.

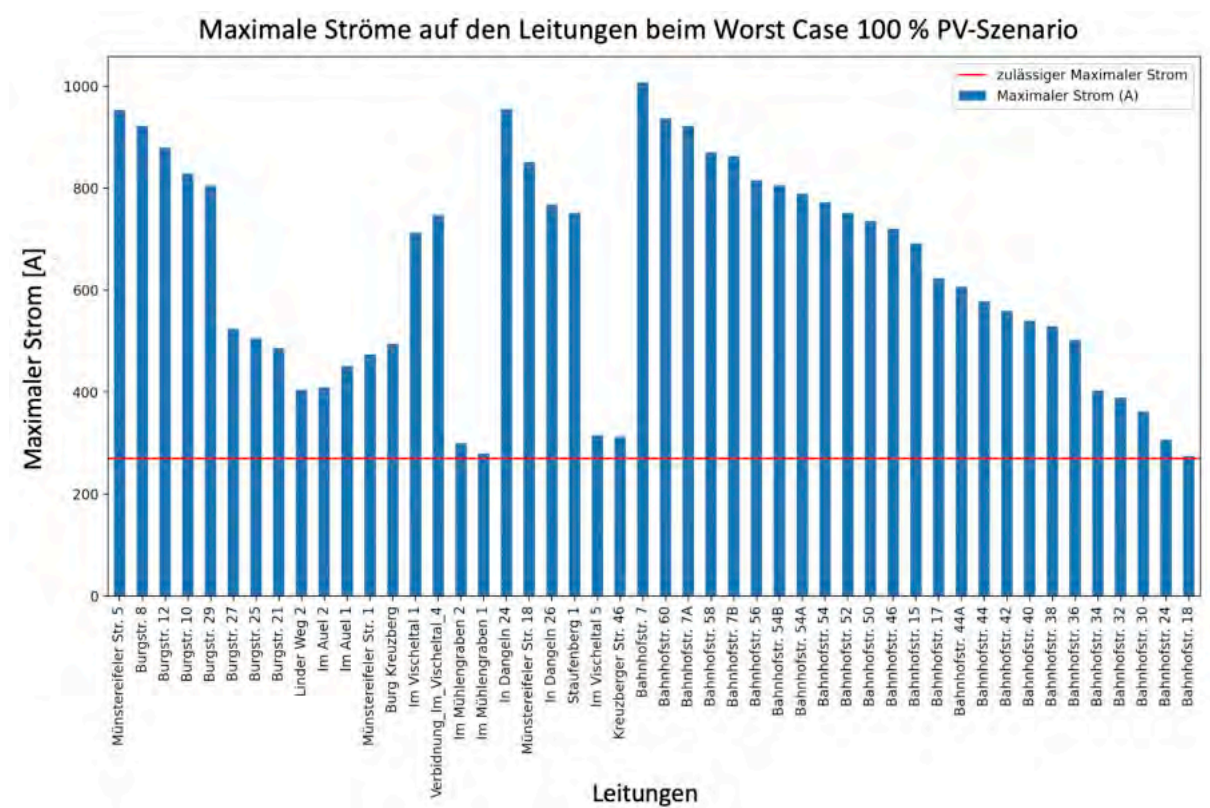


Abbildung 28: Maximale Ströme auf den Leitungen Knoten beim Worst Case mit 100 % PV-Leistung. Darstellung der Leitungen mit einem maximalen Strom von über 270 A.

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 Transformatoren³ nicht überlastet werden (< 100 %). Dieser Punkt wird bei ca. 24 % PV-Leistung erreicht. Folgende Trafo-Auslastungen sind dann zu verzeichnen:

Tabelle 23: 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 24: 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

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

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:

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

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 25: 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 Flusseiten. 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. Im Folgenden sind die Ergebnisse dieser Vermaschung dargestellt:

Erhöhung PV-Leistung auf 8 % ohne Überschreitungen

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

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 werden:

Netzspannungsabsenkung = - 3 % (388 V)

Erhöhung PV-Leistung auf 20 % ohne Überschreitungen

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

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 [39].

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).

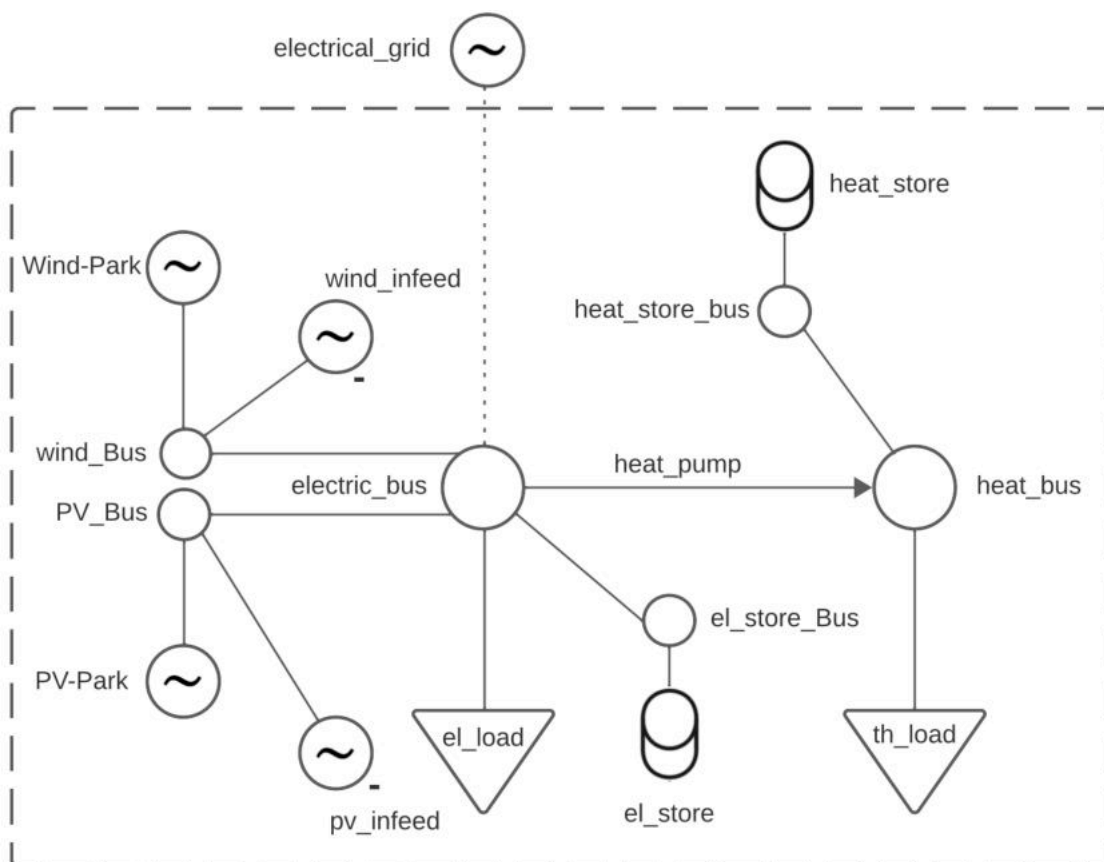


Abbildung 29: PyPSA Energiesystemmodell Kreuzberg

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 [40].

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 [41].

Für die elektrischen Lastgänge wird das H0-Standardlastprofil des BDEW gewählt. Dieses wird mit den jährlichen Verbräuchen in Kreuzberg entsprechend skaliert [42]. 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 [43].

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 die Folgenden:

Tabelle 26: Ergebnisse der Energiesystemmodellierung

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

4. Szenario: 70% Autarkie, PV-Anlagen	PV-Anlage:	1,7 MW
	Windpark:	-
	Stromspeicher:	0,0 MWh
	Wärmespeicher:	4,2 MWh
	Wärmepumpe:	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. 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 CO₂-Emissionen der Gemeinde erheblich zu reduzieren und gleichzeitig die lokale Energieautarkie zu erhöhen.

Stromerzeugung

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 könnte 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

1. Kaltwärmenetz (Lox-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

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 [44]. 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 CO₂-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.

Zwischenfazit

Durch die Nutzung von Photovoltaik auf den Dächern der Gemeinde Kreuzberg, die Wärmebereitstellung durch Wärmepumpen und Wärmespeicher und eine nachhaltige Mobilität können große CO₂-Einsparung erfolgen. Dabei müssen Restriktionen wie die Umwelteinflüsse von einer möglichen Wasserkraftnutzung oder die Limitierungen des Stromnetzes berücksichtigt werden. Kreuzberg kann durch die Umsetzung dieser Maßnahmen eine energetische Autarkie von bis zu 70 % realistisch erreichen.

7.2. Entwicklung der Szenarien

Um den Energiebedarf der Gemeinde Kreuzberg zu decken, wurden unterschiedliche Varianten der Energiebereitstellung untersucht. Verglichen wurden die Varianten hinsichtlich Autarkie, Eigenverbrauchsquote, CO₂- sowie Primärenergieeinsparung und Kosten.

Für die dimensionieren der Anlagen und die Wirtschaftlichkeitsanalyse wurden folgende Randbedingungen gesetzt.

- CO₂-Preis: 50 €/t
- Kalkulatorischer: Zinssatz 5%
- Betrachtungszeitraum: 20 Jahre
- Referenzsystem Brennwertkessel 95%

Tabelle 27 Anlagen Kosten [45]

Anlage	Investitionskosten	Lebensdauer	Betriebskosten
Photovoltaik	900 €/kWp	20	1%
Windkraft	1.000 €/kWp	20	1%
Wasserkraft	1.000 €/kWp	40	1%
Luftwärmepumpe	1.000 €/kWel	20	2,5%
Flusswärmepumpe	100 €/kWth	20	2,5%
Wärmespeicher	500 €/m ³	20	1%
Batterie	800 €/kWh	15	1%

Hinweis: Zu beachten ist, dass die Kosten der Wärmepumpen im Gebäude sowie die Kosten des Netzes in der Wirtschaftlichkeitsanalyse nicht berücksichtigt werde. Diese Analyse dient nur dem Zweck des Vergleichs der Varianten.

Alle Varianten beruhen jedoch auf dem gleichen Prinzip des Low-Exergie-Netzes, auch kalte Nahwärme genannt. In diesem System beziehen die zu versorgenden Gebäude Ihre Wärme mittel

Energiezentrale Variante 1

Variante 1 beschreibt die Basis Variante bei der die benötigte Wärme durch eine zentrale Luftwärmepumpe in das Wärmenetz eingespeist wird. Der benötigte Strom der Gebäude und Wärmepumpe wird über dezentrale Photovoltaikanlagen mit einer Leistung von insgesamt 2,2 MW bereitgestellt, und durch Strom aus dem öffentlichem netz ergänzt. Dieser einfache Aufbau verringert die Komplexität der Anlage und weißt geringe Investitionskosten auf. (Siehe Abbildung 31)

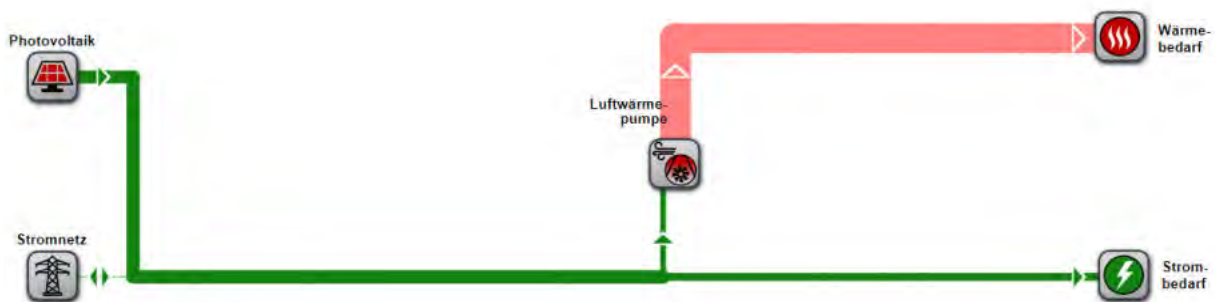


Abbildung 30 Energieflussbild Energiezentrale Variante 1 [37]

Ergebnisse Variante 1

Tabelle 28 Ergebnisse Energiemengen Variante 1 [37]

Energiebezüge	Jahressumme (MWh)	Anteil
Strom	1382	37.5%
Erneuerbare Stromerzeugung	2299	62.5%
Energieeinspeisungen	Jahressumme (MWh)	Maximalleistung (kW)
Strom	1271	1501
Stromerzeugung und -bezug	Jahressumme (MWh)	Anteil
Erneuerbare Stromerzeugung	2299	62.5%
davon Photovoltaik	2299	62.5%
Strombezug	1382	37.5%
Wärmeerzeugung und -bezug	Jahressumme (MWh)	Anteil
Luftwärmepumpe	5353	100.0%

Tabelle 29 Ergebnisse CO₂, Primärenergie, Autarkie & Eigenverbrauch Variante 1 [37]

Vergleich mit Referenzsystem	Energiesystem	Referenzsystem	Einsparung
CO ₂ Emissionen (t)	484	1.904	75%
Primärenergie (MWh)	2488	8.742	72%
Autarkiegrad (Strom)	42.7%		
Eigenverbrauchsquote (Strom)	44.7%		

Die Ergebnisse zeigen, dass erreichen eine Autarkiegrades von 42,7% bei einer Eigenverbrauchsquote von 44,7%. Gleichzeitig können die Energiebedingten Emissionen um 75% und der Primärenergiebedarf um 72% hinsichtlich des Referenzsystems gesenkt werden.

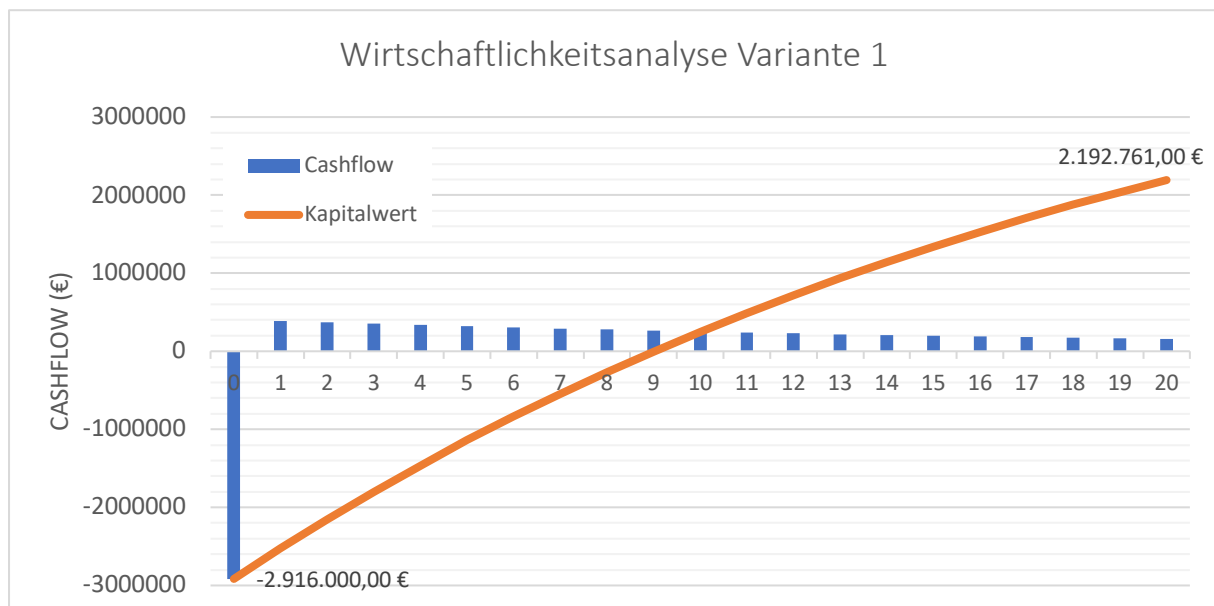


Abbildung 31 Wirtschaftlichkeitsanalyse Variante 1 [37]

Wie in Abbildung 31 zu sehen ergibt sich ein Breakeven-point der Anlageninvestitionen innerhalb von 10 Jahren. Die Anfangsinvestitionen von 2.916.000 € ergeben nach 20 Jahren einen Kapitalwert von 2.192.761 € Gewinn

Energiezentrale Variante 2

In Variante 2 wird dem System eine Flusswasserwärmepumpe hinzugefügt die nun die Vollständige Wärmebereitstellung übernimmt. Die Luftwärmepumpe wird in dieser Variante nicht mehr benötigt, da die Flusswasserwärmepumpe durch die Flusswassertemperatur das ganze Jahr über eine Effizientere Wärmebereitstellung ermöglicht. Der benötigte Strom der Gebäude und Wärmepumpe wird auch hier über

Photovoltaikanlagen bereitgestellt, und durch Strom aus dem öffentlichem netz ergänzt. Diese Variante nutzt die örtlichen Gegebenheiten ideal aus.



Abbildung 32 Energieflussbild Energiezentrale Variante 2 [37]

Ergebnisse Variante 2

Tabelle 30 Ergebnisse Energiemengen Variante 2 [37]

Energiebezüge	Jahressumme (MWh)	Anteil
Strom	966	11.9%
Erneuerbare Stromerzeugung	2.299	28.3%
Wärme aus Wärmequelle	4.868	59.9%
Energieeinspeisungen	Jahressumme (MWh)	Maximalleistung (kW)
Strom	1.366	1525
Stromerzeugung und -bezug	Jahressumme (MWh)	Anteil
Erneuerbare Stromerzeugung	2.299	70.4%
davon Photovoltaik	2.299	70.4%
Strombezug	966	29.6%
Wärmeerzeugung und -bezug	Jahressumme (MWh)	Anteil
Wärmequelle	5.353	100.0%
Luftwärmepumpe	0	0.0%

Tabelle 31 Ergebnisse CO₂, Primärenergie, Autarkie & Eigenverbrauch Variante 2 [37]

	Energiesystem	Referenzsystem	Einsparung
CO ₂ Emissionen (t)	338	1.904	82%
Primärenergie (MWh)	1.738	8.742	80%
Autarkiegrad (Strom)	49.1%		
Eigenverbrauchsquote (Strom)	40.6%		

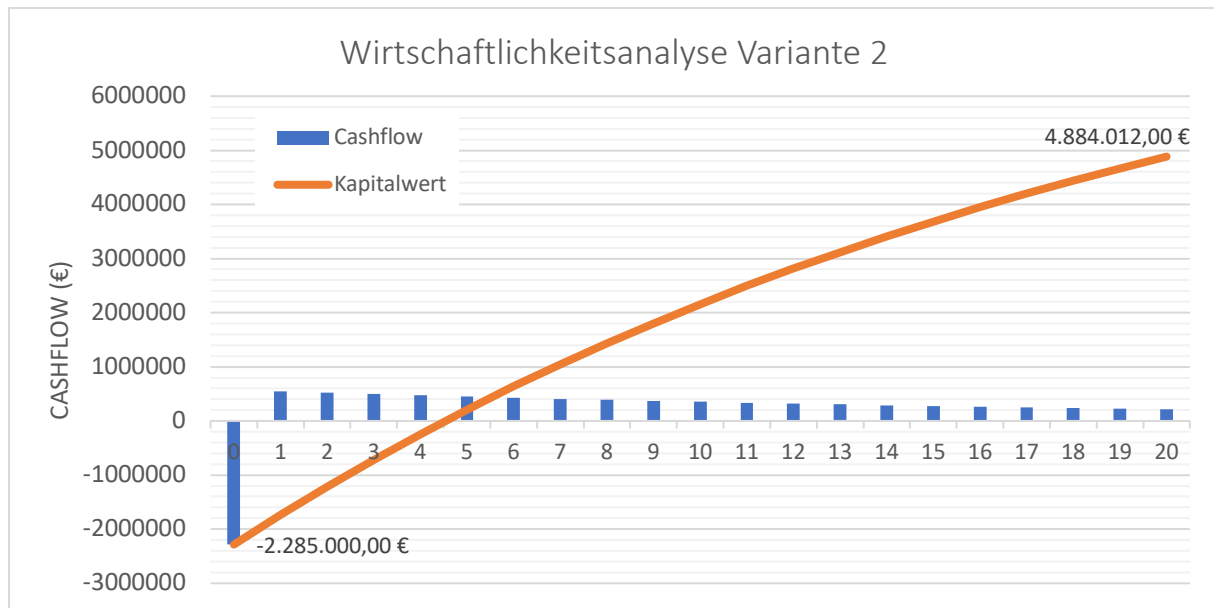


Abbildung 33 Wirtschaftlichkeitsanalyse Variante 2 [37]

Energiezentrale Variante 3

Variante 3 ergänzt das System durch einen Wärmespeicher und Batteriespeicher sowie zwei weitere Stromerzeugungsanlagen in Form von Wind und Wasserkraft. Das Dimensionieren der Wasserkraft erfolgt hier auf Grundlage der Potentialanalyse Wasserkraft aus Kapitel 4.1.4. Als Windanlage wurde hier eine vergleichsweise kleine 500 kW Enercon E40 Anlage zu Grunde gelegt.



Abbildung 34 Energieflussbild Energiezentrale Variante 3 [37]

Ergebnisse Variante 3

Tabelle 32 Ergebnisse Energiemengen Variante 3 [37]

Energiebezüge	Jahressumme (MWh)	Anteil
Strom	292	3.4%
Erneuerbare Stromerzeugung	3.438	39.9%
Wärme aus Wärmequelle	4.881	56.7%
Energieeinspeisungen	Jahressumme (MWh)	Maximalleistung (kW)
Strom	1.832	1655
Stromerzeugung und -bezug	Jahressumme (MWh)	Anteil
Erneuerbare Stromerzeugung	3.438	92.2%
davon Photovoltaik	2.299	61.6%
davon Windkraft	0	0.0%
davon Wasserkraft	1.139	30.5%
Strombezug	292	7.8%
Wärmeerzeugung und -bezug	Jahressumme (MWh)	Anteil
Wärmequelle	5.366	100.0%
Luftwärmepumpe	0	0.0%

Tabelle 33 Ergebnisse CO₂, Primärenergie, Autarkie & Eigenverbrauch Variante 3 [37]

	Energiesystem	Referenzsystem	Einsparung
CO ₂ Emissionen (t)	102	1.904	95%
Primärenergie (MWh)	526	8.742	94%
Autarkiegrad (Strom)	84.6%		
Eigenverbrauchsquote (Strom)	46.7%		

Zu erkennen ist jedoch, dass weder Windkraftanlage noch Batteriespeicher, die in dieser Variante mit zur Energieversorgung beitragen. Dies liegt daran, das NPro bei dem Dimensionieren der Anlagen auf Grundlage der Kosten und Erlöse bzw. der Vollbenutzungsstunden diese Anlagen ausschließt.

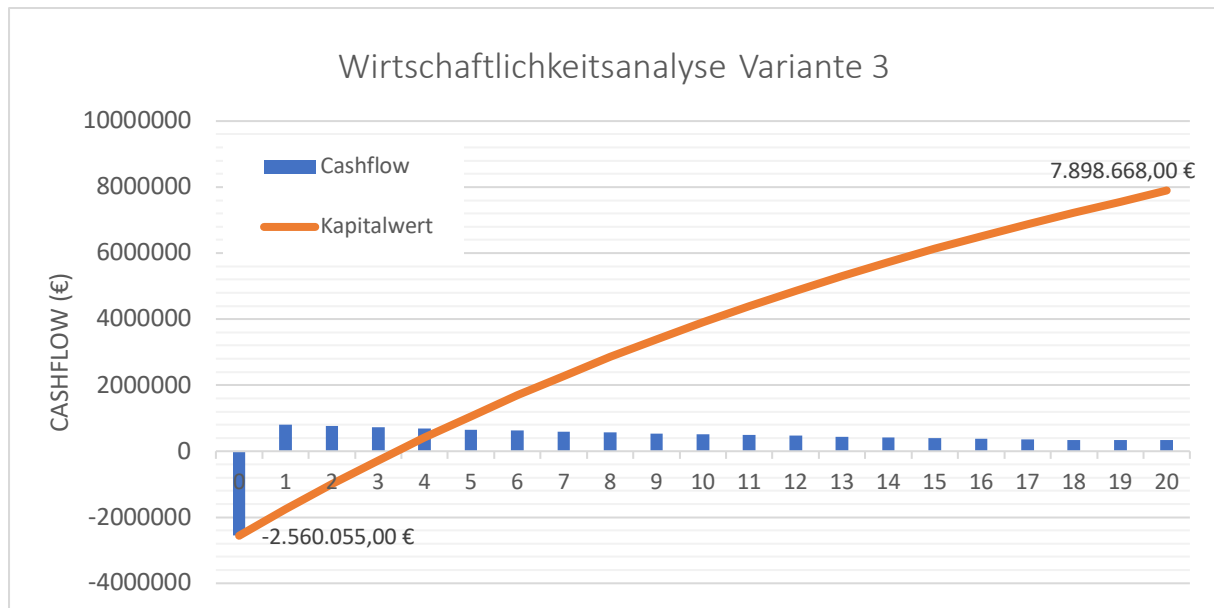


Abbildung 35: Wirtschaftlichkeitsanalyse Variante 3 [37]

Energiezentrale Variante 4

Als maximal Variante wurde in Variante 4 geschaut welche Anlagendimensionieren nötig ist um 100 % Autarkie zu erreichen und komplett auf Netzbezug zu verzichten. Eine Netzeinspeisung wird in dieser Variante nicht begrenzt. Somit entsteht in dieser Variante eine Energiezentrale welche die Energieabhängigkeiten der Gemeinde in Gänze reduziert.



Abbildung 36 Energieflussbild Energiezentrale Variante 4 [37]

Ergebnisse Variante 4

Tabelle 34 Ergebnisse Energiemengen Variante 4 [37]

Energiebezüge	Jahressumme (MWh)	Anteil
Strom	0	0.0%
Erneuerbare Stromerzeugung	9.760	66.6%
Wärme aus Wärmequelle	4.887	33.4%
Energieeinspeisungen	Jahressumme (MWh)	Maximalleistung (kW)
Strom	7.861	6172
Stromerzeugung und -bezug	Jahressumme (MWh)	Anteil
Erneuerbare Stromerzeugung	9.760	100.0%
davon Photovoltaik	5.225	53.5%
davon Windkraft	3.396	34.8%
davon Wasserkraft	1.139	11.7%
Strombezug	0	0.0%
Wärmeerzeugung und -bezug	Jahressumme (MWh)	Anteil
Wärmequelle	5.371	100.0%

Tabelle 35 Ergebnisse CO2, Primärenergie, Autarkie & Eigenverbrauch Variante 4 [37]

	Energiesystem	Referenzsystem	Einsparung
CO2 Emissionen (t)	0	1904	100%
Primärenergie (MWh)	0	8742	100%
Autarkiegrad (Strom)	100.0%		
Eigenverbrauchsquote (Strom)	19.5%		

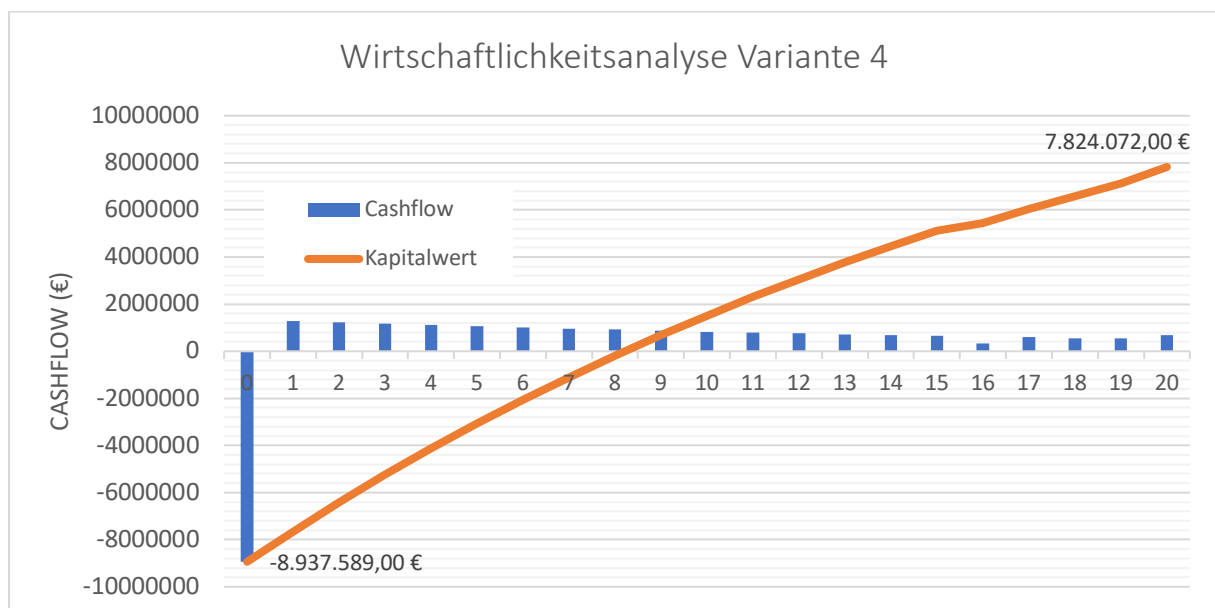


Abbildung 37 Wirtschaftlichkeitsanalyse Variante 4 [37]

7.3. Szenarien des Energiekonzeptes

Jedes dieser Szenarien hat seine eigenen Vor- und Nachteile und könnte je nach den Prioritäten und Ressourcen von Kreuzberg angepasst werden. Sie bieten verschiedene Wege, um die Energieautarkie zu erhöhen und die CO₂-Emissionen zu reduzieren. Es wäre ratsam, eine Kombination der besten Elemente aus allen Szenarien in Betracht zu ziehen, um ein maßgeschneidertes Energiekonzept für Kreuzberg zu entwickeln.

Szenario 1: Basis-Variante

- **Stromerzeugung:**

- Photovoltaik (PV) mit einer Gesamtleistung von etwa 2,2 MW deckt den Strombedarf der Gebäude und der zentralen Luftwärmepumpe.
- Zusätzlicher Strombezug aus dem öffentlichen Netz.
- Keine Nutzung der Wasserkraft wegen Umweltschutzbedenken und Netzausbau erforderlich.

- **Wärmeversorgung:**

- Das Low-Ex-Netz (kalte Nahwärme) nutzt eine zentrale Luftwärmepumpe.
- Nutzung von kleinen Wärmepumpen in den Haushalten

- **Mobilität:**

- Schwerpunkt auf Elektromobilität: Ausbau der Ladeinfrastruktur.
- Unterstützung von Car-Sharing und öffentlichen Verkehrsförderungen.

Tabelle 36: Zusammenfassung von Szenario 1 [37]

Kategorie	Wert
CO ₂ Emissionen Einsparung	75 %
Primärenergie Einsparung	72 %
Autarkiegrad (Strom)	42,7 %
Eigenverbrauchsquote	44,7 %

Szenario 2: Erweiterte Energiezentrale

- **Stromerzeugung:**
 - Das gleiche System wie im Basisszenario.
- **Wärmeversorgung:**
 - Das Low-Ex-Netz wird zusätzlich durch eine zentrale Flusswärmepumpe die bei kalten Witterungen die Luftwärmepumpe unterstützt.
- **Mobilität:**
 - Weiterhin Fokus auf Elektromobilität, aber mit erhöhtem Augenmerk auf den Ausbau des öffentlichen Verkehrs und Car-Sharing.

Tabelle 37: Zusammenfassung von Szenario 2 [37]

Kategorie	Wert
CO ₂ Emissionen Einsparung	82 %
Primärenergie Einsparung	80 %
Autarkiegrad (Strom)	49,1 %
Eigenverbrauchsquote	40,6 %

Szenario 3: Umfassendes Energiekonzept

- **Stromerzeugung:**
 - PV-Anlagen, Windenergieanlagen, Wasserkraftwerke und Stromspeichern sorgen für eine diversifizierte elektrische Energieversorgung.
- **Wärmeversorgung:**
 - Wärmequelle durch das Low-Ex-Netz bleibt bestehen, unterstützt durch zentrale Flusswärmepumpe und ergänzt durch lokale, kleinere Wärmepumpen und dezentrale oder zentrale Wärmespeicher.
- **Mobilität:**
 - Gemeinschaftlich betriebene Elektro-Car-Sharing-Programme und verstärkte Integration der Gemeinde in den Ausbau des öffentlichen Verkehrs.

Tabelle 38: Zusammenfassung von Szenario 3 [37]

Kategorie	Wert
CO ₂ Emissionen Einsparung	95 %
Primärenergie Einsparung	94 %
Autarkiegrad (Strom)	84,6 %
Eigenverbrauchsquote	46,7 %

Szenario 4: Maximale Autarkie

- **Stromerzeugung:**
 - 100% Erneuerbare Energiegewinnung durch PV, Windkraft und Wasserkraft.
 - Vollständiger Verzicht auf Netzstrombezug.
- **Wärmeversorgung:**
 - Wärmeversorgung komplett autark durch das Low-Ex-Netz, unterstützt durch zentrale Flusswärmepumpe, Luftwärmepumpe, dezentrale Wärmepumpen und saisonalem Wärmespeicher.
- **Mobilität:**
 - Die Elektromobilität und gemeinschaftliche Verkehrslösungen stehen im Mittelpunkt für eine CO₂-freie Mobilität.

Tabelle 39: Zusammenfassung von Szenario 4 [37]

Kategorie	Wert
CO ₂ Emissionen Einsparung	100 %
Primärenergie Einsparung	100 %
Autarkiegrad (Strom)	100 %
Eigenverbrauchsquote	19,5 %

7.4. Abschluss und Ausblick

Das vorgestellte Energiekonzept für die Gemeinde Kreuzberg spiegelt den ehrgeizigen Ansatz wider, den aktuellen und zukünftigen Energiebedarf nachhaltig und effizient zu decken. Durch die Untersuchung von vier unterschiedlichen Szenarien wurde deutlich, dass es verschiedene Ansätze gibt, um die Gemeinde Kreuzberg energetisch autark und umweltfreundlich zu versorgen. Jede der Varianten hat ihre eigenen Vorteile und Herausforderungen, die es zu berücksichtigen gilt.

Während die Basis-Variante eine einfache und kostengünstige Lösung bietet, ermöglichen die erweiterten Szenarien eine höhere Autarkie und eine effizientere Nutzung lokaler Ressourcen, insbesondere durch die Integration der Flusswasserwärmepumpe. Die komplexeren Szenarien, die Wind- und Wasserkraft integrieren, bieten zwar größere Potenziale, erfordern jedoch auch höhere Investitionen und eine sorgfältigere Planung.

Im kommenden Semester wird der Fokus darauf gelegt, diese Varianten weiter zu konkretisieren und praxisnahe Umsetzungsvorschläge zu entwickeln. Ein zentrales Element dabei wird die enge Abstimmung mit den Bürgern von Kreuzberg sein. Ihre Meinungen, Bedenken und Vorschläge sind von entscheidender Bedeutung, um sicherzustellen, dass das Energiekonzept nicht nur technisch und wirtschaftlich, sondern auch sozial und kulturell nachhaltig ist. Gemeinsam mit der Gemeinde Kreuzberg streben wir an, ein Vorzeigeprojekt für nachhaltige Energieversorgung in ländlichen Gebieten zu schaffen.

8. Anhang

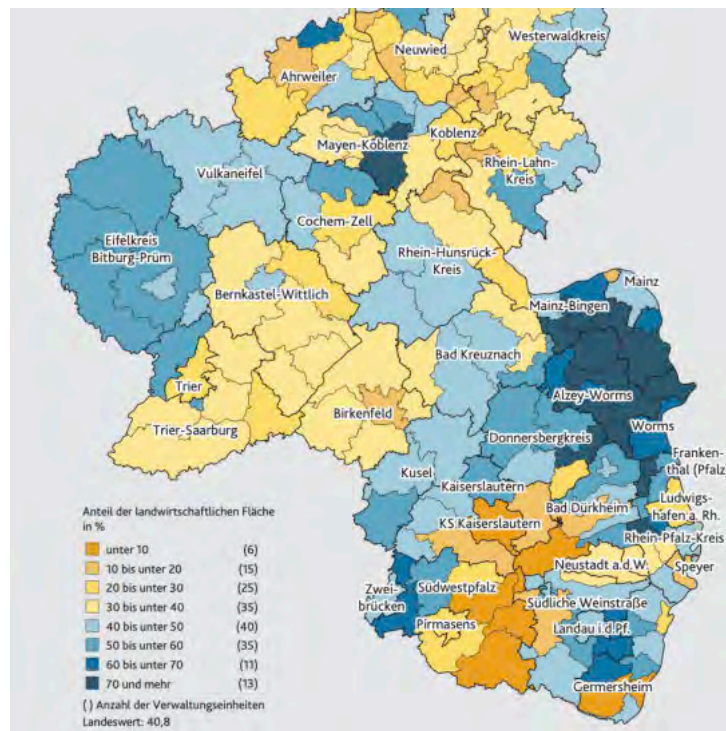


Abbildung 38: Landwirtschaftliche Flächen Rheinland-Pfalz (Statistisches Monatsheft RLP 04.2021)

```
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 39: 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. [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. [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. [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] 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].
- [22] 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].
- [23] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, „BAFA,“ BEG, [Online]. Available: https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/beg_em_foerderuebersicht.html?nn=1463514. [Zugriff am 29 April 2023].
- [24] Investitions- und Strukturbank Rheinland-Pfalz, „ISB,“ ISB RLP, [Online]. Available: <https://isb.rlp.de/foerderung/603.html>. [Zugriff am 29 April 2023].
- [25] Investitions- und Strukturbank Rheinland-Pfalz, „ISB,“ ISB 285, [Online]. Available: <https://isb.rlp.de/foerderung/285.html>. [Zugriff am 29 April 2023].
- [26] Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität des Landes Rheinland-Pfalz, „Solarkataster RLP,“ 20 April 2023. [Online]. Available: <https://solarkataster.rlp.de/start>.
- [27] Die Bundesregierung, „Bundesregierung,“ Bundesregierung Deutschland, [Online]. Available: <https://www.bundesregierung.de/bregde/suche/bundesnaturschutzgesetz-aktualisiert-2052452#:~:text=Die%20Errichtung%20und%20der%20Betrieb,wo%20es%20ausgewiesenerma%20windig%20ist..> [Zugriff am 8 Mai 2023].

- [28] Land Rheinland-Pfalz, „Geodaten.naturschutz.rlp,“ Landschaftsinformationssystem der Naturschutzverwaltung RLP, [Online]. Available: https://geodaten.naturschutz.rlp.de/kartendienste_naturschutz/index.php. [Zugriff am 23 Juni 2023].
- [29] Naturschutzverwaltung Rheinland-Pfalz, „Geoportal der Naturschutzverwaltung Rheinland-Pfalz,“ 2020. [Online]. Available: <https://geodaten.naturschutz.rlp.de>. [Zugriff am 10 Oktober 2023].
- [30] 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].
- [31] EWE AG, „ewe,“ EWE AG, [Online]. Available: <https://www.ewe.com/de/zukunft-gestalten/klimaschutz/klimapedia/energiezukunft/blockheizkraftwerk>. [Zugriff am 27 Juni 2023].
- [32] Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz, „prj-wwvauskunft,“ Landesamt für Umwelt, [Online]. Available: <http://213.139.159.46/prj-wwvauskunft/projects/messstellen/wasserstand/register2.jsp?intern=false&msn=2718040300&pegelname=Altenahr%20%20&gewaesser=Ahr&dfue=1>. [Zugriff am 9 Mai 2023].
- [33] EnBW Energie Baden-Württemberg AG, „EnBW,“ EnBW AG, [Online]. Available: <https://www.enbw.com/erneuerbare-energien/wasser/standorte.html>. [Zugriff am 9 Mai 2023].
- [34] 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].
- [35] Bundesministerium der Justiz, „Land Rheinland-Pfalz,“ Bundesministerium der Justiz, [Online]. Available: <https://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/e650a8b9e58e4b09c1257a2>

- 2002a91da/4a21c08d66c73e13c125859200472d4d/\$FILE/WHG_LESEFASS
UNG_04.12.18.pdf. [Zugriff am 10 Mai 2023].
- [36] Kreis Ahrweiler, „Kreis Ahrweiler ÖPNV,“ Kreis Ahrweiler, [Online]. Available: https://kreis-ahrweiler.de/verkehr_ordnung/oeffentlicher-personennahverkehr/. [Zugriff am 20 Mai 2023].
- [37] nPro Energy GmbH, „nPRO - Planning tool for buildings & districts,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.npro.energy>. [Zugriff am Oktober 2023].
- [38] Westnetz GmbH, „Stromnetzpläne des Ort Kreuzberg,“ 2023.
- [39] Gurobi Optimization LLC, „gurobi,“ Gurobi Optimization LLC, [Online]. Available: <https://www.gurobi.com/solutions/gurobi-optimizer/>. [Zugriff am 23 Mai 2023].
- [40] Deutscher Wetterdienst, „Climate Data Centers,“ Deutscher Wetterdienst, [Online]. Available: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/cdc/>. [Zugriff am 2 August 2023].
- [41] European Commission, „Joint Research Center,“ European Commission, [Online]. Available: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/. [Zugriff am 4 August 2023].
- [42] N. Pflugradt, „LoadProfileGenerator,“ Technische Universität Chemnitz, Chemnitz, 2023.
- [43] Hochschule Trier, „Umwelt Campus "Energietools",“ [Online]. Available: <https://www.umwelt-campus.de/energietools>. [Zugriff am 5 August 2023].
- [44] Bundesregierung, „Bundesregierung,“ [Online]. Available: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/europa/verbrennermotoren-2058450>. [Zugriff am 8 Oktober 2023].
- [45] 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].
- [46] Umweltbundesamt, „umweltbundesamt,“ Umweltbundesamt, [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den->

[alltag/heizen-bauen/sonnenkollektoren-solarthermie#unsere-tipps](#). [Zugriff am 24 Juni 2023].