



[1]



[2]



[3]

SolarAhrtal – Energiekonzept für den Ort Kreuzberg

Masterprojekt Erneuerbare Energien

Prof. Dr. –Ing. Eberhard Waffenschmidt

Philipp Steffens, Joshua Wickenhäuser, Nicolas Stark

11.10.2023

Agenda

- 1 Vorstellung Kreuzberg/Methodik
- 2 Datenerhebung Status Quo
- 3 Potentialanalyse Erneuerbare Energien
- 4 Stromnetzberechnung
- 5 Energiesystemmodellierung
- 6 Energiekonzept
- 7 Fazit/Empfehlung
- 8 Literatur

Agenda

1 Vorstellung Kreuzberg/Methodik

2 Datenerhebung Status Quo

3 Potentialanalyse Erneuerbare Energien

4 Stromnetzberechnung

5 Energiesystemmodellierung

6 Energiekonzept

7 Fazit/Empfehlung

8 Literatur

Vorstellung Kreuzberg

- Verbandsgemeinde **Altenahr**
- **650** Einwohner (2015)
- **Ortsvorsteherin** Anke Hupperich
- **210** Gebäude
- Ahr-Flut Juli 2021:
 - **85 %** der Häuser betroffen
 - Sahrbach und Ahr
 - Bahn, Straßen (Infrastruktur) beschädigt

Wirtschaftssektoren in Kreuzberg:

- Campingplatz
 - 2 Gastronomiebetriebe
 - 2 Hotellerie betriebe (Gästehäuser)
- Größtenteils **Wohnbebauung**



Abbildung 1: Kreuzberg nach der Flut [4]

Methodik des Projekts

Status Quo

- Gebäudeanzahl
- Sanierungsgrad
- Verbrauchsdaten
 - **Strom & Wärme**
- Umfrage
- Netzpläne
- Topografie

Potentialanalyse EE

- Photovoltaik
- Windenergie
- Wasserkraft
- Biomasse
- Umweltwärme
 - Flusswasser (Ahr)
 - Temperaturen
 - Fließgeschwindigkeit

Sytemmodellierung

- Energiekonzepte
 - Variante 1
 - Variante 2
 - Variante 3
 - Variante 4 (100%)
- Stromnetzsimulation
- PyPSA Modellierung

Energiekonzept

- Empfehlung
- Einbinden der Bürger
 - Bürgerdialog
- Finanzierung
- Realisierung

Agenda

1 Vorstellung Kreuzberg/Methodik

2 Datenerhebung Status Quo

3 Potentialanalyse Erneuerbare Energien

4 Stromnetzberechnung

5 Energiesystemmodellierung

6 Energiekonzept

7 Fazit/Empfehlung

8 Literatur

Datenerhebung Status Quo

- Durchführung **digitale Umfrage** in Kreuzberg
 - 28 Teilnehmer (ca. 10 % der Gebäude)

Verteilung der Energieträger in Kreuzberg

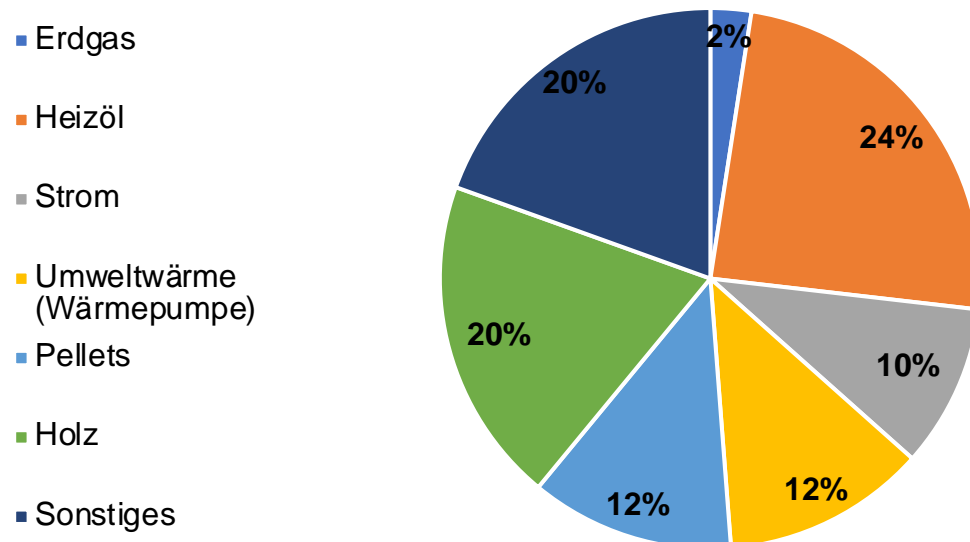


Abbildung 2: Prozentuale Verteilung der Energieträger [5]

- Vielzahl von Gebäuden teilweise/komplett Saniert **67 %**
- **33 %** planen keine Sanierungsmaßnahmen

Planen Sie ihr Gebäude zu sanieren?

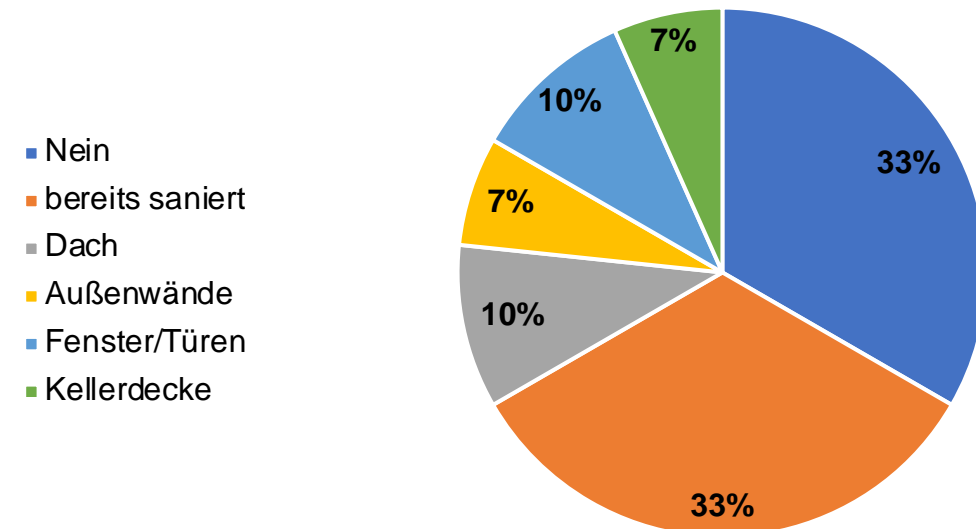


Abbildung 3: Sanierungsgrad der Gebäude in Kreuzberg [5]

Regenerative Energiequellen sind in Kreuzberg bereits in der Überzahl

Datenerhebung Status Quo - PV

Verbreitung PV-Anlagen:

- **54 %** planen oder besitzen eine PV-Anlage
 - **46 %** haben keine und planen es nicht
- **Akzeptanz ist vorhanden**, aufgrund Mietsituation nicht für alle möglich
- Balkonkraftwerke aktuell kein Thema

Haben Sie eine PV-Anlage verbaut?

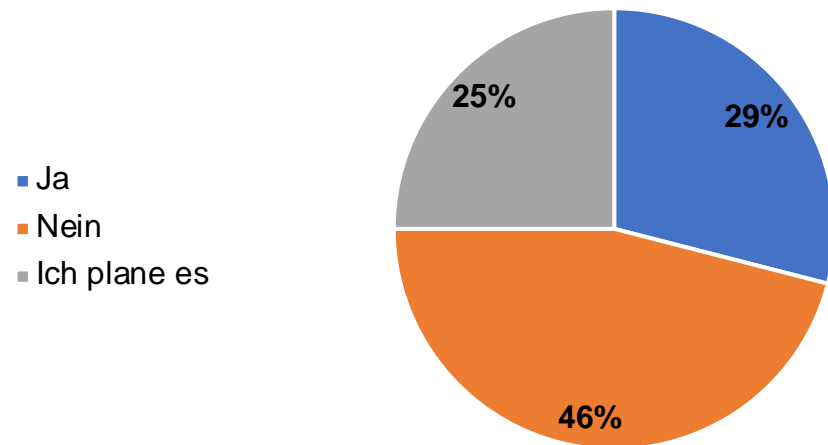


Abbildung 4: Status Quo von PV [5]

Leistung PV-Anlagen:

- Leistungen variieren nach Anlage, Mittelwert ist ähnlich
- Mittelwert geplant: **7,3 kWp**
- Mittelwert installiert: **7,72 kWp**

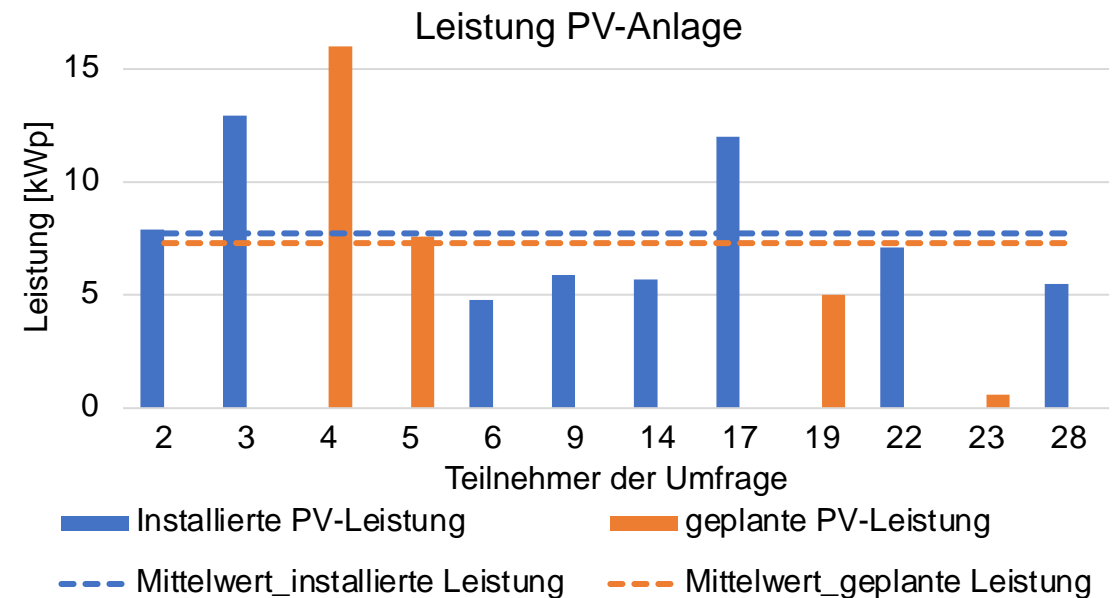


Abbildung 5: Leistung der PV-Anlage [5]

Datenerhebung Status Quo – Bewertung der Ausgangssituation

Kategorie	Bewertung (Positiv , Neutral , Negativ)
Energieträger	Positiv , 26 % fossile Energieträger
Beheizte Wohnfläche	Neutral , Mittelwert 167 m ² ; (RLP 104,6 m ² Durchschnitt Wohnungen) [6]
Wärmebedarf	Neutral , Mittelwert 21.715 kWh/a; (25.000 kWh/a Durchschnitt) [7]
Sanierungsgrad	Positiv , 33 % Saniert und 34 % konkrete Maßnahmen
Strombedarf	Neutral , Mittelwert 4.522 kWh/a (4 P. Durchschnitt 4.250 kWh/a) [7]
PV-Anlagen	Positiv , 29 % haben PV-Anlage, 46 % konkrete Planung
Leistung PV	Neutral , durchschnittliche Leistung (5-10 kWp pro EFH) [8]
E-Mobilität	Negativ , nur 7 % besitzen E-PKW

Gesamtbewertung der Ausgangslage in Kreuzberg: **Neutral** bis leicht **positiv**. Bewusstsein für die Energiewende vorhanden, PV-Anlage und notwendige Sanierungsmaßnahmen aufgrund der Flut.

Agenda

- 1 Vorstellung Kreuzberg
- 2 Datenerhebung Status Quo

- 3 Potentialanalyse Erneuerbare Energien**

- 4 Stromnetzberechnung
- 5 Energiesystemmodellierung
- 6 Energiekonzept
- 7 Fazit/Empfehlung
- 8 Literatur

Potentialanalyse Erneuerbare Energien - PV

- Maximales PV-Potential von **3,95 MWp** auf den Dächern (Solarkataster RLP^[5])
- Wirtschaftlich erschließbares Potential **2,24 MWp**
- **Mangelnde Freiflächen** für PV-Anlagen oder Hochwassergefahr in den Ahrauen
- **82 kWp** in Kreuzberg bereits vorhanden



Abbildung 6: Solarpotential von Kreuzberg im Solarkataster RLP [9]

Potentialanalyse Erneuerbare Energien - Wind

- **Keine Windvorranggebiete** in Kreuzberg^[6]
- **Zahlreiche Schutzgebiete** um Kreuzberg
- **Steile Topologie** um Kreuzberg
- Genehmigung und Erschließung von Windenergieanlagen auf dem Gemeindegebiet aktuell nicht realisierbar

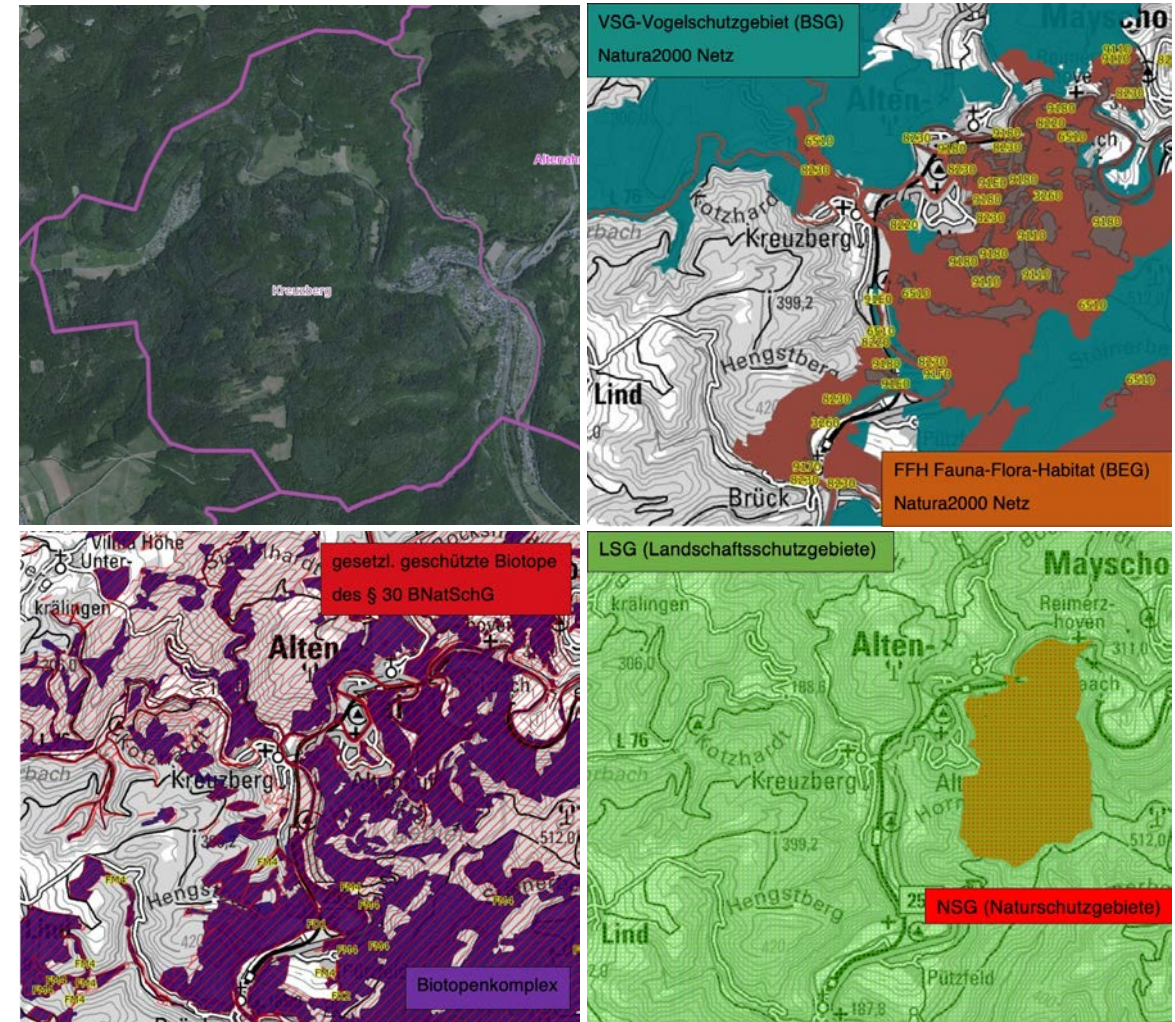


Abbildung 7: Biotopkataster, Schutzgebiet und Gemarkungsgrenzen Kreuzberg [10], [12]

Potentialanalyse Erneuerbare Energien - Biomasse

- **Keine landwirtschaftlichen Flächen** und Betriebe in Kreuzberg
- Sehr **wenig Forstwirtschaft** um Kreuzberg, kleine Gemeindefläche
- Wenig Bioabfälle von Haushalten und Versorgung von den AWB des Landkreises
- Mangel an lokale biogene Substrate erschwert die Nutzung der Bioenergie
- Import von Pellets oder Biogas zum Betrieb eines BHKWs möglich



Abbildung 8: Gemarkungsgrenze von Kreuzberg [10]

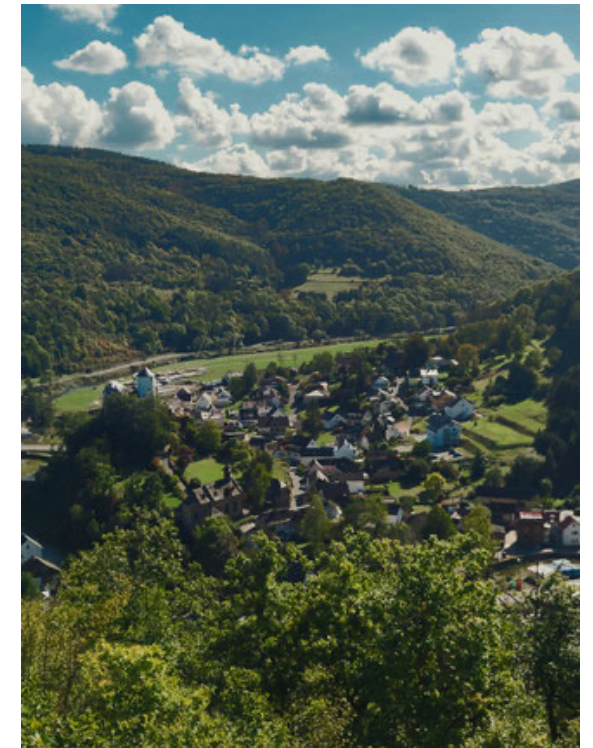


Abbildung 11: Blick auf Kreuzberg [11]

Potentialanalyse Erneuerbare Energien - Wasserkraft

- Kreuzberg wird von der **Ahr** und dem **Sahrbach** und **Vischelbach** durchflossen
- Mittlerer Durchfluss (MQ) Ahr: $6,86 \text{ m}^3/\text{s}$ [5]
- Mögliches Laufwasserkraftwerk gemäß den technischen Daten ähnlicher Kleinwasserkraftwerken:
 - **Maximalleistung: 130 kW** (1 Rohrturbine, 6 m Nutzgefälle)
 - Erforderlicher Durchfluss: $2,65 \text{ m}^3/\text{s}$
 - **Jährlicher Ertrag: 750 MWh**
- Naturschutz und Wasserrecht **erschweren Umsetzung** erheblich



Abbildung 12: Blick auf die Ahr [11]

Agenda

- 1 Vorstellung Kreuzberg/Methodik
- 2 Datenerhebung Status Quo
- 3 Potentialanalyse Erneuerbare Energien

4 Stromnetzberechnung

- 5 Energiesystemmodellierung
- 6 Energiekonzept
- 7 Fazit/Empfehlung
- 8 Literatur

Stromnetzberechnung – PandaPower

- Netzberechnung und Implementierung mit PandaPower
- 1,21 MVA-Transformatorleistung verteilt auf 4 Trafos
- Im Ortskern Freileitungen (x70 und 70), in Neubaugebieten Erdkabel (NAYY 4x150), lange Stränge und offenes Ringnetz/sternförmig
- **Netzkapazität** für PV-Leistung: **257 kWp**
- **Kreuzberger Stromnetz ist leistungsschwach**
- Vermaschung und RONT (ΔU 3 %) kann installierbare PV-Leistung auf **791 kWp** erhöhen

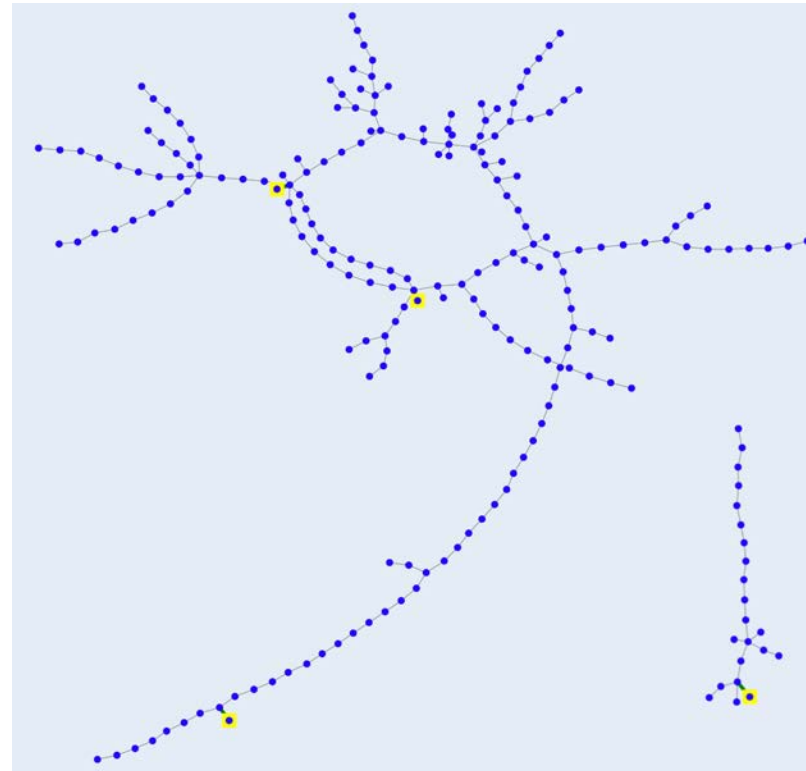


Abbildung 13: Netzknotten von Kreuzberg (PandaPower)

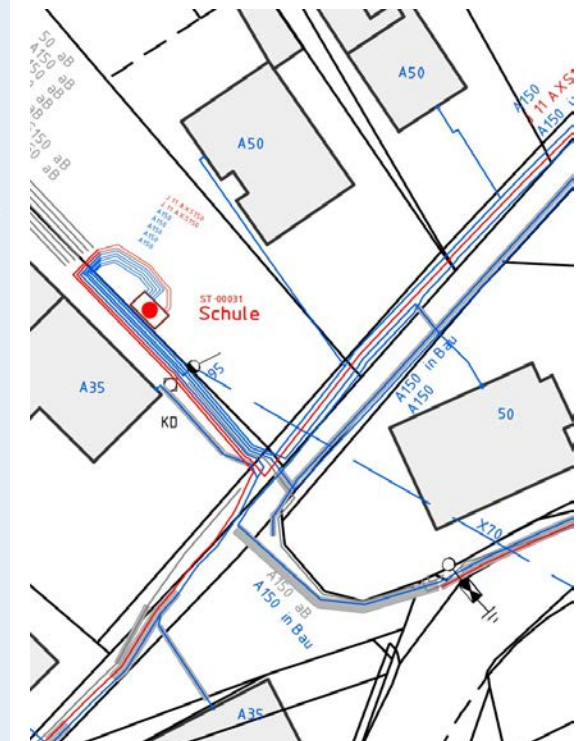


Abbildung 14: Stromnetzplan Kreuzberg

Agenda

- 1 Vorstellung Kreuzberg/Methodik
- 2 Datenerhebung Status Quo
- 3 Potentialanalyse Erneuerbare Energien
- 4 Stromnetzberechnung

- 5 Energiesystemmodellierung**

- 6 Energiekonzept
- 7 Fazit/Empfehlung
- 8 Literatur

Energiesystemmodellierung - PyPSA

- Modellierung mit dem Python-Framework PyPSA
- **Optimierung** mit Gurobi-Solver auf kostengünstigste Energieversorgung bei vorgegebener Autarkie

100 % Autarkie

PV-Anlage:	5,1 MW
Windpark:	2,7 MW
Stromspeicher:	1,8 MWh
Wärmespeicher:	17,5 MWh
Wärmepumpe:	3,5 MW

70 % Autarkie

PV-Anlage:	0,6 MW
Windpark:	0,3 MW
Stromspeicher:	0 MWh
Wärmespeicher:	3,2 MWh
Wärmepumpe:	0,5 MW

PV-Anlage:	22,6 MW
Windpark:	-
Stromspeicher:	7,0 MWh
Wärmespeicher:	20,2 MWh
Wärmepumpe:	7,1 MW

PV-Anlage:	1,7 MW
Windpark:	-
Stromspeicher:	0,0 MWh
Wärmespeicher:	4,2 MWh
Wärmepumpe:	1,1 MW

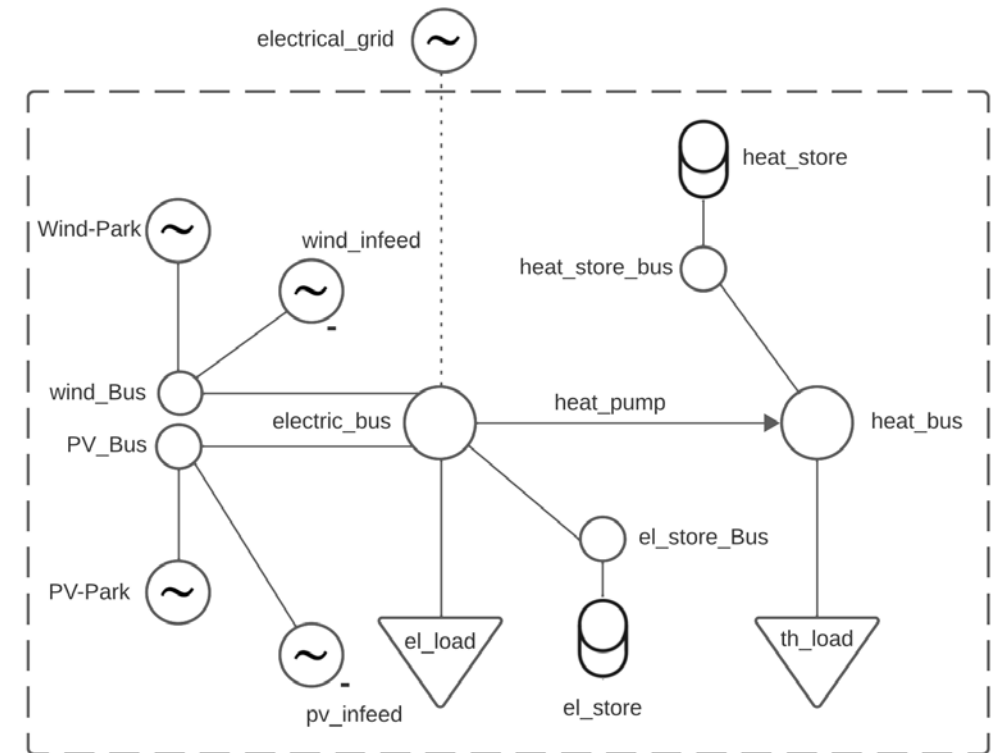


Abbildung 15: PyPSA Energiesystemmodell Kreuzberg

Agenda

- 1 Vorstellung Kreuzberg/Methodik
- 2 Datenerhebung Status Quo
- 3 Potentialanalyse Erneuerbare Energien
- 4 Stromnetzberechnung
- 5 Energiesystemmodellierung

- 6 Energiekonzept**

- 7 Fazit/Empfehlung
- 8 Literatur

Energiesystemmodellierung Gebäude

Gebäude im Quartier

Gebäudename	Nutzfläche	Wärme ?	Kälte ?	Strom ?
Wohnhaus (Wohnen)	30.663 m ²	4336 MWh 2982 kW	307 MWh 1345 kW	1675 MWh 1372 kW
Gasthof (Hotel)	2.088 m ²	282 MWh 181 kW	38 MWh 101 kW	391 MWh 128 kW
Resaurant (Restaurant)	189 m ²	30 MWh 19 kW	2 MWh 11 kW	34 MWh 13 kW
Kirche (Sporthalle)	302 m ²	34 MWh 29 kW	0 MWh 0 kW	6 MWh 12 kW
Feuerwehr (Fitnesscenter)	195 m ²	36 MWh 17 kW	0 MWh 0 kW	29 MWh 12 kW
Elektrotankstellen (Supermarkt)	1 m ²	0 MWh 0 kW	0 MWh 0 kW	55 MWh 16 kW
Energiebezug aller Gebäude ?		4717 MWh 3215 kW	347 MWh 1455 kW	2191 MWh 1501 kW
Einspeisung an Energiezentrale ?		5356 MWh 3379 kW	378 MWh 1469 kW	2248 MWh 1534 kW

Grundlage Gebäudehülle

- Wohnfläche = Grundfläche * 1,5
- Alter der Gebäude (1958-1968) Vor erster WSchVO 1977
- Lufttemperaturen: Testreferenzjahr 2020
- Standort: Bonn
- Feiertage berücksichtigt: ja
- Zeitumstellung berücksichtigt: nein

Grundlage Anlagentechnik

WW-Wärmepumpe

- Temperaturhub von Frischwasser 10°C auf Warmwasser 60 °C
- Exergetischer Wirkungsgrad 40%
- COP 2,7

Heiz-Wärmepumpe

- Temperaturhub vom Netz 16°C auf Vorlauftemperatur 55°C
- Exergetischer Wirkungsgrad 40%
- COP 3,4

Energiesystemmodellierung Gebäude

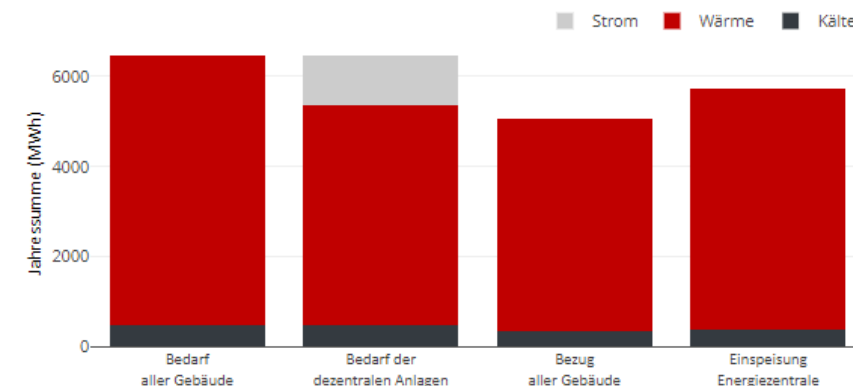
Wärme

	Jahresenergie	Maximalleistung
Wärmebedarf aller Gebäude	5.966 MWh	4.573 kW
<i>davon Raumwärme</i>	<i>5.203 MWh</i>	<i>4.392 kW</i>
<i>davon Trinkwarmwasser</i>	<i>763 MWh</i>	<i>208 kW</i>
Strombedarf der Wärmepumpen ?	-1.106 MWh	
Ausgleich von Wärmebedarfen in Gebäuden ?	-143 MWh	
Wärmebezug aller Gebäude ?	4.717 MWh	3.215 kW
Ausgleich von Wärmebedarfen im Netz ?	-7 MWh	
Wärmeverluste (netto) ?	+645 MWh	
Wärmeeinspeisung an Energiezentrale ?	5.356 MWh	3.379 kW

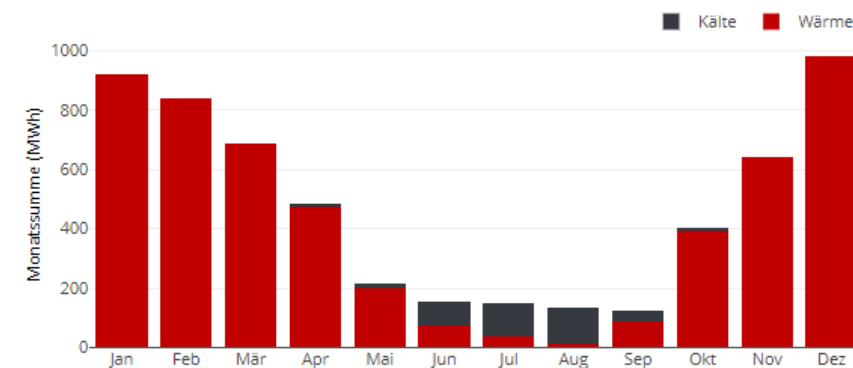
Strom

	Jahresenergie	Maximalleistung
Strombedarf aller Gebäude	1.085 MWh	285 kW
<i>davon Nutzerstrom</i>	<i>1.030 MWh</i>	<i>273 kW</i>
<i>davon Elektromobilität</i>	<i>55 MWh</i>	<i>16 kW</i>
Strombedarf der dezentralen Anlagen ?	+1.106 MWh	
Strombezug aller Gebäude ?	2.191 MWh	1.501 kW
Pumparbeit	+57 MWh	
Stromlast an Energiezentrale ?	2.248 MWh	1.534 kW

Ausgleich thermischer Bedarfe



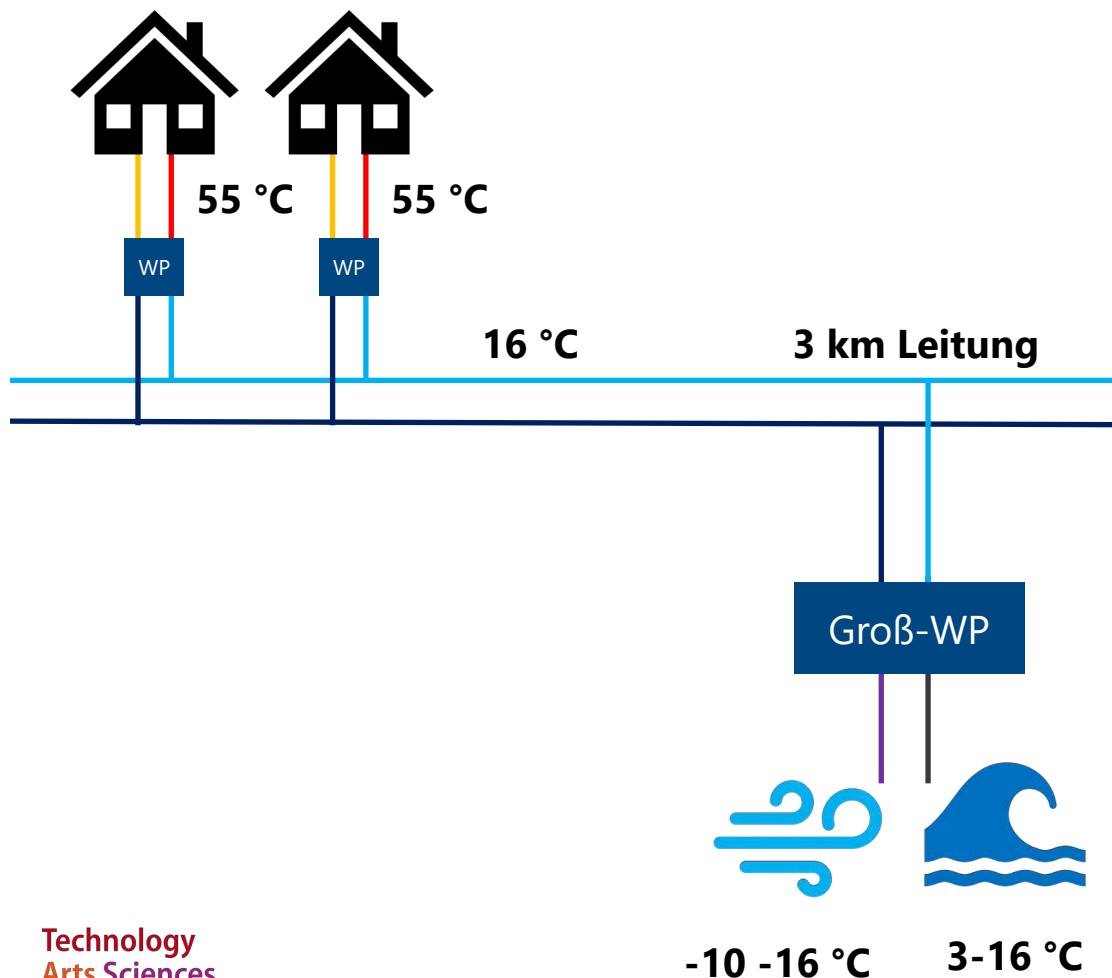
Einspeisung der Energiezentrale



Heizleistung in Gebäuden

	Kapazität	Erzeugte Wärme	Strombedarf	Jahresarbeitszahl
Raumwärme-WP	4.410 kW _{th}	5.203 MWh	824 MWh	6,31
Warmwasser-WP	219 kW _{th}	763 MWh	282 MWh	2,71

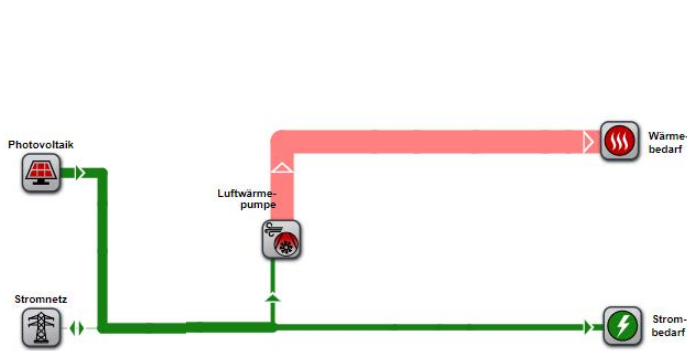
Energiesystemmodellierung - Wärmenetz



Max. Wärmeverlust	Max. Wärmeeintrag	Jährl. Wärmeverlust	Jährl. Wärmeeintrag	Netto (Wärmeverlust)
204 kW	59 kW	701 MWh	93 MWh	608 MWh



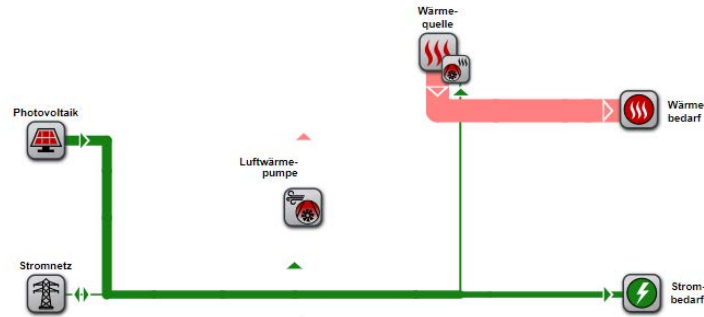
Variante 1



Technologie	Jahressumme	Anteil
Erneuerbare Stromerzeugung	2.299 MWh	62,5 %
davon Photovoltaik	2.299 MWh	62,5 %
Strombezug aus Stromnetz	1.382 MWh	37,5 %
Autarkiegrad ?		42,7 %
Eigenverbrauchsquote ?		44,7 %

Energiesystem	Referenzsystem	Einsparung	
CO ₂ Emissionen ?	484 t	1.904 t	75 %
Primärenergie ?	2.488 MWh	8.742 MWh	72 %

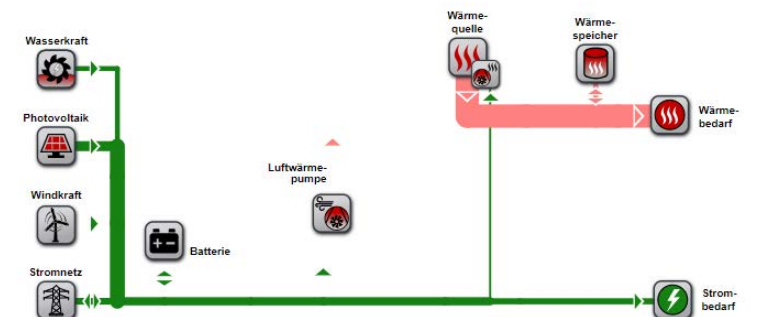
Variante 2



Technologie	Jahressumme	Anteil
Erneuerbare Stromerzeugung	2.299 MWh	70,4 %
davon Photovoltaik	2.299 MWh	70,4 %
Strombezug aus Stromnetz	966 MWh	29,6 %
Autarkiegrad ?		49,1 %
Eigenverbrauchsquote ?		40,6 %

Energiesystem	Referenzsystem	Einsparung	
CO ₂ Emissionen ?	338 t	1.904 t	82 %
Primärenergie ?	1.738 MWh	8.742 MWh	80 %

Variante 3



Technologie	Jahressumme	Anteil
Erneuerbare Stromerzeugung	3.438 MWh	92,2 %
davon Photovoltaik	2.299 MWh	61,6 %
davon Windkraft	0 MWh	0 %
davon Wasserkraft	1.139 MWh	30,5 %
Strombezug aus Stromnetz	292 MWh	7,8 %
Autarkiegrad ?		84,6 %
Eigenverbrauchsquote ?		46,7 %

Energiesystem	Referenzsystem	Einsparung	
CO ₂ Emissionen ?	102 t	1.904 t	95 %
Primärenergie ?	526 MWh	8.742 MWh	94 %

Energiezentrale Variante 4 100% Autarkie



Dimensionierung der Anlagen

Technologie	Optimierungsbereich	Vorauslegung	Volllaststunden/ Ladezyklen	Benutzerdefinierte Auslegung
Photovoltaik	≤ 5000 kW _p / ≤ 25000 m ²	5000 kW _p / 25000 m ²	1020 h/a	5000 kW _p
Windkraft	≤ 3000 kW _{el}	3000 kW _{el}	1177 h/a	3000 kW _{el}
Wasserkraft	≤ 130 kW _{el}	130 kW _{el}	8760 h/a	130 kW _{el}
Wärmequelle	unbeschränkt	4000 kW _{th}	1192 h/a	4000 kW _{th}
Wärmespeicher	unbeschränkt	13134 kWh / 566 m ³	43 Zyklen	13134 kWh
Batterie	unbeschränkt	781 kWh	20 Zyklen	781 kWh

Energiebezug

	Jahressumme	Maximalleistung	Anteil
Strombezug aus Stromnetz	0 MWh	0 kW	0 %
Erneuerbare Stromerzeugung	9.760 MWh	---	66,6 %
Wärme aus Wärmequelle	4.887 MWh	---	33,4 %

Energieeinspeisung

	Jahressumme	Maximalleistung
Strom	7.861 MWh	6.172 kW

Stromerzeugung und -bezug

Technologie	Jahressumme	Anteil
Erneuerbare Stromerzeugung	9.760 MWh	100 %
davon Photovoltaik	5.225 MWh	53,5 %
davon Windkraft	3.396 MWh	34,8 %
davon Wasserkraft	1.139 MWh	11,7 %
Strombezug aus Stromnetz	0 MWh	0 %

Autarkiegrad ?	100 %
Eigenverbrauchsquote ?	19,5 %

Wärmeerzeugung und -bezug

Technologie	Jahressumme	Anteil
Wärmequelle	5.371 MWh	100 %

Vergleich mit Referenzsystem ?

Energiesystem	Referenzsystem	Einsparung
CO ₂ Emissionen ?	1.904 t	100 %
Primärenergie ?	8.742 MWh	100 %

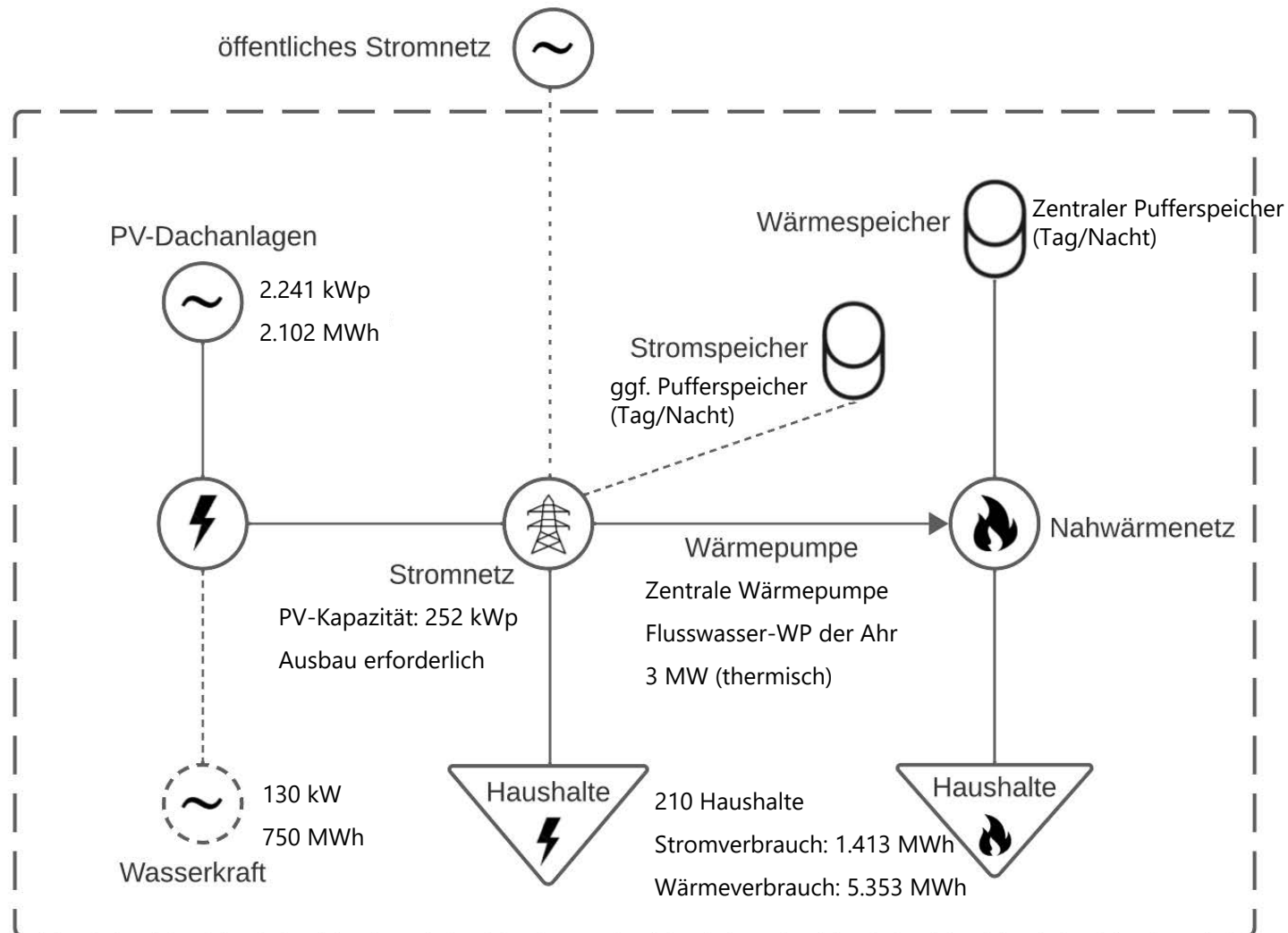
Agenda

- 1 Vorstellung Kreuzberg/Methodik
- 2 Datenerhebung/Status Quo
- 3 Potentialanalyse Erneuerbare Energien
- 4 Stromnetzberechnung
- 5 Energiesystemmodellierung
- 6 Energiekonzept

- 7 Fazit/Empfehlung**

- 8 Literatur

Energiekonzept für den Ort Kreuzberg



Fazit/Empfehlung

Fazit

- Großteil des Gebäudebestands noch teilweise unsaniert
- hohes Solarpotential
- Windkraft aktuell nicht möglich
- keine Biomassepotentiale
- **Autarkiegrad** bis zu **100 %** nicht empfehlenswert
 - **50 % Autarkie** realistisch
- low-ex Wärmenetz
- Ahr als effiziente Wärmequelle
- kein Bedarf für Batteriespeicher
- **Stromnetz** in Kreuzberg **leistungsschwach**
 - nicht auf die Herausforderungen ausgelegt
 - Modernisierungsbedarf
 - **PV-Leistung** aktuell **nicht realisierbar**

Weitere mögliche Betrachtungen/Ausblick

- Batteriespeicher bei höherer Durchdringung der E-Mobilität für Lastmanagement
- Windkraft Potentiale bei Gesetzesanpassungen
- Bürgerbeteiligung in Kreuzberg
 - Feedback zum Energiekonzept
 - Akzeptanz
- Realisierungs- und Finanzierungsmöglichkeiten untersuchen
 - Bürgerenergiegenossenschaft etc.

Agenda

- 1 Vorstellung Kreuzberg/Methodik
 - 2 Datenerhebung/Status Quo
 - 3 Potentialanalyse Erneuerbare Energien
 - 4 Stromnetzberechnung
 - 5 Energiesystemmodellierung
 - 6 Energiekonzept
 - 7 Fazit/Empfehlung
-
- 8 **Literatur**
-

Literatur

- [1]: <https://www.swrfernsehen.de/landesschau-rp/hierzuland/ortsportraet-kreuzberg-100.html> ,letzter Zugriff: 05.10.23
- [2]: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/energie/photovoltaik-anlage-mieten-solarstrom-100.html> , letzter Zugriff: 05.10.23
- [3]: <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/geld-versicherungen/weitere-versicherungen/versicherungen-fuer-waermepumpen-solaranlagen-und-ladestationen-85637>. letzter Zugriff: 05.10.23
- [4]: <https://www.aw-wiki.de/index.php/Kreuzberg#Einwohner> , letzter Zugriff: 05.10.23
- [5]: Digitale Umfrage in Kreuzberg, durchgeführt mittels Microsoft Forms, Philipp Steffens, Joshua Wickenhäuser und Nicolas Stark
- [6]: https://www.statistik.rlp.de/fileadmin/dokumente/jahrbuch/Jahrbuch_2022_Kapitel_21_-_Bautaetigkeit.pdf, letzter Zugriff: 10.10.23
- [7]: <https://www.check24.de/strom-gas/ratgeber/energieverbrauch-einfamilienhaus/#:~:text=Durchschnittlich%20verbraucht%20ein%20Einfamilienhaus%2025.000,und%20Jahr%20ausgegangen%20-%20Warmwasser%20eingeschlossen.>, letzter Zugriff: 10.10.23
- [8]: <https://gruenes.haus/wie-viel-photovoltaik-brauche-ich/#:~:text=Ein%20Einfamilienhaus%20benoetigt%20im%20Schnitt.Anlagen%20im%20Schnitt%201%20kWp.>, letzter Zugriff: 10.10.23
- [9]: Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz, „Solarkataster RLP“, [<https://solarkataster.rlp.de/start>], Abgerufen am 23.5.2023
- [10]: Landschaftsinformationssystem der Naturschutzverwaltung RLP
- [11]: <https://www.kreuzberg-ahrtaal.de>; letzter Zugriff: 10.10.23
- [12] Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität Rheinland-Pfalz, „Windenergie“, [<https://mkuem.rlp.de/themen/energie-und-klimaschutz/erneuerbare-energien/windenergie>], Abgerufen am 7.8.2023