Partner:

Assoziierte Partner:

D5.2.2

Handbuch für „Klimaneutral Easy“ (Version 1.0)

Gefördert durch:
Bundesministerium für Bildung und Forschung
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Erstellt im Verbundvorhaben STADTQUARTIER 2050 im Rahmen der Förderinitiative „Solares Bauen / Energieeffiziente Stadt“ aus dem 6. Energieforschungsprogramm

Autoren:
Daniel Stegmaier
Johannes Schrade
Heike Erhorn-Kluttig
Corin Schray
Simon Wössner
Eike Budde

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Stuttgart, 30. August 2024

Inhalt

1	**Einleitung**	**4**
1.1	Hintergrund	4
1.2	Das Verbundvorhaben „STADTQUARTIER 2050“	5
1.3	Seitenaufbau des Tools	5
2	**Quartiersmodellierung**	**7**
2.1	Siedlungskennwerte	7
2.2	Klimaregionen	8
2.3	Gebäudemodell	9
2.3.1	Geometrie	9
2.3.2	Wärmeschutz	10
2.4	Wärmenetz	11
2.5	Versorgungskonzepte klimaneutrale Energieversorgung	12
2.5.1	Dezentrale Versorgungskonzepte	12
2.5.2	Zentrale Versorgungskonzepte	13
2.6	Randbedingungen	13
2.7	Limitierende Faktoren	16
2.8	Wohnfolgeanlagen	19
3	**Energetische Bewertung**	**21**
3.1	Endenergiebedarf	21
3.1.1	Heizen	21
3.1.2	TWW-Bereitung	22
3.1.3	Hilfsenergie	22
3.1.4	Nutzerstrom	22
3.1.5	Netzpumpenstrom	22
3.2	Eigenstromerzeugung	24
3.2.1	Photovoltaik	24
3.2.2	Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	24
3.3	Wärmenetz	25
3.3.1	Gleichzeitigkeit	28
3.3.2	Wärmelastprofile	28
3.3.3	Zusätzliche Berechnungsmodelle	29
4	**Treibhausgasemissionen**	**31**
4.1	Definition Klimaneutralität und Bilanzrahmen	31
4.2	Emissionsfaktoren	31
5	**Monetäre Bewertung**	**33**
5.1	Investitionskosten	33

5.1.1 Baupreisindizes 33
5.1.2 Regionalfaktor 33
5.1.3 Bauliche Kosten für den Wärmeschutz 33
5.1.4 Kosten für die Lüftung 34
5.1.5 Kosten für Energieerzeuger und Komponenten 34
5.2 Energiekosten 36
5.3 Kompensationskosten 37
5.4 Jährliche Gesamtkosten 38

6 Bewertung nach weichen Faktoren 39

7 Ergebnisausgabe 44
7.1 Klimaneutral Easy-Score 44
7.2 Bewertungstabelle 45
7.3 Ergebnisbericht 46

8 Export/Import 48

9 Anwendungsbeispiel 48
9.1 Eingabe 48
9.2 Ausgabe 52
9.3 Export/Import 58

10 Impressum 60

11 Literaturverzeichnis 62

12 Anhang 69

A.1 Schemata der Versorgungskonzepte 69

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Das im Verbundvorhaben „STADTQUARTIER 2050“ entwickelte Tool „Klimaneutral Easy“ unterstützt kommunale Entscheidungsträger, Quartiersmanager und Stadtplanungsbüros während der frühen Planungsphase bei der Auswahl geeigneter Lösungen für eine klimaneutrale Versorgung von Quartieren. Kern des Tools ist eine ganzheitliche Betrachtung und objektive Bewertung möglicher Versorgungslösungen sowie die Erstellung einer transparenten Entscheidungsgrundlage. Dabei ist die Anwendung einfach und schnell zu bedienen, auch für diejenigen, die nicht im Fachgebiet versiert sind.

Das Tool ist eine Weiterentwicklung der im selben Vorhaben entstandenen Methodik des „Leitfadens für die Entwicklung von klimaneutralen Energieversorgungskonzepten für Wohnquartiere“ [Schrade 2022]. Im Tool werden mögliche Versorgungskonzepte einer klimaneutralen Energieversorgung unter Berücksichtigung der Siedlungsstruktur und Klimaregion des Quartiers in Ausführung vier verschiedener Wärmeschutzniveaus miteinander verglichen. Eine Eingrenzung geeigneter Versorgungskonzepte erfolgt über eine vorgelagerte Abfrage von limitierenden Faktoren. Nach wenigen Eingaben zu den Siedlungskennwerten und Randbedingungen erhalten die Nutzenden eine Tabelle mit monetären Bewertungskriterien wie Investitions-, Energie- und Kompensationskosten. Ein sogenannter „Klimaneutral Easy-Score“ fasst diese Bewertungen zusammen und kann durch die Nutzer gewichtet werden, um unterschiedliche Sichtweisen abzubilden – zum Beispiel können Mieter Energiekosten stärker gewichten, während Investoren vielleicht Investitionskosten priorisieren. Weitere Filtermöglichkeiten bieten weiche Faktoren wie die Zukunftsfähigkeit oder Umsetzbarkeit der Versorgungskonzepte. Für jedes Konzept kann ein Bericht generiert werden, der ein Anlagenschema und eine detaillierte Kostenübersicht enthält, sowie Informationen zu Energiebedarf und Treibhausgasemissionen des Quartiers.

Zur weiteren Flexibilisierung des Tools „Klimaneutral Easy“ und um eine Anwendung im Bereich der kommunalen Wärmeplanung zu erleichtern, ist eine Funktion integriert, die es ermöglicht, die Standardkostenwerte, Energiepreise und Emissionsfaktoren durch spezifische Kennwerte aus dem Technikkatalog zur Kommunalen Wärmeplanung zu ersetzen [KEA-BW 2024]. Der Technikkatalog wird von der KEA-BW herausgegeben und beinhaltet Kennwerte etablierter Techniken und spezifische Investitionskosten von diesen.

Die Berechnungen basieren auf dem Rechenkern „ibp18599“ des Fraunhofer IBP, der die Rechenvorschriften der DIN V 18599:2018-09 vollständig umsetzt. Es ist geplant, dass die Eingabedaten aus „Klimaneutral Easy“ in den „District Energy Concept Adviser“, eine weitere Software des Fraunhofer IBP, für detailliertere Analysen exportiert werden können.

1.2 Das Verbundvorhaben „STADTQUARTIER 2050“

Das Verbundvorhaben „STADTQUARTIER 2050“ beschäftigte sich mit der Fragestellung, wie Stadtquartiere zukünftig klimaneutral mit Energie versorgt werden können. Das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP hat gemeinsam mit Partnern aus den beteiligten Kommunen, der Wissenschaft, der Energie-, Bau- und Wohnungswirtschaft sowie einer Energieagentur für zwei Demonstrationsquartiere in den Städten Stuttgart und Überlingen Lösungen zur Erreichung der Klimaneutralität in der Betriebsphase erarbeitet. Die entwickelten Ansätze sollen auf andere Quartiere und Kommunen übertragbar sein. Die wissenschaftlich-technischen Arbeiten beschäftigten sich mit der Maximierung der Eigennutzung des PV-Stroms, allgemeinen Lösungsansätzen für die Klimaneutralität von Quartieren sowie deren wirtschaftliche und ökobilanzielle Bewertungen. Aus den Arbeiten entstanden insgesamt vier Tools zu konkreten Aufgabenstellungen, die in den Quartieren eine Testanwendung erfahren haben und darüber hinaus von Stadtplanern und Fachleuten genutzt werden können. „Klimaneutral Easy“ ist eines der entwickelten Tools.

Gefördert wurde das Verbundvorhaben gemeinsam vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) unter dem Förderkennzeichen 03SBE116. Die Projektwebseite ist unter www.stadtquartier2050.de abrufbar.

Gefördert durch:
Bundesministerium für Bildung und Forschung
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

1.3 Seitenaufbau des Tools

Bild 1 zeigt anhand des Startbildschirms den generellen Aufbau des Tools: Auf der linken Seite der Benutzeroberfläche befindet sich eine feste Navigationsleiste, während auf der rechten Seite der Inhalt des jeweils ausgewählten Menüpunkts wiedergegeben wird. Im Kopfbereich werden die Nutzenden mit Hilfe eines erläuternden Textes in das Thema des jeweiligen Menüpunkts eingeführt.

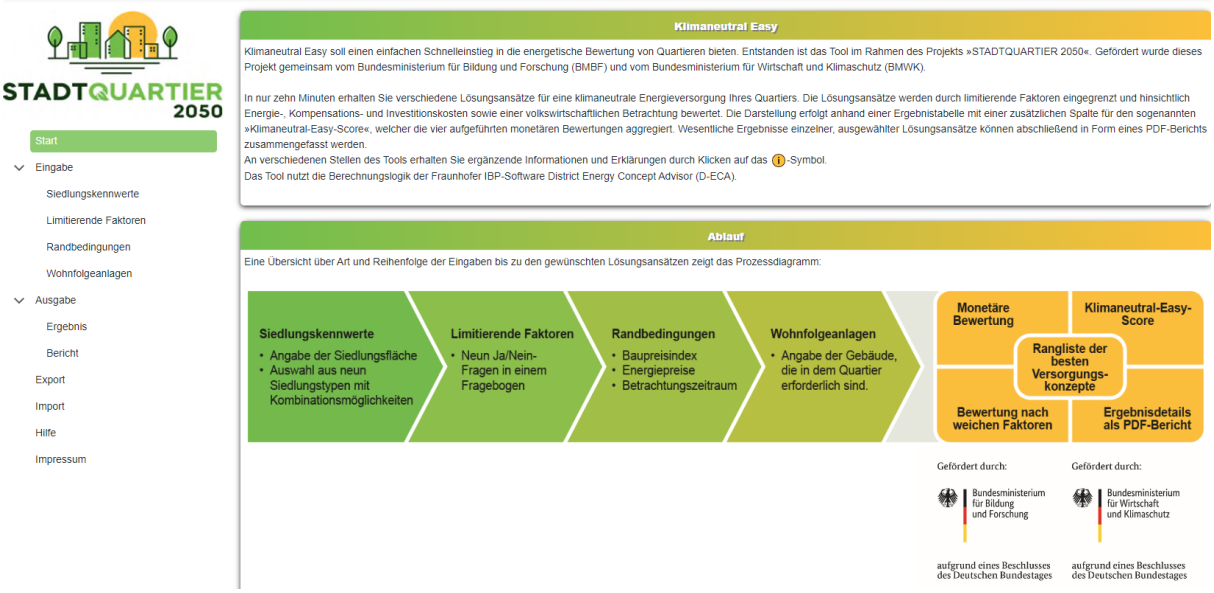


Bild 1:
Startbildschirm von „Klimaneutral Easy“.

2 Quartiersmodellierung

2.1 Siedlungskennwerte

Unter dem Menüpunkt „Siedlungskennwerte“ kann der Siedlung ein Name und eine Postleitzahl zugewiesen werden. Mit Hilfe von Satellitenbildern kann ein Siedlungstyp ausgewählt werden, wobei jeweils eine Fläche als Bestandssiedlung und eine Fläche als Neubausiedlung definiert werden kann. Die Siedlungsfläche nach „Klimaneutral Easy“ umfasst Gebäude-, Frei- und Verkehrsflächen (Straßen). Für Bestandssiedlungen besteht die Möglichkeit, über eine Schaltfläche die besonderen Anforderungen des Denkmalschutzes zu berücksichtigen. Bild 2 zeigt einen Ausschnitt aus dem Inhalt des Menüpunktes „Siedlungskennwerte“ mit beispielhaft ausgefüllten Benutzereingaben.

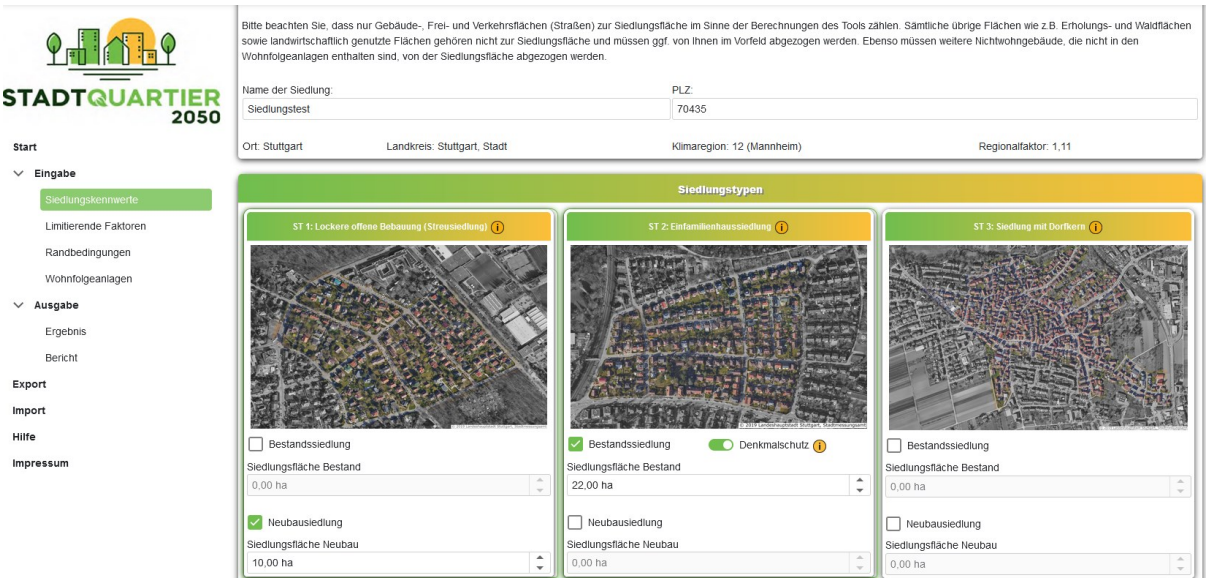


Bild 2:
Ausschnitt der Inhalte des Menüpunkts „Siedlungskennwerte“.

Für die Modellierung des Quartiers stehen, basierend auf der Klassifizierung von [Blesl 2001], neun verschiedene Siedlungstypen zur Verfügung, die hauptsächlich für Wohnzwecke genutzt werden:

- ST 1 Lockere offene Bebauung (Streusiedlung)
- ST 2 Einfamilienhaus- und Doppelhaussiedlung
- ST 3 Siedlung mit Dorfkern
- ST 4 Reihenhaussiedlung
- ST 5a Siedlung kleiner Mehrfamilienhäuser
- ST 5b Zeilenbebauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern
- ST 6 Zeilenbebauung mit großen Mehrfamilienhäusern und Hochhäusern
- ST 7a Blockbebauung niedriger Dichte
- ST 7b Blockbebauung hoher Dichte

Die für die Quartiersmodellierung verwendeten Daten der Siedlungstypen sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Einwohnerzahl und die Anzahl der Häuser werden nach Eingabe der Siedlungsgrößen für die Berechnung auf Ganzzahlen gerundet.

Tabelle 1:
Für einen Hektar des jeweiligen Siedlungstyps für die Quartiersmodellierung verwendete Daten, modifiziert nach [Blesl 2001] und Einwohnerzahl gemäß [co2online 2021] und [Statistisches Bundesamt 2011] (vgl. Ermittlung der Einwohnerzahl gemäß der Methodik für den Nutzerstrom in Kapitel 3.1.4).

Siedlungstyp	Netzlänge [m]	HA-Leitung [m]	Anzahl EFH	Anzahl RH	Anzahl MFH	Anzahl GMH	Anzahl HH	Einwohner
ST1	169,3	153,2	8,8	-	-	-	-	19,5
ST2	218,4	81,1	11,3	-	-	-	-	25,1
ST3	185,5	47,4	12,5	-	3,3	-	-	79,7
ST4	303,8	218,7	-	34,2	-	-	-	66,1
ST5a	275,6	96,2	-	-	13,7	-	-	216,9
ST5b	177,3	48,4	-	-	3,7	1,7	-	194,7
ST6	173,4	60,0	-	-	-	-	3,6	430,9
ST7a	259,9	42,6	-	-	5,1	5,5	-	526,0
ST7b	223,9	45,5	-	-	4,0	7,4	-	657,5

HA	Hausanschluss	EFH	Einfamilienhaus
MFH	Mehrfamilienhaus	RH	Reihenhaus
GMH	Großes Mehrfamilienhaus	HH	Hochhaus

2.2 Klimaregionen

Durch die Eingabe einer Postleitzahl im Menüpunkt „Siedlungskennwerte“ wird das Quartier einer Klimaregion zur Anpassung an die standortspezifischen Klimabedingungen zugeordnet. Für 15 Klimaregionen wurden im Jahr 2010 Testreferenzjahre (TRY) erstellt, die meteorologische Daten von Referenzstationen enthalten [DWD 2010]. Die Klimaregionen beeinflussen die energetische Berechnung der Versorgungskonzepte über die in Tabelle 2 dargestellten Parameter.

Tabelle 2:
Meteorologische Parameter der verschiedenen Klimaregionen.

Klimaregion	Referenzstand-ort	θ_e [°C]	$\theta_{e,ref}$ [°C]	θ_G [°C]	I_S [W/m²]
TRY 1	Bremerhaven	10,1	-8,8	11,3(*)	964
TRY 2	Rostock	9,5	-9,9	10,8	1.048
TRY 3	Hamburg	9,5	-10,2	10,3	943
TRY 4	Potsdam	9,5	-12,8	10,4	1.072
TRY 5	Essen	10,4	-8,5	10,7	960
TRY 6	Bad Marienberg	7,8	-10,7	9,0	973
TRY 7	Kassel	9,3	-11,2	10,3	1.004
TRY 8	Braunlage	6,7	-12,8	7,7	994
TRY 9	Chemnitz	8,7	-13,7	9,3	1.055
TRY 10	Hof	7,4	-13,9	8,7	1.039
TRY 11	Fichtelberg	3,8	-14,3	6,1	983
TRY 12	Mannheim	11,1	-10,2	11,8	1.089
TRY 13	Passau	8,6	-12,9	10,0	1.074
TRY 14	Stötten	7,8	-12,8	9,3	1.064
TRY 15	Garmisch-Par-tenkirchen	7,4	-14,5	10,6	1.122

(*) Die Bodentemperatur von Bremerhaven wurde über die Lufttemperatur abgeschätzt, da hierfür keine Messdaten vorliegen

θ_e mittlere monatliche Außenlufttemperatur (DIN V 18599-10:2018-09 Anhang E) [Beuth 2018]

$\theta_{e,ref}$ Norm-Außentemperatur (DIN EN 12831:2017) [Beuth 2017]

θ_G mittlere Bodentemperatur in 1 m Tiefe (Messdaten vom [DWD 2024])

I_S mittlere monatliche Strahlungsintensität (DIN V 18599-10:2018-09 Anhang E [Beuth 2018]

2.3 Gebäudemodell

2.3.1 Geometrie

Für die Berechnungen werden die charakteristischen Werte der Siedlungstypen zur Gebäudeanzahl und prozentualen Zusammensetzung der Gebäudetypen verwendet, die in einer Studie zur pluralistischen Wärmeversorgung von [Blesl 2001] ermittelt wurden. In „Klimaneutral Easy“ wird entsprechend der Methodik von [Schrade 2022] diese Siedlungstypologie mit der deutschen Gebäudetypologie kombiniert, die im Rahmen des EU-Projekts „TABULA“ entwickelt wurde [Loga 2015]. Dadurch entsteht ein modellierter Gebäudebestand des Quartiers aufgeteilt in Einfamilienhäuser (EFH), Reihenhäuser (RH), kleine Mehrfamilienhäuser (MFH), große Mehrfamilienhäuser (GMH) und Hochhäuser (HH). Zur Bildung der baualtersübergreifenden Typgebäude wird die Baualtserverteilung in Deutschland nach [Loga 2015]

angesetzt, ergänzt durch die Flächenanteile für den Neubau ab 2009 aus [Statistisches Bundesamt 2019]. Auf Basis der Wohnflächenanteile der baualterstypischen Beispielgebäude je Typgebäude werden mittlere geometrische Kennwerte für Nettoraumfläche, beheiztes Volumen, Dach, Außenwand und Fenster gebildet. Diese mittleren Kennwerte werden mit der IWU-Gebäudetypologie verglichen und das jeweilige baualterstypische Beispielgebäude mit den geringsten Abweichungen identifiziert.

Mit diesem methodischen Ansatz nach [Schrade 2022] ergeben sich folgende Typgebäude aus der Gebäudetypologie nach [Loga 2015], die als baualtersübergreifende Typgebäude zur Abbildung der Gebäudegeometrie Verwendung finden:

- Einfamilienhaus EFH_F
- Reihenhaus RH_C
- Kleines Mehrfamilienhaus MFH_G
- Großes Mehrfamilienhaus GMH_F
- Hochhaus NBL_HH_F

Die Geometriekennwerte des Gebäudemodells sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3:
Geometriemodell von „Klimaneutral Easy“ [Schrade 2022], [Loga 2015].

	Einheit	EFH_F	RH_C	MFH_G	GMH_F	NBL_HH_F
Anzahl Wohneinheiten	-	1	1	9	48	80
Anzahl Stockwerke	-	2	2	3	8	10
Nettoraumfläche	m²	173,3	112,8	654,0	3.322,0	5.275,6
Wohnfläche	m²	157,5	102,5	594,5	3.020,0	4.796,0
Außenwandfläche	m²	177,6	66,1	447,1	2.130,0	2.994,0
Dachfläche	m²	183,1	50,4	248,3	540,0	598,3
Fläche Kellerdecke	m²	152,3	50,4	248,3	540,0	598,3
Fensterfläche	m²	34,2	21,5	99,4	545,0	756,0
Hüllfläche gesamt	m²	547,2	188,4	1.043,1	3.755,0	4.946,6
Bruttovolumen	m³	606,0	426,0	2.040,0	9.805,0	18.405,0
Nettovolumen	m³	473,7	332,3	1.632,0	7.844,0	14.724,0
Mittlere Wohnfläche	m²	157,5	102,5	66,1	62,9	60,0
A-V-Verhältnis	m²/m³	0,90	0,44	0,51	0,38	0,27

2.3.2 Wärmeschutz

Um die Auswirkungen von baulichen Maßnahmen an der Gebäudehülle zu berücksichtigen, werden die folgenden vier Wärmeschutzniveaus betrachtet:

- **unsaniert:** Mittleres Wärmeschutzniveau des unsanierten Gebäudebestands mit Bauteilkennwerten gemäß [BMWI 2015] für die Baualtersklasse 1969 bis 1978 (entspricht der Baualtersklasse mit der größten Wohnfläche in Deutschland (vgl. [Cischinsky 2018])).

- **EH 100:** Energetischer Standard des Referenzgebäudes nach Gebäudeenergiegesetz (GEG 2023) [Bundestag 2020].

- **EH 55:** Anforderungsniveau gemäß Bundesförderung für effiziente Gebäude an das KfW-Effizienzhaus 55 [KfW 2020].

- **EH 40:** Anforderungsniveau gemäß Bundesförderung für effiziente Gebäude an das KfW-Effizienzhaus 40 [KfW 2020].

Während bei Sanierungsvorhaben grundsätzlich alle vier energetischen Niveaus auftreten bzw. erreicht werden können, sind bei Neubauvorhaben nur die ambitionierten Wärmeschutzniveaus EH 55 und EH 40 relevant. Die angesetzten Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte), Gesamtenergiedurchlassgrade (g-Wert) und Luftdichtheiten (n_{50}) können Tabelle 4 entnommen werden.

Tabelle 4:
Bauphysikalische Kennwerte der Gebäudehülle nach [Schrade 2022].

Kennwerte	Einheit	unsaniert	EH 100	EH 55	EH 40
$U_{Außenwand}$	W/(m²K)	1,00	0,28	0,20	0,13
U_{Dach}	W/(m²K)	0,80	0,20	0,15	0,11
U_{Boden}	W/(m²K)	1,00	0,35	0,25	0,20
$U_{Fenster}$	W/(m²K)	2,70	1,30	0,90	0,80
$g_{senkrecht}$	-	0,78	0,64	0,52	0,50
$\Delta U_{Wärmebrücken}$	W/(m²K)	0,10	0,05	0,03	0,03
Luftdichtheit n_{50}	1/h	4,0	2,0	1,5	1,0

2.4 Wärmenetz

Die Modellierung des Wärmenetzes erfolgt auf Basis siedlungstypspezifischer Merkmale als Zweileiternetz mit drei Strahlen. Die Trassenlänge der Hauptverteilungsleitung wird aus der Gesamtlänge der Straßen im Betrachtungsgebiet abgeleitet (vgl. [Fischedick 2007]), während die Trassenlänge der Hausanschlussleitungen über den mittleren Abstand zwischen Gebäude und Straße bestimmt wird. Die verwendeten siedlungstypspezifischen Kennwerte nach [Blesl 2002] können Tabelle 1 in Kapitel 2.1 entnommen werden.

Die Dimensionierung der Rohrdurchmesser erfolgt vereinfacht für ein dreistrahliges Wärmenetz mit einem Druckverlust von 0,001 bar/m (vgl. [Dötsch 1998]). Für die Wahl des Rohrdurchmessers wird der erforderliche Massenstrom berechnet und unter Berücksichtigung einer wirtschaftlichen

Strömungsgeschwindigkeit eine geeignete Nennweite über ein Tabellenverfahren ermittelt (vgl. [Isoplus 2012]).

2.5 Versorgungskonzepte klimaneutrale Energieversorgung

Analog zum Vorgehen nach [Schrade 2022] werden in der energetischen Quartiersplanung mehr als 30 verschiedene Versorgungskonzepte berücksichtigt. Diese umfassen dezentrale, gebäudespezifische Lösungen, Konzepte mit Gebäude- und Quartiersnetzen sowie quartiersübergreifende Fernwärmenetze. Potenzielle Wärmeerzeuger sind unter anderem Wärmepumpen (WP), Brennwertkessel, Blockheizkraftwerke (BHKW) und Brennstoffzellen. Die eingesetzten Energieträger umfassen Solarenergie, Strom, Biomasse, Erdgas und synthetisches Gas sowie konventionelle und nahezu klimaneutrale Fernwärme. Für zentrale Versorgungskonzepte werden sowohl kalte Nahwärmenetze (auch Anergienetze, Wärmenetze der 5. Generation oder LowEx-Netze genannt) als auch konventionelle Wärmenetze in Betracht gezogen. Anhang A.1 enthält für alle betrachteten Versorgungskonzepte ein vereinfachtes Anlagenschema sowie eine Kurzbeschreibung.

Die verschiedenen Anlagentechniken werden in Abhängigkeit vom Gebäudestandard entsprechend der im Anhang des Handbuchs zum „ibp18599kernelSimplified“ [Fraunhofer IBP 2024] beschriebenen Vorbelegung parametrisiert.

2.5.1 Dezentrale Versorgungskonzepte

Folgende dezentrale Versorgungskonzepte werden berücksichtigt:

- Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden
- Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Hybridkollektoren (PVT-Kollektoren)
- Wasser-Wasser-Wärmepumpe
- Gas-Brennwertkessel mit solarthermischer Trinkwarmwasserbereitung
- Gas-Brennwertkessel mit solarthermischer Heizungsunterstützung
- Gas-Brennwertkessel mit Abluft-Wärmepumpe für die Trinkwarmwasserbereitung
- Biomassekessel
- Biomassekessel mit solarer Trinkwarmwasserbereitung

- Biomassekessel mit solarer Heizungsunterstützung
- Gas-BHKW mit Gas-Brennwertkessel zur Deckung der Spitzenlast

  Brennstoffzelle mit Gas-Brennwertkessel zur Deckung der Spitzenlast

2.5.2 Zentrale Versorgungskonzepte

Folgende zentrale Versorgungskonzepte werden berücksichtigt:

- Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden und Elektrodenkessel zur Deckung der Spitzenlast
- Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Agrothermie und Elektrodenkessel zur Deckung der Spitzenlast
- Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Abwasserwärme und Elektrodenkessel zur Deckung der Spitzenlast
- Solarthermie mit saisonaler Speicherung und einem Gas-BHKW zur Deckung der Spitzenlast
- Solarthermie mit saisonaler Speicherung und einem Holzhackschnitzelkessel zur Deckung der Spitzenlast
- Hackschnitzel-BHKW mit Hackschnitzelkessel zur Deckung der Spitzenlast
- Kaltes Nahwärmenetz mit Erdsonden und dezentralen Wärmepumpen
- Kaltes Nahwärmenetz mit Erdkollektoren und dezentralen Wärmepumpen
- Kaltes Nahwärmenetz unter der Nutzung von Abwasserwärme und dezentralen Wärmepumpen
- Fernwärme (konventionell)
- Fernwärme (nahezu klimaneutral)

2.6 Randbedingungen

In „Klimaneutral Easy“ können der Baupreisindex, der Betrachtungszeitraum, der Emissionsfaktor der Fernwärme, die Ausgangspreise und die jährlichen Preissteigerungen sowie das Lüftungskonzept über die in Bild 3 dargestellte Benutzeroberfläche angepasst werden.

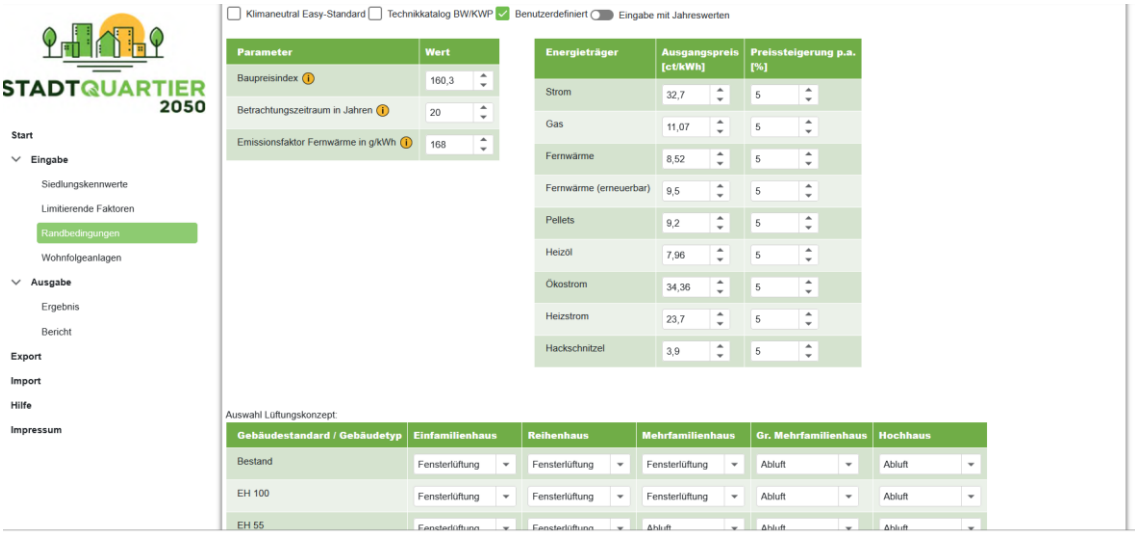


Bild 3:
Inhalte des Menüpunkts „Randbedingungen“.

Der Baupreisindex gibt die durchschnittliche Entwicklung der Baupreise für den Neubau und die Instandhaltung von Wohn- und Gewerbebauten an. Bei der Ermittlung wird der Neubauwert ins Verhältnis zum Basisjahr von 2015 (= 100) gesetzt. Durch diesen Parameter können die Investitionskosten auf das Niveau künftiger Jahre angehoben werden. Ändert sich das Basisjahr, muss der einzugebende Baupreis zunächst umgerechnet werden, indem der Baupreisindex des aktuellen Jahres durch den Baupreisindex des Jahres 2015 dividiert und anschließend mit 100 multipliziert wird. Die aktuellen und früheren Baupreisindizes können über die Tabelle der Genesis-Datenbank des Statistischen Bundesamtes mit dem Code 61261-0001 abgerufen werden. Anschließend ist die Gebäudeart „Wohngebäude“, ein entsprechender Zeitraum von 2015 bis zum aktuellen Jahr und die Bauarbeiten „Bauleistungen am Bauwerk“ auszuwählen [Destatis 2024].

Der Wert der Voreinstellung „Klimaneutral Easy-Standard“ entspricht dem Mittelwert von 2023 und ist der Tabelle „Aktueller Baupreisindex: Preisindizes für Bauwerke, Wohngebäude und Nichtwohngebäude – Statistisches Bundesamt (destatis.de)“ entnommen. Darüber hinaus kann auf zwei Voreinstellungen zurückgegriffen werden: Einem „Klimaneutral Easy-Standard“ mit den Werten aus [Schrade 2022] sowie eine Voreinstellung gemäß dem „Technikkatalog BW/KWP“ [KEA-BW 2024]. Die Voreinstellung „Klimaneutral Easy-Standard“ hat folgende in Tabelle 5 dargestellten Parameter.

Tabelle 5:
Parameter der Voreinstellung „Klimaneutral Easy-Standard“ nach [Schrade 2022].

Parameter	Wert	
Baupreisindex	160,3	
Betrachtungszeitraum	20 Jahre	
Emissionsfaktor Fernwärme	168 g/kWh	
Energieträger	**Ausgangspreis**	**Preissteigerung**
Strom	32,70 ct/kWh	5 %/a
Gas	11,07 ct/kWh	5 %/a
Fernwärme	8,52 ct/kWh	5 %/a
Fernwärme (erneuerbar)	9,50 ct/kWh	5 %/a
Pellets	9,20 ct/kWh	5 %/a
Heizöl	7,96 ct/kWh	5 %/a
Ökostrom	34,36 ct/kWh	5 %/a
Heizstrom	23,70 ct/kWh	5 %/a
Hackschnitzel	3,90 ct/kWh	5 %/a

Die Voreinstellung „Technikkatalog BW/KWP“ [KEA-BW 2024] hat folgende in Tabelle 6 dargestellten Parameter.

Tabelle 6:
Parameter der Voreinstellung „Technikkatalog BW/KWP“ [KEA-BW 2024].

Parameter	**Wert**		
Baupreisindex	160,3		
Betrachtungszeitraum	20 Jahre		
Emissionsfaktor Fernwärme	168 g/kWh		
Energieträger	**Ausgangspreis**	**Preis 2030**	**Preis 2040**
Strom	32,70 ct/kWh	29,0 ct/kWh	27,9 ct/kWh
Gas	11,07 ct/kWh	3,02 ct/kWh	2,85 ct/kWh
Fernwärme	- (*)	- (*)	- (*)
Fernwärme (erneuerbar)	- (*)	- (*)	- (*)
Pellets	9,20 ct/kWh	3,87 ct/kWh	4,07 ct/kWh
Heizöl	7,96 ct/kWh	2,68 ct/kWh	1,83 ct/kWh
Ökostrom	- (*)	- (*)	- (*)
Heizstrom	- (*)	- (*)	- (*)
Hackschnitzel	3,9 ct/kWh	3,09 ct/kWh	3,37 ct/kWh

(*) Die Werte sind im Technikkatalog BW/KWP nicht vorhanden, Versorgungskonzepte mit diesen Energieträgern werden von der Bewertung ausgeschlossen.

2.7 Limitierende Faktoren

Bestimmte Versorgungskonzepte können für einen Standort ungeeignet sein. Um die Auswahl möglicher Versorgungskonzepte für einzelne Quartiere einzuschränken, sind im Tool Filterkriterien implementiert, die den Ausschluss bestimmter Versorgungskonzepte ermöglichen. Die Abfrage erfolgt über eine von [Schrade 2022] entwickelte Checkliste. Die Umsetzung in „Klimaneutral Easy“ ist auf Bild 4 dargestellt.

Bild 4:
Inhalte des Menüpunkts „Limitierende Faktoren“.

Nach Bestätigung der getroffenen Auswahl wird das Spektrum möglicher Versorgungskonzepte gemäß folgender, in Tabelle 7 dargestellter Logik eingegrenzt: Neben den Auswahlmöglichkeiten „Ja“ und „Nein“ kann auch „Nicht bekannt“ ausgewählt werden. Dadurch werden die entsprechenden Konzepte, die durch die jeweilige Frage ausgeschlossen würden, in der Bewertungstabelle grau dargestellt und können durch eine zusätzliche Filterfunktion in der Ergebnistabelle ausgeblendet werden.

Tabelle 7:
Filterkriterien limitierende Faktoren nach [Schrade 2022].

		Kein Fernwärmenetz vorhanden	Kein Gasnetz vorhanden	Keine Freiflächen vorhanden	Kein Abteufen von Erdsonden möglich	Keine Nutzung des Grundwassers möglich	Keine Nutzung von Abwasserwärme möglich	Keine Verbrennung im Projektgebiet möglich	Kein Netzbetreiber vorhanden	Anschlusszwang
Dezentrale Versorgungskonzepte	Luft-Wasser-WP	+	+	+	+	+	+	+	+	-
	Sole-Wasser-WP mit Erdsonden	+	+	+	-	+	+	+	+	-
	Sole-Wasser-WP mit PVT-Kollektoren	+	+	+	+	+	+	+	+	-
	Wasser-Wasser-WP	+	+	+	+	-	+	+	+	-
	Gas-BW-Kessel mit solarer TWW	+	-	+	+	+	+	-	+	-
	Gas-BW-Kessel mit solarer Heizung	+	-	+	+	+	+	-	+	-
	Gas-BW-Kessel mit Abluft-WP	+	-	+	+	+	+	-	+	-
	Biomassekessel	+	+	+	+	+	+	-	+	-
	Biomassekessel mit solarer TWW	+	+	+	+	+	+	-	+	-
	Biomassekessel mit solarer Heizung	+	+	+	+	+	+	-	+	-
	Gas-BHKW mit Gas-BW-Kessel	+	-	+	+	+	+	-	+	-
	Brennstoffzelle mit Gas-BW-Kessel	+	-	+	+	+	+	-	+	-
Zentrale Versorgungskonzepte	Sole-Wasser-WP mit Erdsonden	+	+	+	-	+	+	+	-	-
	Sole-Wasser-WP mit Agrothermie	+	+	-	+	+	+	+	-	-
	Sole-Wasser-WP mit Abwasserwärme	+	+	+	+	+	-	+	-	-
	Gas-BHKW und Solarthermie	+	-	-	+	+	+	-	-	-
	Hackschnitzel-BHKW mit Spitzenlast	+	+	+	+	+	+	-	-	-
	Holzhackschnitzel mit Solarthermie	+	+	-	+	+	+	-	-	-
	Kalte Nahwärme Erdsonden	+	+	+	-	+	+	+	-	-
	Kalte Nahwärme Erdkollektor	+	+	-	+	+	+	+	-	-
	Kalte Nahwärme Abwasserwärme	+	+	+	+	+	-	+	-	-
	Fernwärme (konventionell)	-	+	+	+	+	+	+	+	+
	Fernwärme (nahezu klimaneutral)	-	+	+	+	+	+	+	+	+

Legende: + Versorgungskonzept ist umsetzbar - Versorgungskonzept ist nicht umsetzbar

2.8 Wohnfolgeanlagen

Neben den Wohngebäuden werden im Siedlungsmodell auch die sogenannten Wohnfolgeanlagen abgebildet. Wohnfolgeanlagen sind soziale und wirtschaftliche Infrastruktureinrichtungen innerhalb eines Wohnquartiers, die der Versorgung der Bewohner dienen. In „Klimaneutral Easy“ werden die Wohnfolgeanlagen durch bereits im „District ECA“ hinterlegte Typgebäude abgebildet, die auf eine ermittelte Referenzgröße skaliert werden. Durch die Eingabe von Siedlungsfläche und Siedlungstyp wird dem Quartiersmodell eine Einwohnerzahl zugewiesen. Anhand der in Tabelle 8 aufgeführten städtebaulichen Orientierungswerte [Schröter 2021] wird die Anzahl und Art der möglichen Wohngebäude abgeschätzt, indem, sobald die min. Einwohnerzahl überschritten wird, erst eine Wohnfolgeanlage und bei Überschreiten der max. Einwohnerzahl eine zweite Wohnfolgeanlage angelegt wird. Die weiteren Wohnfolgeanlagen werden entsprechend dem Vielfachen der max. Einwohnerzahl angelegt.

Tabelle 8:
Städtebauliche Orientierungswerte [Schröter 2021].

Wohnfolgeanlage	D-ECA-Typgebäude	Min. Einwohnerzahl (EW)	Max. Einwohner-zahl (EW)	Referenzgröße NRF Gebäude in m²
Grundschule	Schule	2.000	10.000	1.833,06
Hauptschule	Schule	10.000	50.000	1.222,04
Gymnasium	Schule	50.000	120.000	4.548,18
Arztpraxis	MischgebäudeA	8.000	10.000	897,24
Kindergarten	Kindergarten	2.000	10.000	507,80
Altenwohnheim	Altenheim	15.000	63.000	2.977,30
Polizeirevier	Büro	6.000	30.000	1.130,00
Supermarkt	Supermarkt	8.000	16.000	1.047,00
Bankfiliale	Büro	8.000	16.000	240,48
Kaufhaus	Kaufhaus	30.000	60.000	1.103,60
Stadtteilbibliothek	Uni Bibliothek	5.000	10.000	413,10
Ämter, Büros	Büro	5.000	10.000	1.792,70
Hotel	Hotel	5.000	10.000	2.035,40
Einzelhandel	MischgebäudeA	2.000	4.000	2.128,90
Apotheke	MischgebäudeA	8.000	10.000	489,40
Turn-/Sporthalle	Sporthalle	2.000	4.000	1.146,40
Gaststätte	MischgebäudeB	1.000	2.000	2.128,90

Der in Bild 5 dargestellte Inhalt des Menüpunkts „Wohnfolgeanlagen“ wird mit der Abschätzung vorbelegt. Die Anwendenden haben die Möglichkeit, die Abschätzung anzupassen.

Bild 5:
Ausschnitt der Inhalte des Menüpunkts „Wohnfolgeanlagen“.

3 Energetische Bewertung

3.1 Endenergiebedarf

Die energetische Bewertung der Gebäude und der dezentralen Versorgungskonzepte erfolgt mittels Monatsbilanzverfahren nach DIN V 18599:2018-09 unter Verwendung von Standardnutzungsprofilen für Wohngebäude. Die Berechnungen basieren auf dem Rechenkern „ibp18599“, der die Rechenvorschriften der DIN V 18599:2018-09 vollständig umsetzt.

3.1.1 Heizen

Die nach DIN V 18599-2:2018-09 Anhang B [Beuth 2018] berechnete Heizlast wird unter Berücksichtigung der Klimaregion mit einem Korrekturfaktor angepasst, der mithilfe der Normaußentemperaturen der DIN SPEC 12831:2017 [Beuth 2017], wie in Gleichung (1) dargestellt, berechnet wird. Als Referenzklima für Deutschland gilt die Klimaregion Potsdam.

$$f_{\mathrm{Heiz}} = \frac{(\theta_{\mathrm{i}} - \theta_{\mathrm{e,Klimaregion}})}{(\theta_{\mathrm{i}} - \theta_{\mathrm{e,Potsdam}})} \tag{1}$$

f_{Heiz} Heizkorrekturfaktor
θ_{i} Innentemperatur (hier: 20 °C)
θ_{e} Normaußentemperatur

Die erforderlichen Vorlauftemperaturen für die Gebäudeheizung werden in Abhängigkeit von der Heizlast und der Art der Wärmeübergabe gemäß Tabelle 9 bestimmt. Im Gebäudemodell von „Klimaneutral Easy“ wird die Beheizung von Neubauten mittels Flächenheizung abgebildet, während Bestandsgebäude mit Radiatoren beheizt werden.

Tabelle 9:
Vorlauftemperaturen der Gebäudeheizung in Abhängigkeit der Heizlast und der Art der Wärmeübergabe [Schrade 2022].

Heizlast [W/m²]	Vorlauftemperatur [°C] bei	
	Radiatoren	Flächenheizungen
> 120	90	-
> 80	70	-
> 50	55	55
> 30	55	45
≤ 30	45	35

3.1.2 TWW-Bereitung

Die thermische Leistung für die Trinkwarmwassererwärmung wird nach der DIN V 18599-8:2018-09 ermittelt. Für die Erhitzung des Trinkwarmwassers unter Verwendung eines gebäudezentralen Trinkwarmwasserspeichers wird eine erforderliche Vorlauftemperatur von 67 °C angenommen.

3.1.3 Hilfsenergie

Die Berechnung der Hilfsenergie (z. B. für die Wärmeübergabe, -verteilung und -speicherung und für den Pumpenstrom) wird nach den entsprechenden Teilen der DIN V 18599:2018 mit Standardnutzungsprofilen für Wohngebäude berechnet.

3.1.4 Nutzerstrom

Die DIN V 18599:2018 bildet die nutzerbedingten Strombedarfe (für die Beleuchtung und alle sonstigen elektrischen Geräte) nur sehr vereinfacht als Anwenderstrombedarf mit einem spezifischen Wert von 23 kWh/m²a für Wohngebäude ab. Aus diesem Grund wird der Nutzerstrom für die Berechnung in „Klimaneutral Easy“ in Abhängigkeit der Haushaltsgröße und Haushaltsgrößenverteilung je Gebäudetyp, abgeleitet aus dem Zensus 2011 [Statistisches Bundesamt 2011] sowie dem Stromverbrauch pro Haushalt, abgeleitet aus dem Stromspiegel 2021 [co2online 2021], ermittelt. Der Nutzerstrom ist primär abhängig von der Anzahl Personen, die in einem Haushalt leben (vgl. [co2online 2021] oder [Frondel 2015]). Auf Basis der Haushaltsgrößenverteilung je Typgebäude gemäß [Statistisches Bundesamt 2011] lassen sich aus den mittleren Pro-Kopf-Stromverbräuchen mittlere flächenspezifische Nutzerstromverbräuche berechnen (siehe Tabelle 10). Demnach liegt der flächenspezifische Nutzerstrom in Einfamilienhäusern bei 20 kWh/m²a und bei den restlichen Typgebäuden bei 28 kWh/m²a. Die Abweichung ergibt sich aus dem deutlich höheren Pro-Kopf-Flächenanteil in Einfamilienhäusern.

Tabelle 10:
Nutzerstromverbrauch nach Typgebäude nach [Schrade 2022].

Typgebäude	HH	GMH	MFH	RH	EFH
Mittlere Haushaltsgröße in Personenanzahl	1,6	1,8	1,9	2,2	2,7
Stromverbrauch pro Wohneinheit in kWh/WE	1.675	1.786	1.842	2.850	3.201
Flächenspezifischer Stromverbrauch in kWh/m²a	28	28	28	28	20

3.1.5 Netzpumpenstrom

Der Netzpumpenstrom wird nach [Schrade 2022] berechnet. Die Länge der Nahwärmenetzleitung bis zum Schlechtpunkt L_{SP} wird mit 1/3 der Gesamtlänge des Netzes, d.h. der Summe aus Vor- und Rücklaufleitungen L_{gesamt}.angenommen. Der auf diese Länge der Netzleitungen bezogene

Druckverlust wird dabei mit 0,001 bar/m angesetzt. Die notwendige Druckdifferenz für die Hausstationen wird auf 1 bar festgelegt [Nussbaumer 2017]. Die Druckverluste $\Delta p_{HS,SP}$ in der Hausstation (indirektes System) werden mit 100 mbar für den Wärmetauscher und 100 mbar für das primärseitige Regelventil angesetzt.

Auf Basis der gesetzten Randbedingungen kann die Druckverlustberechnung im Schlechtpunkt anhand Gleichung (2) vorgenommen werden.

$$\Delta p_{SP} = \Delta p_{L,SP} + \Delta p_{HS,SP} \tag{2}$$

Δp_{SP}	Druckverlust am Schlechtpunkt des Nahwärmenetzes
$\Delta p_{L,SP}$	Druckverlust aufgrund der Rohrleitungen und Formstücke auf dem Versorgungsstrang bis zum Schlechtpunkt
$\Delta p_{HS,SP}$	Summe aus dem Druckverlust an der Hausstation des Schlechtpunktes (Wärmetauscher und Regelventil) und der notwendigen Druckdifferenz

Die notwendige elektrische Leistung für die Netzpumpe des Nahwärmenetzes ergibt sich aus dem Druckverlust des Nahwärmenetzes im Schlechtpunkt und dem Wirkungsgrad der Netzpumpe. Die Berechnung für die Modellierung erfolgt gemäß Gleichung (3).

$$P_{Pumpe} = \frac{\Delta p_{SP} \cdot \dot{V}}{\eta_{Pumpe} \cdot \rho_w} \tag{3}$$

P_{Pumpe}	Leistung der Netzpumpe des Nahwärmenetzes
Δp_{SP}	Druckverlust am Schlechtpunkt des Nahwärmenetzes
$\dot{V}$	Volumenstrom zur Deckung des max. Leistungsbedarfs der Wärmeabnehmer im Nahwärmenetz
η_{Pumpe}	Gesamtwirkungsgrad der Netzpumpe. (Hier angesetzt mit 0,6)
ρ_w	Rohdichte des Wärmeträgermediums (Hier Wasser ohne Frostschutz)

Der monatliche Energiebedarf für die Wärmenetzpumpe nach [Nussbaumer 2017] kann über die Volllaststunden der angeschlossenen Wärmeverbraucher entsprechend Gleichung (4) ermittelt werden.

$$Q_{Pumpe} = \frac{\sum_{mth=1}^{12}\left(Q_{Heiz,mth} + Q_{TWW,mth}\right)}{\sum_{i=1}^{n} P_{HS,i}} \cdot P_{Pumpe} \tag{4}$$

Q_{Pumpe}	Jahresenergiebedarf der Netzpumpe
$Q_{Heiz,mth}$	Monatlicher Wärmebedarf im Nahwärmenetz für Heizung
$Q_{TWW,mth}$	Monatlicher Wärmebedarf im Nahwärmenetz für Trinkwarmwasser

$P_{HS,i}$	Auslegungsanschlussleistung der Hausstation eines einzelnen Wärmeabnehmers
n	Anzahl der Wärmeabnehmer

3.2 Eigenstromerzeugung

In „Klimaneutral Easy“ wird für die Eigenstromerzeugung eine Gutschrift gewährt, indem der erzeugte Strom mit dem Emissionsfaktor für Strom multipliziert wird und die daraus resultierende Menge an CO_2-Äquivalenten von den gesamten Treibhausgasemissionen abgezogen und somit nicht mehr kompensiert werden muss. Die Berechnung der Gutschrift erfolgt unabhängig davon, ob der Strom in das öffentliche Netz eingespeist wird oder selbst genutzt wird.

3.2.1 Photovoltaik

Für die Berechnung des PV-Potenzials wird davon ausgegangen, dass bei Einfamilienhäusern, Reihenhäusern und kleinen Mehrfamilienhäusern mit Satteldach 40 % und bei großen Mehrfamilienhäusern und Hochhäusern mit Flachdach 50 % der Dachflächen für die Installation von Photovoltaik nutzbar sind (vgl. [Schmidt 2010], [Lödl 2010], [Stetz 2012], [Wirth 1.3.2023; Wirth 2023]). Bei Versorgungskonzepten, die eine solarthermische Unterstützung entweder zur Trinkwarmwassererwärmung oder zur Heizungsunterstützung vorsehen, reduziert sich die für Photovoltaikmodule zur Verfügung stehende Dachfläche um die Fläche der solarthermischen Kollektoren.

Die spezifische Leistung der PV-Module wird mit 182 W_p/m^2 angesetzt (vgl. Standardwerte in Teil 10 der DIN V 18599:2018-09 Tabelle B.2 [Beuth 2018])

Der standortspezifische Ertragswert wird über die Solareinstrahlung entsprechend der in Anhang E vom Teil 10 der DIN V 18599:2018-09 [Beuth 2018] aufgeführten Strahlungsintensität der jeweiligen Klimaregion ermittelt.

3.2.2 Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

In Abhängigkeit des Gebäudetyps werden verschiedene Kennwerte für die KWK-Systeme hinterlegt. Für Einfamilienhäuser (EFH), Reihenhäuser (RH) und Mehrfamilienhäuser (MFH) werden Mikro-BHKW eingesetzt mit einer geringeren Stromkennzahl, aber einem höheren Deckungsanteil. Dies entspricht den Standardwerten nach DIN V 18599:2018-09, für Mikro-KWK mit einer thermischen Leistung von 20 kW und weniger. In Tabelle 11 sind die für die Berechnung verwendeten Werte aufgeführt.

Tabelle 11:
Kennwerte KWK.

Gebäudetypen	KWK-Deckungsanteil	Stromkennzahl	Elektrischer Wirkungsgrad	Thermischer Wirkungsgrad	Leistungsanteil KWK
EFH, RH, MFH	0,8	0,35	0,21	0,6	35 %
GMH, HH	0,6	0,7	0,35	0,5	35 %

3.3 Wärmenetz

Die energetische Bewertung der Systeme mit Nahwärmenetz wird nach der Methodik entsprechend nach [Schrade 2022] berechnet. Die Wärmeverluste des Verteilnetzes werden in Abhängigkeit von Betriebstemperatur, Bodentemperatur, Netzlänge und längenbezogenem Wärmedurchgangskoeffizient der Rohrleitungen auf stündlicher Basis berechnet. Die Betriebstemperatur des Wärmenetzes wird vereinfachend aus den Temperaturanforderungen der angeschlossenen Gebäude in Abhängigkeit der flächenspezifischen Heizlast abgeleitet. Die Vorlauftemperatur des Nahwärmenetzes wird unter der Annahme eines 3-grädigen Wärmetauschers in der Hausübergabestation modelliert. Bei kalten Nahwärmenetzen wird die Vorlauftemperatur gemäß der monatlichen Quellentemperatur der angeschlossenen Wärmequelle modelliert.

Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient der Nahwärmeleitungen wird anhand [Isoplus 2012] für starre KMR-Metallrohre mit 1x-verstärkter PUR-Dämmung für die verschiedenen Rohrabmessungen über die nachfolgende lineare Regression in Gleichung (5) abgebildet.

$$\frac{U_L}{W/_{mK}} = 0{,}000407 \cdot DN + 0{,}166917 \qquad (5)$$

U_L: Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Nahwärmenetzleitung
DN: Angabe der Nennweite der Nahwärmenetzleitung [-]

Die Betriebstemperatur im Nahwärmenetz kann, je nach Versorgungskonzept, außentemperaturabhängig geführt werden. Deshalb wird diese für die Modellierung monatlich gemäß Gleichung (6) [Nussbaumer 2017] berechnet:

$$\vartheta_{Netz} = \frac{\vartheta_{VL} + \vartheta_{RL} + \Delta\vartheta_{VL,SP}}{2} \qquad (6)$$

ϑ_{Netz}: Betriebstemperatur des Nahwärmenetzes [°C]
ϑ_{VL}: Vorlauftemperatur des Nahwärmenetzes [°C]
ϑ_{RL}: Rücklauftemperatur des Nahwärmenetzes [°C]
$\Delta\vartheta_{VL,SP}$: Temperaturveränderung im Vorlauf des Nahwärmenetzes am

Schlechtpunkt aufgrund von Wärmeaustausch mit dem umgebenden Erdreich [°C]

Die Wärmeverluste der Nahwärmenetzleitung kühlen das Wärmeträgermedium beim Transport aus. Dies geschieht sowohl in der Vorlauf- als auch in der Rücklaufleitung. Für den Betrieb des Nahwärmenetzes ist die Auskühlung des Vorlaufs entscheidend, da am Schlechtpunkt die garantierte Vorlauftemperatur bereitgestellt werden muss. Der berechnete Temperaturabfall bis zum Schlechtpunkt muss also durch höhere Vorlauftemperaturen an der Heizzentrale ausgeglichen werden, was wiederum die Wärmeverluste und eventuell die Effizienz des Wärmeerzeugers beeinflusst. Der Temperaturabfall bis zum Schlechtpunkt wird daher in Anlehnung an [Nussbaumer 2017] gemäß Gleichung (7) berechnet:

$$\Delta\vartheta_{VL,SP} = \vartheta_{VL} - \left[\vartheta_{Bo} + (\vartheta_{VL} - \vartheta_{Bo}) \cdot e^{-\frac{U_L \cdot L_{SP}}{c_W \cdot \dot{m}_W}}\right] \quad (7)$$

$\Delta\vartheta_{VL,SP}$	Temperaturveränderung im Vorlauf des Nahwärmenetzes am Schlechtpunkt aufgrund von Wärmeaustausch mit dem umgebenden Erdreich [°C]
ϑ_{VL}	Vorlauftemperatur im Nahwärmenetz am Gebäude [°C]
ϑ_{Bo}	Erdreichtemperatur in einem Meter Tiefe [°C]
U_L	Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Nahwärmenetzleitung
L_{SP}	Länge der Nahwärmenetzleitung bis zum Schlechtpunkt (hier: pauschal 2/3 von der gesamten Netzlänge L_{Netz})
$\dot{m}_W$	Erforderlicher Massenstrom zur Deckung des max. Leistungsbedarfs der Wärmeabnehmer
c_W	Spezifische Wärmekapazität des Wärmeträgermediums (hier: Wasser ohne Frostschutz)

Fernwärmeleitungen werden gemäß DIN 1998:2018-07 mit einer Überdeckung von mindestens einem Meter unter öffentlichen Verkehrswegen eingebaut. Die Erdreichtemperatur $\vartheta_{Bo,mth}$ wurde für die TRY-Datensätze über ein Regressionsmodell abgebildet, welches auf den mehrjährigen Messungen der Boden- und Lufttemperatur an den Referenzklimastationen basiert. Die sich so ergebenden Bodentemperaturen in einem Meter Tiefe sind als Monatswert in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12:
Monatsmittelwert der Bodentemperatur in einem Meter Tiefe für die unterschiedlichen Klimaregionen.

		Bodentemperatur in 1 m Tiefe [°C]														
		TRY1	TRY2	TRY3	TRY4	TRY5	TRY6	TRY7	TRY8	TRY9	TRY 10	TRY 11	TRY 12	TRY 13	TRY 14	TRY 15
Monat	1	5,0	4,8	5,2	3,5	5,7	4,8	4,0	3,6	4,3	4,2	2,8	6,1	4,0	4,5	3,8
	2	4,2	3,9	4,4	2,8	4,6	3,6	4,7	3,2	3,5	3,6	2,5	5,4	2,9	4,2	3,0
	3	5,6	5,0	5,4	4,6	6,2	4,2	5,2	3,1	4,3	4,3	1,8	6,7	4,3	4,5	4,6
	4	8,8	8,2	7,9	8,4	8,6	6,2	7,6	4,7	6,9	6,1	2,7	9,4	6,6	6,1	7,5
	5	13,0	12,5	11,3	13,4	12,0	9,5	11,8	8,2	10,6	9,6	5,6	13,8	10,4	9,6	11,3
	6	16,3	16,0	14,3	17,1	14,9	12,5	14,6	11,3	13,9	12,7	8,4	17,2	13,8	12,8	14,7
	7	18,4	18,4	16,9	20,1	17,7	15,1	16,5	13,8	16,4	15,2	10,9	19,8	16,6	15,6	17,2
	8	18,7	18,6	17,6	20,1	18,3	16,1	17,3	14,7	17,2	16,1	11,7	20,4	17,4	16,4	17,6
	9	16,4	16,2	15,5	16,6	16,2	14,8	16,7	13,4	15,1	14,0	10,4	18,3	15,0	14,6	15,2
	10	13,0	12,8	12,6	12,7	13,6	12,4	14,6	11,2	12,4	11,5	8,5	15,3	13,1	12,4	12,3
	11	9,3	9,0	9,4	8,7	10,7	9,2	9,1	7,9	8,8	8,4	5,8	11,2	11,0	9,4	9,0
	12	6,0	5,7	6,2	4,3	6,9	6,4	5,2	5,2	5,5	5,5	3,9	7,8	5,3	6,0	5,3

In Abhängigkeit der Betriebstemperaturen im Nahwärmenetz können über dessen Länge Wärmeverluste oder -gewinne auftreten. Um diese bei der Modellierung des Nahwärmenetzes zu berücksichtigen, werden diese gemäß Gleichung (8) berechnet.

$$Q_{Loss,win} = (L_{Netz} \cdot 2 \cdot U_{TR} + L_{HA} \cdot 2 \cdot U_{HA}) \cdot (\vartheta_{Netz} - \vartheta_{Bo}) \cdot t \qquad (8)$$

$Q_{Loss,win}$	Wärmeverluste bzw. -gewinne der Nahwärmenetzleitungen
L_{Netz}	Länge der Verteilleitungen des Nahwärmenetzes
U_{TR}	Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Verteilleitungen des Nahwärmenetzes
L_{HA}	Länge der Hausanschlussleitungen des Nahwärmenetzes
U_{HA}	Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Hausanschlussleitungen des Nahwärmenetzes
ϑ_{Netz}	Betriebstemperatur des Nahwärmenetzes [°C]
ϑ_{Bo}	Erdreichtemperatur in einem Meter Tiefe [°C]
t	Zeiteinheit

3.3.1 Gleichzeitigkeit

Die Dimensionierung der zentralen Wärmeerzeuger erfolgt unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit des Wärmebedarfs. Die Gleichzeitigkeitsfaktoren werden gemäß [Winter 2001] mit Gleichung (9) berechnet.

$$GLF(n) = a + \frac{b}{1 + \left(\frac{n}{c}\right)^d} \qquad (9)$$

a	Parameter der Näherungsfunktion (a = 0,4497)
b	Parameter der Näherungsfunktion (b = 0,5512)
c	Parameter der Näherungsfunktion (c = 53,8438)
d	Parameter der Näherungsfunktion (d = 1,7627)
n	Anzahl der Abnehmer

Um zu verhindern, dass die Gleichzeitigkeit überbewertet wird, wenn ein Großwärmeverbraucher (z. B. Typgebäude HH) zusammen mit mehreren Kleinwärmeverbrauchern (z. B. Typgebäude EFH) an einem Nahwärmenetz angeschlossen sind, wird die Gleichzeitigkeit für unterschiedliche Gebäudekategorien separat bestimmt. Die Aufteilung der Gruppen erfolgt dabei anhand der erforderlichen Wärmeleistung der Gebäude (vgl. [Winter 2001]).

3.3.2 Wärmelastprofile

Um die prozentuale Verteilung der Wärmebereitstellung für unterschiedliche Wärmeerzeuger und die Anteile von Spitzenlastkesseln innerhalb eines Versorgungskonzepts bewerten zu können, müssen Wärmelastgänge für das jeweilige Wohnquartier angesetzt werden. Hierzu wurden für die Typgebäude Heizkurven in stündlicher Auflösung mittels thermischer Gebäudesimulation mit der Software „TRNSYS 17“ [Transsolar 2010] berechnet. Als

Wetterdaten wurden die Testreferenzjahre des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet. Aus der Kombination der möglichen Variationen (5 Typgebäude, 4 Baualtersklassen und 15 Wetterdatensätze) ergeben sich insgesamt 300 stundengenaue Heizkurven. Für den Lastgang der Trinkwarmwasserbereitung wurden typische Trinkwarmwasserprofile für Wohngebäude mit der Software „DHWCalc“ [Jordan 2017] angesetzt.

Das Quartierslastprofil ergibt sich aus der Summe der einzelnen Heizlast- und Trinkwarmwasserprofile der verschiedenen Typgebäude im Wohnquartier. Die Zusammensetzung der Typgebäude wird durch den Siedlungstyp definiert.

3.3.3 Zusätzliche Berechnungsmodelle

Die zentralen Versorgungskonzepte basieren auf den Ergebnissen der Gebäudemodellierung. Für Erzeuger, die in der DIN V 18599:2018-09 nicht enthalten sind, werden Berechnungsmodelle gemäß [Schrade 2022] herangezogen, die an die Norm angepasst wurden. Nachfolgend werden diese kurz erläutert.

Großwärmepumpe

Die Modellierung von Großwärmepumpen berücksichtigt die Leistungszahl (COP) in Abhängigkeit des Temperaturhubs basierend auf [Arpagaus 2019] mit der Gleichung (10):

$$\mathrm{COP_H} = 68{,}455 \cdot \Delta \mathrm{T_{Hub}^{-0{,}76}} \qquad (10)$$

$\mathrm{COP_H}$ Leistungszahl im Heizfall
$\Delta \mathrm{T_{Hub}}$ Temperaturhub von Wärmequelle zu Wärmesenke [K]

Diese Formel basiert auf Herstellerangaben, die unter Laborbedingungen gemessen wurden. Zur Anpassung an reale Betriebsbedingungen werden die mit der Formel ermittelten Leistungszahlen anhand der Wärmepumpen-Feldstudie [Miara 2011] im Vergleich zu Prüfstandsdaten korrigiert. Der Strombedarf der Wärmepumpen wird als prozentualer Anteil des Strombedarfs der Wärmepumpen mit 4,8 % für Sole-Wasser-Wärmepumpen und 11,4 % für Wasser-Wasser-Wärmepumpen angesetzt (vgl. [Miara 2011]).

Abwasserwärmerückgewinnung

Für die Berechnung der Abwasserwärmerückgewinnung wird das Verfahren nach DIN V 18599-5:2018-09 für Sole-Wasser-Wärmepumpen angewendet. Abweichend von der Norm werden die Quelltemperatur und die mittlere Soletemperatur auf Basis konkreter Messungen im Projekt „Neckarpark“ festgelegt (vgl. [Görres 2017]).

Agrothermiefeld

Die Dimensionierung der Erdwärmekollektoren erfolgt gemäß [Ramming 2007]. Hierbei werden die optimalen Verlegeabstände und Entzugsleistungen abhängig vom Standort und der Bodenart ermittelt. In „Klimaneutral Easy“ wird die Bodenart vereinfachend als Lehm angenommen, was einer mittleren Entzugsleistung entspricht.

Solarthermiefeld

Die Auslegung des Solarthermiefeldes erfolgt nach [Heidemann 2005] mit 1,6 m² Kollektorfläche pro MWh/a Wärmebedarf und 1,2 m³ Speichervolumen pro m² Kollektorfläche. Die Kollektoren sind mit einer Neigung von 35° nach Süden ausgerichtet. Als Wärmeträgermedium wird ein Wasser-Glykol-Gemisch verwendet. Pro Kollektor wird eine oberirdische Anschlussleitungslänge von 0,3 m² angenommen. Die Temperatur des Solarkreis-Wärmetauschers wird mit 5 K modelliert.

Für die Ertragsberechnung wurde das Tool „ScenoCalc Fernwärme“ [Solites 2017] genutzt. Die Datenbasis bildeten das Testreferenzjahr des Deutschen Wetterdienstes (DWD) sowie siedlungstypabhängige Wärmelastprofile (siehe Kapitel 3.3.2).

4 Treibhausgasemissionen

4.1 Definition Klimaneutralität und Bilanzrahmen

Das Ziel der Klimaneutralität wird im Tool definiert als das Erreichen einer ausgeglichenen Jahresbilanz der Treibhausgasemissionen, die durch den Betrieb von Gebäuden (Heizung und Stromversorgung einschließlich Nutzerstrom) freigesetzt werden. Hierfür werden die Treibhausgase in eine entsprechende Menge an CO_2-Äquivalenten umgerechnet. Die erstellte Bilanz basiert auf der Methodik der Verursacherbilanz, bei der die Endenergieverbräuche ermittelt und mit energieträgerspezifischen Emissionsfaktoren, die die Vorkettenemissionen berücksichtigen, verrechnet werden, um die Treibhausgasemissionen zu bestimmen [Hertle 2019]. Für den eingespeisten Strom aus PV wird eine Gutschrift gewährt, indem die Menge des eingespeisten PV-Stroms mit dem Emissionsfaktor für Strom multipliziert und von der Gesamtmenge der Treibhausgasemissionen abgezogen wird. Analog dazu wird für den in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Strom eine Gutschrift gewährt.

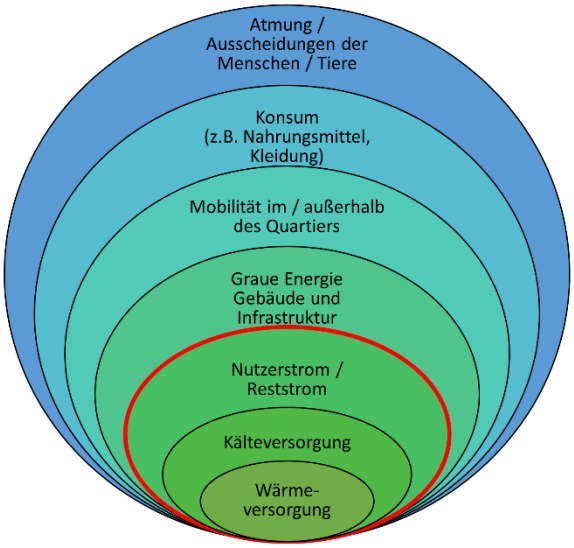


Bild 6:
Grafische Darstellung verschiedener Bilanzrahmen für die Betrachtung von Treibhausgasemissionen.

In Bild 6 wird mit einer roten Linie der allgemeine Bilanzrahmen dargestellt, der berücksichtigt wird. Die Treibhausgasemissionen im Zusammenhang mit der grauen Energie, der Mobilität, dem Konsum und der Atmung der Bewohner werden in dieser Bilanzierung nicht berücksichtigt.

4.2 Emissionsfaktoren

Treibhausgasemissionsfaktoren geben an, wieviel Treibhausgas, ausgedrückt in Gramm CO_2-Äquivalenten, pro kWh Endenergieverbrauch für die verschiedenen Energieträger emittiert werden. Die in „Klimaneutral Easy“

verwendeten Emissionsfaktoren für Gas, Pellets, Heizöl und Hackschnitzel stammen aus Tabelle A1 der DIN V 18599-1:2018-09 [Beuth 2018]. Die Emissionsfaktoren zusammen mit den Quellenangaben sind in Tabelle 13 aufgelistet. Für die Berechnung wird der prognostizierte Faktor für das Jahr 2030 verwendet, um die zeitliche Entwicklung zu berücksichtigen.

Tabelle 13:
Emissionsfaktoren der eingesetzten Energieträger.

Energieträger	THG-Faktor 2030 in g/kWh	Quelle
Strom	270	[IINAS 2020]
Gas	240	[Beuth 2018]
Fernwärme (konventionell)	168	[Fritsche 2008]
Fernwärme (erneuerbar)	60	[Fritsche 2008]
Pellets	40	[Beuth 2018]
Heizöl	310	[Beuth 2018]
Hackschnitzel	40	[Beuth 2018]

5 Monetäre Bewertung

5.1 Investitionskosten

Die Investitionskosten setzen sich zusammen aus den energetisch bedingten Kosten für bauliche Maßnahmen an der Gebäudehülle und für technische Maßnahmen an der Lüftungstechnik, aus den Kosten für den Aufbau einer zentralen oder dezentralen Wärmeversorgung sowie den Kosten für die Installation von Photovoltaik. Sämtliche Kosten werden als Bruttokosten ausgewiesen und mit Hilfe der Baupreisindizes auf das Basisjahr 2023 umgerechnet. Es besteht die Möglichkeit, den aktuellen Baupreisindex anzugeben, um die Kosten auch auf ein anderes Niveau zu heben. Planungskosten und Baunebenkosten sind in den ausgewiesenen Investitionskosten nicht enthalten. Gleichung (11) zeigt die Berechnung der Investitionskosten K_{Inv}.

$$K_{Inv} = K_{Baulich} + K_{Lüftung} + K_{Erzeuger} + K_{PV} + K_{Wärmenetz} \quad (11)$$

$K_{Baulich}$	Kosten für den baulichen Wärmeschutz
$K_{Lüftung}$	Kosten für die Belüftungssysteme
$K_{Erzeuger}$	Kosten für die Wärmeerzeuger und dazugehörigen Komponenten
K_{PV}	Kosten für die Installation von Photovoltaik-Modulen auf dem Dach
$K_{Wärmenetz}$	Kosten für das Verlegen des Wärmenetzes

5.1.1 Baupreisindizes

Der Baupreisindex misst die durchschnittliche Preisentwicklung für den Neubau und die Instandhaltung von Wohn- und Gewerbebauten. Dabei wird der Neubauwert ins Verhältnis zum Bezugsjahr der einzelnen Kosten gesetzt. Mit diesem Index werden die Investitionskosten auf das Niveau zukünftiger Jahre angehoben. Das im Tool hinterlegte Basisjahr für den Baupreisindex ist 2015 = 100, aktuelle Baupreisindizes befinden sich in der Genesis-Datenbank des statistischen Bundesamtes [Destatis 2024].

5.1.2 Regionalfaktor

Durch Eingabe einer Postleitzahl werden regionale Kostenunterschiede berücksichtigt, indem Regionalfaktoren des Baukosteninformationszentrums [BKI 2022] angewendet werden. Das BKI hat zusätzlich Verfahren entwickelt, um diese Daten auf Plausibilität zu prüfen und anzupassen. Für „Klimaneutral Easy“ wird der Mittelwert der jährlich veröffentlichten BKI Stadt-/Landkreisfaktoren der Jahre 2011–2022 verwendet.

5.1.3 Bauliche Kosten für den Wärmeschutz

Die Bauteilkosten (brutto, Bezugsjahr 2011) für die baulichen Komponenten der opaken Gebäudehülle werden nach [BBSR 2017] in Abhängigkeit des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) der Bauteile berechnet. Bei den

Fenstern werden die Kostenfunktionen (brutto, Bezugsjahr 2015) nach [Hinz 2015] verwendet. Dabei wird zwischen Fenstern für kleine Wohngebäude (EFH, RH) und für große Wohngebäude (MFH, GMH und HH) unterschieden. Die angesetzten Kostenkennwerte können Tabelle 14 entnommen werden.

Tabelle 14:
Kostenkennwerte [€/m²$_{Btl.}$] für opake Bauteile (brutto, Bezugsjahr 2015) [BBSR 2017] und Fenster (brutto, Bezugsjahr 2011) [Hinz 2015].

Bauteil	**Kostenkennwert [€/m²$_{Btl.}$]**		
	EH 100-Anforderung	EH 55-Anforderung	EH 40-Anforderung
Wand	162	174	199
Dach	201	218	238
Boden	121	131	142
Fenster (EFH, RH)	382	438	604
Fenster (MFH, GMH, HH)	366	420	575

Btl. Bauteil

5.1.4 Kosten für die Lüftung

Die Kosten für Lüftungsanlagen (brutto, Bezugsjahr 2015) werden nach [Hinz 2015] in Abhängigkeit der mittleren Wohnfläche je Wohneinheit berechnet. Die sich daraus ergebenden Kostenkennwerte können Tabelle 15 entnommen werden.

Tabelle 15:
Kostenkennwerte Lüftung [Hinz 2015].

	Kostenkennwerte Lüftung (Brutto, 2015) [€/m²$_{Wfl.}$]				
	EFH	**RH**	**MFH**	**GMH**	**HH**
Abluft	20,6	28,9	40,7	42,2	43,9
Zuluft	60,7	71,0	83,3	84,8	86,3

Wfl. Wohnfläche

5.1.5 Kosten für Energieerzeuger und Komponenten

Die Investitionskosten für Wärmeerzeuger werden auf Basis von Kostenkennwerten aus der Literatur gebildet. Die Kosten umfassen den Wärmeerzeuger sowie die anlagentechnische Peripherie, inkl. thermische Speicher, Armaturen und Verrohrung für eine kombinierte Trinkwarmwassererwärmung. Die Leistungsbereiche bzw. die Abgrenzung von kleinen zu großen Wärmeerzeugern wurde so gegenüber der Angabe aus der Primärquelle modifiziert, dass eine stetige Kostenfunktion gebildet wird.

Tabelle 16:
Kostenkennwerte für Wärmeerzeuger (brutto).

Wärmeerzeuger	Leistungs-bereich	Kostenfunktion In $€_{Bezugsjahr}$	Bezugsjahr	Quelle
Brennwertkessel	≤ 9 kW_{th}	$55{,}912 \times P_{th} + 4.880{,}9$	2015	[BBSR 2017]
	> 9 kW_{th}	$581{,}96 \times P_{th}^{0{,}6813} + 3.419{,}5 \times P_{th}^{0{,}7028} - 2.531{,}1 \times P_{th}^{0{,}7508}$	2015	[BBSR 2017]
Biomassekessel	≤ 13 kW_{th}	$119{,}89 \times P_{th} + 18.750$	2015	[BBSR 2017]
	> 13 kW_{th}	$3.419{,}5 \times P_{th}^{0{,}7028}$	2015	[BBSR 2017]
Luft-Wasser-Wärme-pumpe	≤ 30 kW_{th}	$-18{,}288 \times P_{th}^{2} + 1.538{,}2 \times P_{th} + 3.477{,}8$	2015	[BBSR 2017]
	> 30 kW_{th}	$1.727{,}9 \times P_{th}^{0{,}8422} \times 1{,}1$	2015	[Fraunhofer IBP 2018]
Abluft-Wärmepumpe	≤ 34 kW_{th}	$-18{,}288 \times P_{th}^{2} + 1.538{,}2 \times P_{th} + 3.477{,}8) \times 0{,}8$	2015	[Fraunhofer IBP 2018]
	> 34 kW_{th}	$1.727{,}9 \times P_{th}^{0{,}8422} \times 1{,}1 \times 0{,}8$	2015	[Fraunhofer IBP 2018]
Sole-Wasser-Wärme-pumpe (B0)	≤ 34 kW_{th}	$696{,}98 \times P_{th} + 10.013$	2015	[BBSR 2017]
	> 34 kW_{th}	$1.727{,}9 \times P_{th}^{0{,}8422}$	2015	[BBSR 2017]
Sole-Wasser-Wärme-pumpe (B-15)	≤ 34 kW_{th}	$(696{,}98 \times P_{th} + 10.013) \times 1{,}8697 \times P_{th}^{-0{,}096}$	2015	[Waterkotte 2020]
	> 34 kW_{th}	$(1.727{,}9 \times P_{th}^{0{,}8422}) \times 1{,}8697 \times P_{th}^{-0{,}096}$	2015	[Waterkotte 2020]
PVT-Kollektoren	≤ 50 kW_{th}	$1.605{,}7 \times P_{th}^{-0{,}151} \times P_{th}$	2020	[Consolar 2020]
	> 50 kW_{th}	$(857{,}1 \times P_{th} + 13.280) \times 0{,}8$	2020	[Consolar 2020]
Wasser-Wasser-Wärme-pumpe	≤ 34 kW_{th}	$(696{,}98 \times P_{th} + 10.013) \times 1{,}2507 \times P_{th}^{-0{,}175}$	2015	[Wülbeck 2016]
	> 34 kW_{th}	$(1.727{,}9 \times P_{th}^{0{,}8422}) \times 1{,}2507 \times P_{th}^{-0{,}175}$	2015	
Fernwärmeanschluss (*)	-	$1.961 \times P_{th}^{-0{,}6781} \times P_{th}$	2010	[Wolff 2011]
BHKW	≤ 100 kW_{el}	$6.574{,}8 \times P_{el}^{0{,}649}$	2015	[BBSR 2017]
	> 100 kW_{el}	$5.932{,}8 \times P_{el}^{0{,}648}$	2015	[BBSR 2017]
Brennstoffzelle(**)		29.000	2021	[Ritz 2021]

P_{th} Thermische Leistung
P_{el} Elektrische Leistung
B (engl.) *Brine* = Sole
B0 und B-15 beschreibt die Wärmequellentemperatur in °C
(*) Beinhaltet Planungskostenzuschlag
(**) Brennstoffzelle als Festpreis von 29.000 $€_{2021}$

Tabelle 17:
Kostenkennwerte zusätzlicher Komponenten für die Energiebereitstellung (brutto).

Komponente	Leistungs-bereich	Kostenfunktion In $€_{Bezugsjahr}$	Bezugsjahr	Quelle
Erschließung Abwasserwärme	-	$5.486{,}22 \times P_{th}^{0{,}6957} \times 1{,}19$	2017	[Schuler 2011]
Erschließung Agrothermie	-	$30{,}4267 \times L_{Agrothermie}^{0{,}08968} \times L_{Agrothermie} \times 1{,}19$	2020	[Frank 2020]
Saisonaler Solarspeicher	-	$4.992{,}2 \times V_{Speicher}^{0{,}417} \times 1{,}343 \times V_{Speicher} \times 1{,}19$	2020	[Mangold 2007]
Wärmenetztrasse Frei-fläche (Neubau)	-	$0{,}0031 \times DN^2 + 1{,}4030 \times DN + 238{,}222) \times L_{Trasse} \times 1{,}19$	2021	[Dunkelberg 2018]
Wärmenetztrasse Asphalt (Bestand)	-	$(295{,}1196 \times e^{0{,}004983 \times DN}) \times L_{Trasse}$	2020	[Pehnt 2017]
Kalte Nahwärme-netztrasse	-	$(0{,}001825 \times DN^2 + 1{,}2846 \times DN + 178{,}7003) \times L_{Trasse} \times 1{,}19$	2014	[Dunkelberg 2018]
Photovoltaik-Module	-	$(-100{,}176 \times \ln(P_{el}) + 1.416{,}038) \times P_{el}$	2019	[Kelm 2019]
Solarthermie-Anlage auf Freiflächen	-	$701{,}37 * A_{Kollektor}^{-0{,}11233} \times A_{Kollektor}$	2017	[Pehnt 2017] [Grimm 2018]
Hydraulik für Solarthermie	-	$0{,}1 \times (A_{Kollektor} + V_{Speicher})$		Schätzung
Solare Trinkwarmwas-serbereitung	-	$-2.171{,}1 \times A_{Kollektor}^{-0{,}499} \times A_{Kollektor}$	2015	[Hinz 2015]
Solare Heizungsunter-stützung	-	$-2.171{,}1 \times A_{Kollektor}^{-0{,}499} \times A_{Kollektor} \times 1{,}05$	2015	[Hinz 2015]
Erdsonden	$\leq 50\ kW_{th}$	$1.122{,}4 \times P_{th} + 914{,}4$	2015	[BBSR 2017]
	$> 50\ kW_{th}$	$857{,}1 \times P_{th} + 13.280$	2015	[BBSR 2017]
Erdkollektoren	$\leq 50\ kW_{th}$	$(1.122{,}4 \times P_{th} + 914{,}4) \times 0{,}6$	2015	[Wülbeck 2016])
	$> 50\ kW_{th}$	$(857{,}1 \times P_{th} + 13.280) \times 0{,}6$	2015	[Wülbeck 2016]

$L_{Agrothermie}$ Länge des Agrothermiekollektors
$V_{Speicher}$ Volumen des thermischen Speichers
DN Nominaldurchmesser der Wärmenetzrohre
L_{Trasse} Länge des Wärmenetzes in Trassenmetern

5.2 Energiekosten

Die Energiekosten K_{En} sind die Summe der Kosten zur Deckung der verschiedenen modellierten Endenergiebedarfe gemäß Gleichung (12).

$$K_{En} = K_{Heizen} + K_{TWW} + K_{GS} + K_{NS} + K_{PS} \quad (12)$$

K_{En}	Summe der anfallenden Energiekosten
K_{Heizen}	Energiekosten für die Beheizung des Gebäudes
K_{TWW}	Energiekosten für die Trinkwarmwassererwärmung
K_{GS}	Energiekosten für den Gebäudestrom
K_{NS}	Energiekosten für den Nutzerstrom
K_{PS}	Energiekosten für den Netzpumpenstrom

Die ausgewiesenen Energiekosten sind die mittleren jährlich anfallenden Kosten eines Betrachtungszeitraums. Unter Berücksichtigung einer jährlich konstanten Preissteigerung in diesem Zeitraum zeigt Gleichung (13), wie der Faktor der Preisänderung f_{Preis} berechnet wird. Dieser Faktor wird mit dem Ausgangspreis eines Energieträgers multipliziert, um die mittleren jährlich anfallenden Energiekosten zu erhalten.

$$f_{Preis} = \sum_{n=1}^{b} \frac{(1+\frac{x}{100})^n}{b} \tag{13}$$

f_{Preis}	Mittlerer Preisänderungsfaktor
b	Betrachtungszeitraum
x	Prozentuale jährliche Preisänderungsrate
n	Laufindex der Summe

5.3 Kompensationskosten

Die notwendigen externen Treibhausgaskompensationsmaßnahmen, die nach Abzug der vor Ort erzeugten Energien übrigbleiben, werden durch den Bewertungsfaktor Kompensationskosten K_{Komp} beschrieben. Die Treibhausgasemissionen (THG) werden in CO_2-Äquivalenten angegeben. Gleichung (14) zeigt die Zusammensetzung der Berechnung.

$$K_{Komp} = THG_{Heizen} + THG_{TWW} + THG_{GS} + THG_{NS} + THG_{PS} - El_{EE,Gutschrift}) \cdot K_{Klima} \tag{14}$$

K_{Komp}	Summe der Kompensationskosten
THG_{Heizen}	Treibhausgasemissionen als CO_2-Äquivalente für die Beheizung des Gebäudes
THG_{TWW}	Treibhausgasemissionen für die Trinkwarmwassererwärmung
THG_{GS}	Treibhausgasemissionen für den Gebäudestrom
THG_{NS}	Treibhausgasemissionen für den Nutzerstrom
THG_{PS}	Treibhausgasemissionen für den Netzpumpenstrom
$El_{EE,Gutschrift}$	Gutschrift für die Erzeugung von regenerativem Strom
K_{Klima}	Klimakosten von Treibhausgasemissionen [UBA 2023]

Für die Berechnung der Kompensationskosten werden die Empfehlungen des Umweltbundesamts zu den Klimakosten des Jahres 2030 entsprechend mit 253 $€_{2023}$ / t_{CO2} angesetzt [UBA 2023].

5.4 Jährliche Gesamtkosten

Die jährlichen Gesamtkosten K_{VWB} verstehen sich als volkswirtschaftliche Betrachtung. Hierfür werden die Investitionskosten über die Nutzungsdauer der jeweiligen Bauteile linear abgeschrieben (baulich 40 Jahre, technisch 20 Jahre) und mit den Energie- und Kompensationskosten aufsummiert sowie die Erträge aus dem Stromverkauf (Eigenverbrauch und Einspeisung) abgezogen. Gleichung (15) zeigt die Vorgehensweise.

$$K_{VWB} = K_{En} + K_{Komp} + \frac{K_{Inv}}{t_{Nutz}} - (Ertrag_{PV} + Ertrag_{KWK}) \qquad (15)$$

K_{VWB}	Jährliche Gesamtkosten als volkswirtschaftliche Betrachtung
K_{EN}	Summe der Energiekosten
K_{Komp}	Summe der Kompensationskosten
K_{Inv}	Summe der Investitionskosten
t_{Nutz}	Nutzungsdauer
$Ertrag_{PV}$	Erwarteter Geldertrag aus der Einspeisung von PV-Strom
$Ertrag_{KWK}$	Erwarteter Geldertrag aus der Einspeisung von KWK-Strom

6 Bewertung nach weichen Faktoren

Die Bewertung der weichen Faktoren erfolgt analog zu [Schrade 2022] qualitativ über die Nutzung eines dreistufigen Bewertungssystems: positiv, neutral und negativ. Die Ergebnistabelle kann nach den weichen Faktoren gefiltert werden, wodurch diese Versorgungskonzepte, die negativ in Bezug auf die ausgewählten weichen Faktoren bewertet sind, aus der Ansicht der Ergebnistabelle gefiltert werden. Es gibt die Option, die Bewertungstabelle mit der Filterung nach weichen Faktoren oder ohne der Filterung nach weichen Faktoren darzustellen.

Bild 7:
Filtermöglichkeit der weichen Faktoren als Einstellungen der Bewertungstabelle.

Zukunftsfähigkeit

Das Bewertungskriterium „Zukunftsfähigkeit“ bewertet die Chancen, ob das Versorgungskonzept mittel- bis langfristig aus politischer und wirtschaftlicher Sicht weiter betrieben werden kann. Außerdem bezieht dieses Bewertungskriterium die Begrenztheit der verwendeten Ressourcen und die Wichtigkeit des Versorgungskonzepts für die Transformation des Energiesystems mit ein.

Umsetzbarkeit

Die Anwendbarkeit des Versorgungskonzepts bei heterogenen Eigentümerstrukturen und in der Quartierssanierung wird im Bewertungskriterium „Umsetzbarkeit“ bewertet. Außerdem fließt der Platzbedarf in den versorgten Gebäuden, der zusätzliche Aufwand rechtlicher (z. B. bei Genehmigungen) oder technischer Art (z. B. bei der Umsetzung) mit ein.

Übertragbarkeit

Anhand des Bewertungskriteriums „Übertragbarkeit“ wird bewertet, inwieweit das Versorgungskonzept von spezifischen Standortbedingungen abhängig ist, wodurch die Übertragbarkeit auf andere Gebiete innerhalb derselben Stadt oder Region eingeschränkt sein könnte. Dabei werden Platzbedarfe, geologische Randbedingungen und städtische Randbedingungen (wie z. B. Verbrennungsverbote) betrachtet.

Erweiterbarkeit

Die „Erweiterbarkeit“ beschreibt das Potenzial des Versorgungskonzeptes, weitere Versorgungsnehmer mit aufzunehmen, ohne das größere Investitionen oder Platzbedarfe notwendig werden oder Abstriche bei der Klimafreundlichkeit auftreten.

Klimaanpassung

Bei der „Klimaanpassung“ wird bewertet, inwieweit das Versorgungskonzept das Potenzial hat, die angeschlossenen Gebäude zusätzlich möglichst einfach und regenerativ mit Kälte zu versorgen. Dabei wird bewertet, ob die Dachflächen für PV-Strom und Kühltürme zur Verfügung stehen, Freikühlpotenziale vorhanden sind oder die Möglichkeit besteht, reversible Wärmepumpen oder Absorptionskältemaschinen einzubinden.

Robustheit gegenüber Klimawandel

Unter dem Bewertungskriterium „Robustheit gegenüber Klimawandel“ werden die negativen und positiven Folgen des Klimawandels auf die Versorgungskonzepte betrachtet (steigende Außenlufttemperaturen, sinkende Grundwasserspiegel, usw.).

Netzdienlichkeit

Das Bewertungskriterium „Netzdienlichkeit“ beschreibt das Potenzial des Versorgungskonzeptes, einen dem Stromnetz dienlichen Betrieb zu ermöglichen. Einen Sonderfall bilden hier Wärmepumpen, die sowohl netzdienlich als auch netzadvers betrieben werden können.

Denkmalschutz

Der Denkmalschutz findet Berücksichtigung bei der historischen und kulturellen Bedeutung eines Gebäudes oder Objekts bei Bewertungs- und Entscheidungsprozessen, einschließlich der Maßnahmen zum Schutz und zur Pflege von Kulturdenkmalen.

Die qualitative Bewertung der weichen Faktoren ist in Tabelle 18 und Tabelle 19 dargestellt.

Tabelle 18:
Weiche Faktoren der dezentralen Versorgungskonzepte nach [Schrade 2022].

Bewertung weicher Faktoren		Zukunftsfähig-keit	Umsetzbar-keit	Übertrag-barkeit	Erweiterbarkeit	Klimaanpassung	Robustheit	Netzdienlichkeit	Denkmalschutz
Dezentrale Versorgungskonzepte	Luft-Wasser-WP	+	+	+	+	+/-	+	+/-	-
	Sole-Wasser-WP mit Erdsonden	+	o	o	o	+	o	+/-	+
	Sole-Wasser-WP mit PVT-Kollektoren	+	+	o	o	-	+	+/-	o
	Wasser-Wasser-WP	+	-	-	o	+	-	+/-	+
	Gas-BW-Kessel mit solarer TWW-Bereitung	-	+	+	+	-	o	o	o
	Gas-BW-Kessel mit solarer Heizungsunterstützung	-	+	+	+	-	o	o	o
	Gas-Brennwertkessel mit Abluft-WP	-	+	+	+	o	o	-	+
	Biomassekessel	-	o	-	o	o	-	o	+
	Biomassekessel mit solarer Trinkwarmwasserbereitung	-	o	-	o	-	-	o	o
	Biomassekessel mit solarer Heizungsunterstützung	-	o	-	o	-	-	o	o
	Gas-BHKW mit Gas-BW-Kessel	-	o	+	+	o	o	+	o

Tabelle 19:
Weiche Faktoren der zentralen Versorgungskonzepte nach [Schrade 2022].

	Bewertung weicher Faktoren	Zukunftsfähig-keit	Umsetzbar-keit	Übertrag-barkeit	Erweiterbarkeit	Klimaanpassung	Robustheit	Netzdienlichkeit	Denkmalschutz
Zentrale Versorgungskonzepte	Brennstoffzelle mit Gas-BW-Kessel	o	o	+	+	o	o	+	o
	Nahwärme Sole-Wasser-WP mit Erdson-den	+	+	o	o	o	o	+/-	+
	Nahwärme Sole-Wasser-WP mit Agrothermie	+	+	-	-	o	o	+/-	+
	Nahwärme Sole-Wasser-WP mit Abwas-serwärme	+	-	-	-	o	o	+/-	+
	Nahwärme Solarthermie mit saisonaler Speicherung und Gas-BHKW	-	+	-	+	o	o	+	+
	Nahwärme Hackschnitzel-BHKW mit Hackschnitzelkessel	-	+	-	+	o	-	+	+
	Nahwärme Solarthermie mit saisonaler Speicherung und Holzhackschnitzelkes-sel	-	+	-	+	o	-	o	+
	Kalte Nahwärme gespeist aus Erdsonden	+	-	-	-	+	o	+/-	+
	Kalte Nahwärme gespeist aus einem Agrothermiekollektor	+	-	-	-	+	o	+/-	+
	Kalte Nahwärme aus Abwasserwärme	+	-	-	-	+	o	+/-	+
	Fernwärme (konventionell)	-	+	-	+	o	o	o	+
	Fernwärme (nahezu klimaneutral)	+	+	-	+	o	o	o	+

7 Ergebnisausgabe

7.1 Klimaneutral Easy-Score

Zur Ermittlung des „Klimaneutral Easy-Scores“ einer Variante werden die Investitionskosten, Energiekosten, Kompensationskosten sowie die volkswirtschaftliche Betrachtung in Relation zu den anderen Varianten betrachtet, um das Perzentil zu ermitteln. Dabei wird eine Punktzahl von 1 bis 5 zugewiesen, die sich nach den prozentual günstigsten Kosten aufteilt. Die Bewertungsskala in Relation der für jede Kostenkategorie kostengünstigsten Variante (entspricht 100 %) sieht wie folgt aus:

$$1:\begin{cases}0\ \% \\ \vdots \\ 20\ \%\end{cases} \quad 2:\begin{cases}20\ \% \\ \vdots \\ 40\ \%\end{cases} \quad 3:\begin{cases}40\ \% \\ \vdots \\ 60\ \%\end{cases} \quad 4:\begin{cases}60\ \% \\ \vdots \\ 80\ \%\end{cases} \quad 5:\begin{cases}80\ \% \\ \vdots \\ 100\ \%\end{cases}$$

Die einzelnen Bewertungen werden zu einem „Klimaneutral Easy-Score“ aggregiert, der eine Gesamtbewertung der jeweiligen Variante ermöglicht und Werte zwischen 4 und 20 annehmen kann. Mit welchem Gewicht die einzelnen Kostenkategorien in die Berechnung einfließen, kann durch das Anpassen von Faktoren für die einzelnen Kostenkategorien n mit Werten zwischen 0 und 3 beeinflusst werden. Bei Gleichgewichtung erhalten alle Parameter denselben Gewichtungsfaktor. Die Auswahl des Faktors 0 bedeutet, dass der Parameter bei der Berechnung des „Klimaneutral Easy-Scores“ nicht berücksichtigt wird. Diese Funktion erlaubt es, unterschiedlichen Bewertungsperspektiven gerecht zu werden. Investoren legen größeren Wert auf die Investitionskosten, während für die Bewohner vor allem die Energiekosten von Bedeutung sind. Die Kompensationskosten spiegeln die anfallenden Treibhausgasemissionen wider und sind somit für eine Umweltbewertung relevant. Bild 8 zeigt die Möglichkeit zur Gewichtung des Klimaneutral Easy Scores.

Bild 8:
Eingabe des Gewichtungsfaktors des Klimaneutral Easy-Scores.

7.2 Bewertungstabelle

Nach Abschluss der Eingabe wird eine Bewertungstabelle erstellt, in der die verschiedenen Varianten als Kombination aus Versorgungskonzept und Gebäudestandard tabellarisch aufgelistet werden. Die Ergebniswerte umfassen den Klimaneutral Easy-Score, die Investitionen, die Energiekosten, die Kompensationskosten und die volkswirtschaftliche Betrachtung.

Die Ergebnisse der Tabelle können nach verschiedenen Bewertungskriterien sortiert werden, indem auf die jeweilige Spaltenüberschrift geklickt wird. So lassen sich die Bewertungen aus unterschiedlichen Perspektiven nachvollziehen: Für die Perspektive der Investoren kann nach der Spalte der Investitionskosten sortiert werden, für die Sicht der Bewohner nach der Spalte der Energiekosten. Bild 9 zeigt einen Ausschnitt der Ergebnisausgabe des Tools. Die Kosten lassen sich als absolute Werte oder auf die Nettoraumfläche der Gebäude bezogene Werte darstellen und nach den gewählten weichen Faktoren filtern. Für limitierende Faktoren, die mit „nicht bekannt“ beantwortet wurden, gibt es die Möglichkeit, diese entweder ein- oder auszublenden.

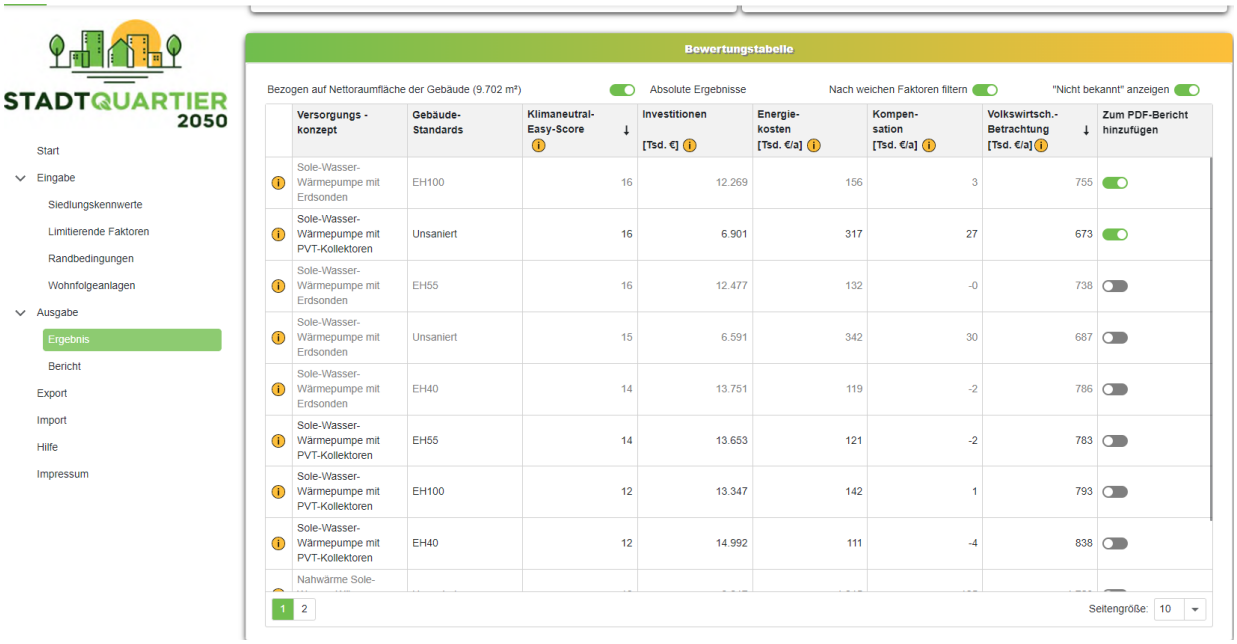


Bild 9:
Ausschnitt der Inhalte des Menüpunkts „Ergebnis“.

7.3 Ergebnisbericht

Die Nutzenden können Versorgungskonzepte auswählen und von diesen einen Bericht generieren lassen. Der Bericht führt erst die getätigten Eingaben und Randbedingungen auf und beinhaltet für die Ergebnisse auf einer Seite generelle Informationen zum vorgeschlagenen Versorgungskonzept, eine schematische Darstellung des Versorgungskonzepts sowie die verschiedenen Kosten. Auf einer weiteren Seite werden relevante Zwischenergebnisse, wie etwa der Endenergieverbrauch, die prognostizierten THG-Emissionen, die belegten Flächen durch PV-Module sowie die Wärmenetzlänge dargestellt.

Darüber hinaus befindet sich auf den weiteren Seiten die Bewertung anhand von weichen Faktoren wie z. B. die Zukunftsfähigkeit des Konzepts. Zudem enthält der Bericht die Gleichungen, die zur Kostenbewertung verwendet werden, sowie ausgewählte Teilergebnisse der Modellrechnungen, womit sich die ermittelten Ergebnisse nachvollziehen lassen. Bild 10 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt aus dem Ergebnisbericht für ein Nahwärmenetz mit Holzhackschnitzel-BHKW und Hackschnitzelkessel eines fiktiven Quartiers.

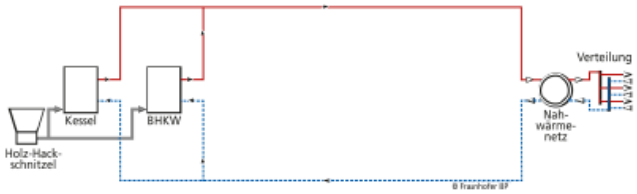
Ergebnisse Variante 1

Klimaneutral-Easy-Score	18,0

Nahwärme Hackschnitzel-BHKW mit Hackschnitzelkessel für Spitzenlast

Bestand: EH55 - Einfamilienhaussiedlung

Anlagenskizze:



Beschreibung des Versorgungskonzepts:

Bei diesem Versorgungskonzept werden ausschließlich Holzhackschnitzel als Energieträger eingesetzt. Die Grundlasterzeugung der Wärme erfolgt über ein Holzgas-BHKW mit einem Deckungsanteil von 25 %. Das dafür benötigte Holzgas wird von einem Holzvergaser bereitgestellt (ηVergaser = 88 %) und direkt dem Holzgas-BHKW zugeführt. Die sowohl im Holzvergaser als auch im Holzgas-BHKW entstehende Abwärme wird zur Bedarfsdeckung im Wärmenetz eingesetzt. Die Spitzenlasten werden durch einen Holzhackschnitzelkessel (ηth = 93 %) abgedeckt. Der Gesamtnutzungsgrad des BHKW wird nach DIN V 18599-9, Tabelle 6 mit 87 % angesetzt. Die Stromkennzahl wird mit 0,5 abgeschätzt.

Investitionskosten	9.290.000 €
Energiekosten	194.000 €
Kompensationskosten	-39.000 €
Volkswirtschaftliche Betrachtung	287.000 €

Bild 10:
Ausschnitt aus dem Ergebnisbericht.

8 Export/Import

Über den Menüpunkt „Export“ können die getätigten Eingaben lokal im Datenformat JSON mit der Dateiendung „klimaneutraleasy“ gespeichert werden. Alle vom Benutzer vorgenommenen Eingaben werden darin gespeichert und die gespeicherte Datei kann über den Menüpunkt „Import“ zur späteren Weiterverarbeitung geladen werden. Die gespeicherten Einstellungen sind mit späteren Versionen von „Klimaneutral Easy“ kompatibel, solange keine neuen Eingabemöglichkeiten hinzugefügt werden.

9 Anwendungsbeispiel

Für das Quartier „Bürgerhospital“ wurde im Verbundprojekt „STADTQUARTIER 2050" von den Projektpartnern ein Konzept für eine klimaneutrale Energieversorgung entwickelt. Dieses Projekt soll als Anwendungsbeispiel für „Klimaneutral Easy“ dienen.

9.1 Eingabe

Siedlungskennwerte

In einem ersten Schritt wird der Name des Quartiers und die Postleitzahl in das Tool eingegeben. Das Quartier „Bürgerhospital“ befindet sich in Stuttgart und ist der eher milden Klimaregion TRY 12 mit dem Referenzstandort Mannheim zugeordnet. Die Angabe zum Ort, Landkreis, Klimaregion und Regionalfaktor werden nach Eingabe der Postleitzahl automatisch zugewiesen. Die Investitionen in diesem Gebiet liegen mit einem BKI-Regionalfaktor von 1,11 über den durchschnittlichen Kosten in Deutschland. Bild 11 zeigt die Eingabe der Siedlungskennwerte für das Anwendungsbeispiel.

Bild 11:
Anwendungsbeispiel Siedlungskennwerte.

Das Quartier erstreckt sich über eine Fläche von etwa fünf Hektar und liegt in einem hochverdichteten städtischen Kontext. Die meisten

Bestandsgebäude werden abgerissen und durch Neubauten ersetzt. Das Ziel besteht darin, bezahlbaren Wohnraum zu schaffen. Der städtebauliche Entwurf sieht eine Blockrandbebauung mit bis zu acht Vollgeschossen vor, die um innenliegende Freiflächen angeordnet ist. Dementsprechend ausgewählt wird der Siedlungstyp „ST 7b: Blockbebauung hoher Dichte“. Die Fläche wird als Neubausiedlung eingegeben. Bild 12 zeigt die Eingabe der Siedlungskennwerte des Anwendungsbeispiels.

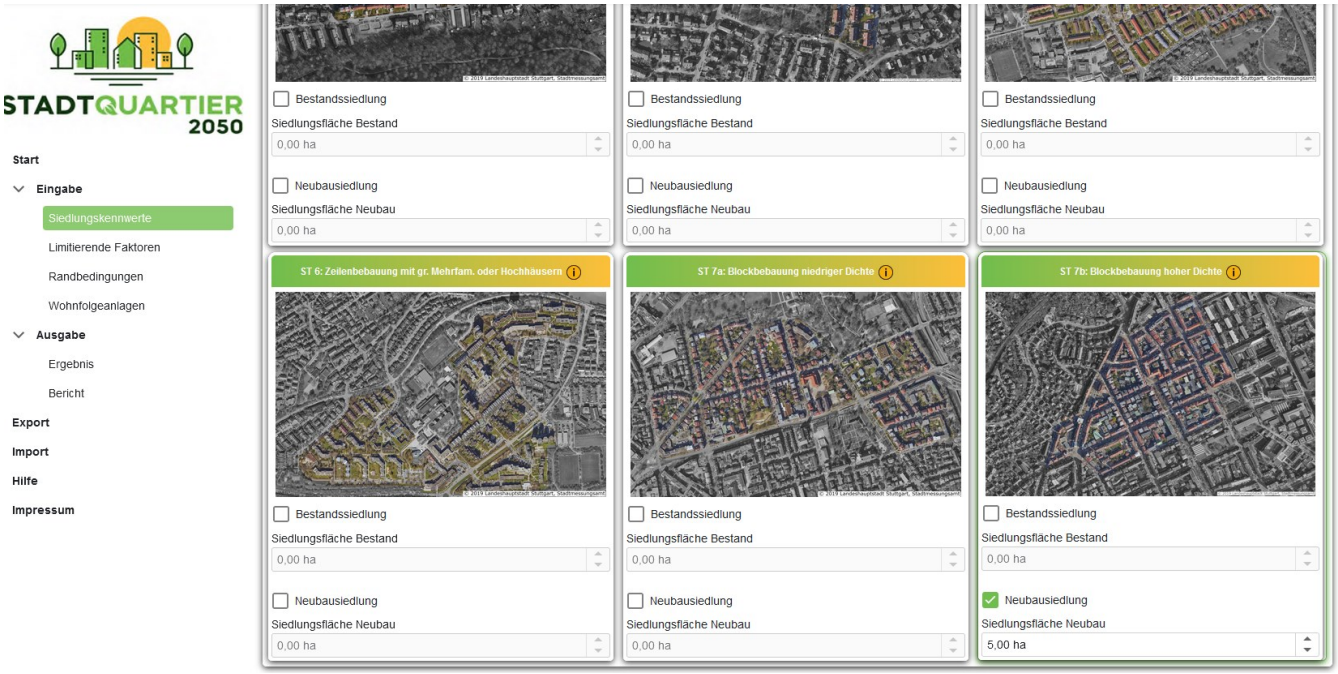


Bild 12:
Anwendungsbeispiel Siedlungstypen.

Limitierende Faktoren

Im nächsten Schritt werden die standortspezifischen limitierenden Faktoren eingegeben, um die Versorgungskonzepte einzuschränken. Es gibt diverse rechtliche und technische Restriktionen, wie die Vermeidung von Feinstaub, das Vorkommen von Anhydrid-Gestein im Untergrund und baurechtliche Einschränkungen durch Notwasserbrunnen, Tunnelbauwerke, Thermalwasservorkommen und einen erhaltenswerten Baumbestand im Projektgebiet. Es gibt ein bereits bestehendes Fernwärmenetz mit konventionellem Energieträger, ein Gasnetz hingegen nicht. Ausgeschlossen sind nutzbare Freiflächen, eine Nutzung des Grundwassers und die Nutzung von Verbrennungsprozessen. Möglich ist das Abteufen von Erdsonden und die Nutzung von Abwasserwärme. Ein Investor für ein Quartiersnetz ist vorhanden. Bild 13 zeigt die Eingabe der limitierenden Faktoren des Anwendungsbeispiels.

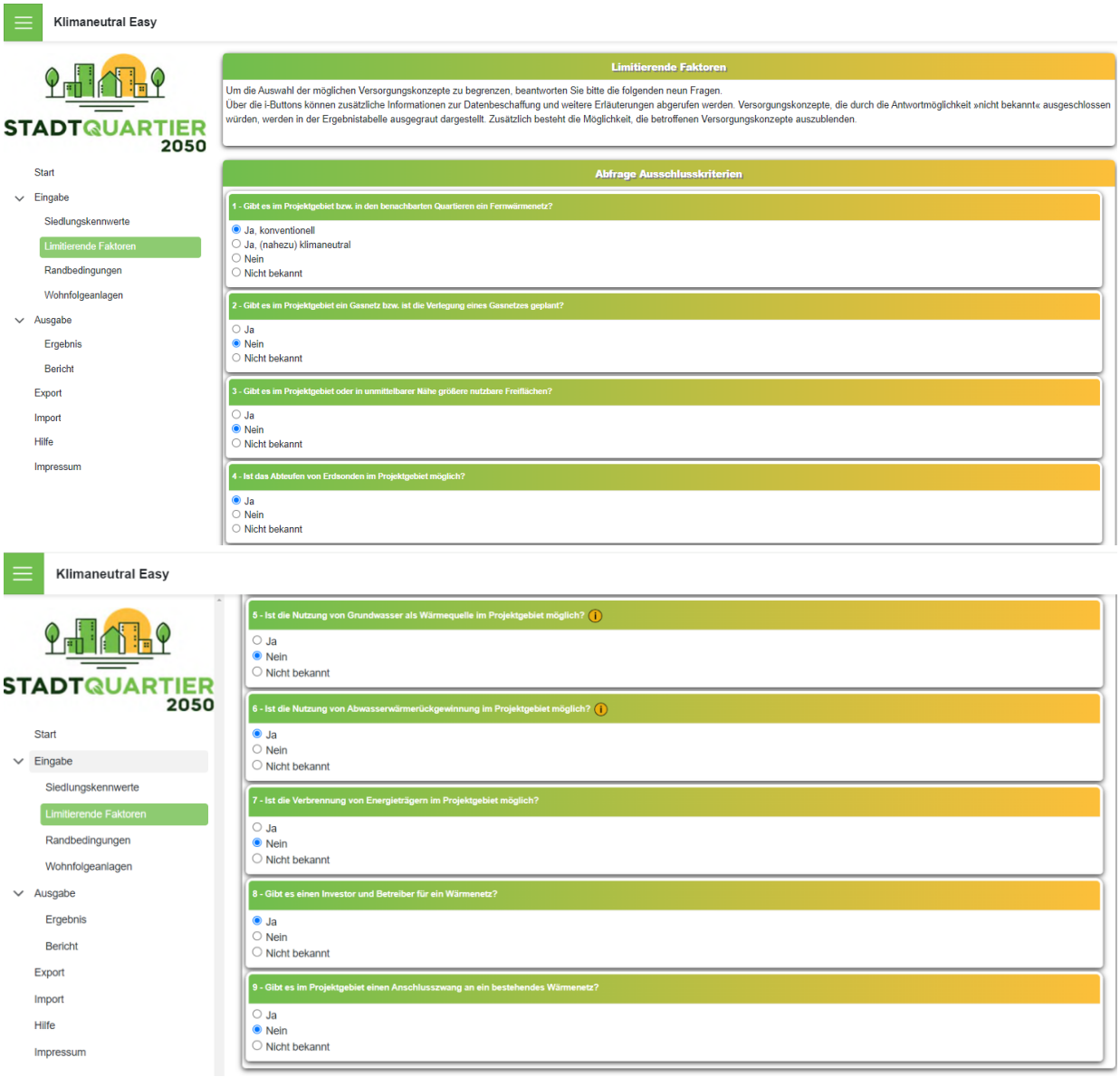


Bild 13:
Anwendungsbeispiel Limitierende Faktoren.

Randbedingungen

Da keine Spezifikation der Randbedingungen durch die Kommune erfolgte, wird auf die Standard-Voreinstellung „Klimaneutral Easy-Standards“ zurückgegriffen. Bild 14 zeigt die Eingabe der Randbedingungen für das Anwendungsbeispiel.

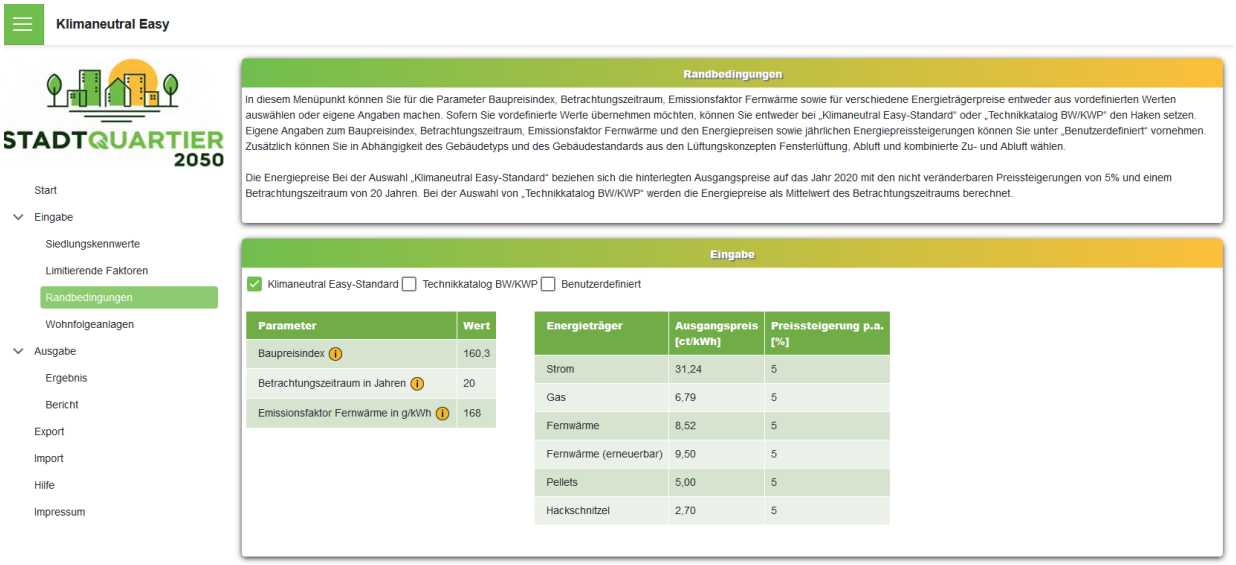


Bild 14:
Anwendungsbeispiel Randbedingungen.

Wohnfolgeanlagen

Im Quartier sind mehr als 600 Wohneinheiten sowie eine Kindertagesstätte, Pflegeeinrichtung, Einkaufsmöglichkeiten, Büroflächen und Kleingewerbeflächen geplant. Über statistische Kennwerte wird abgeschätzt, dass ein Kindergarten und eine Grundschule vorhanden sein könnten. Diese Abschätzung wird wie auf Bild 15 dargestellt angepasst: Es werden ein Altenwohnheim, ein Supermarkt und ein Kaufhaus hinzugefügt und die Grundschule wieder entfernt.

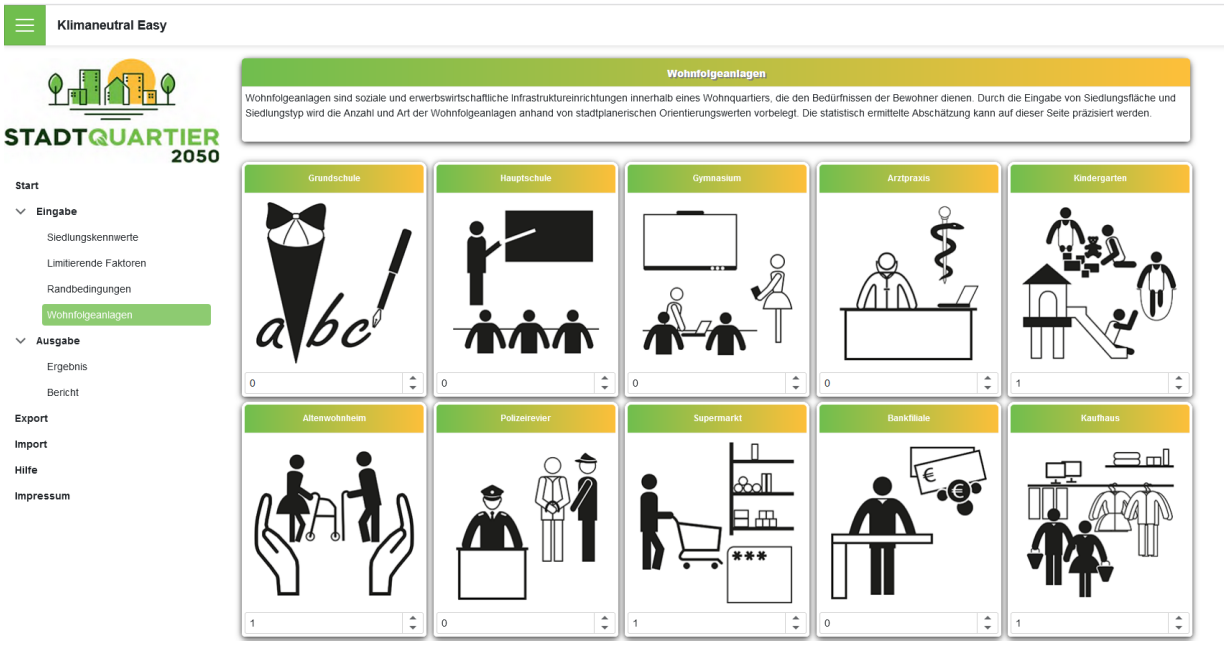


Bild 15:
Anwendungsbeispiel Wohnfolgeanlagen.

9.2 Ausgabe

Ergebnis

Auf der linke Seite der Benutzeroberfläche werden die Eingaben der Siedlungskennwerte, limitierenden Faktoren und Randbedingungen geprüft. Gemäß dem Ziel, bezahlbaren Wohnraum zu schaffen, sollen die Mietkosten für die Bewohner günstiger sein. Aus diesem Grund wird auf der rechten Seite der Benutzeroberfläche der Gewichtungsfaktor der Investitionskosten Energiekosten für den Klimaneutral Easy-Score entsprechend auf den Maximalwert von 3 gesetzt, um eine geringe Kaltmiete zu präferieren, und der Gewichtungsfaktor der Energiekosten auf 2, um geringere Heizkosten der Mietenden zu bevorzugen. Darüber hinaus soll für das Versorgungskonzept eine gute Umsetzbarkeit und Fähigkeit zur Klimaanpassung gegeben sein, weshalb diese Filter der weichen Faktoren aktiviert werden. Auf der rechten Seite von Bild 16 werden die für die Erstellung der Bewertungstabelle getätigten Einstellungen gezeigt.

Bild 16:
Anwendungsbeispiel Einstellungen der Ergebnisausgabe.

Bild 17 zeigt die Bewertungstabelle zunächst ohne die Filterung der nicht bekannten Abfragepunkte der limitierenden Faktoren und der weichen Faktoren. Die Tabelle wird nach einem Klick auf den entsprechenden Spaltenkopf

nach dem Klimaneutral Easy-Score sortiert. Ohne Filterung begrenzt sich die Auswahl möglicher Versorgungskonzepte auf dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpen, Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Erdsonden oder mit PVT-Kollektoren, einem Quartiersnetz mit Sole-Wasser-Wärmepumpen und Erdsonden oder Abwasserwärmenutzung, einem kalten Nahwärmenetz mit Abwasserwärmenetz oder Agrothermiekollektor sowie den Anschluss an das bestehende Fernwärmenetz.

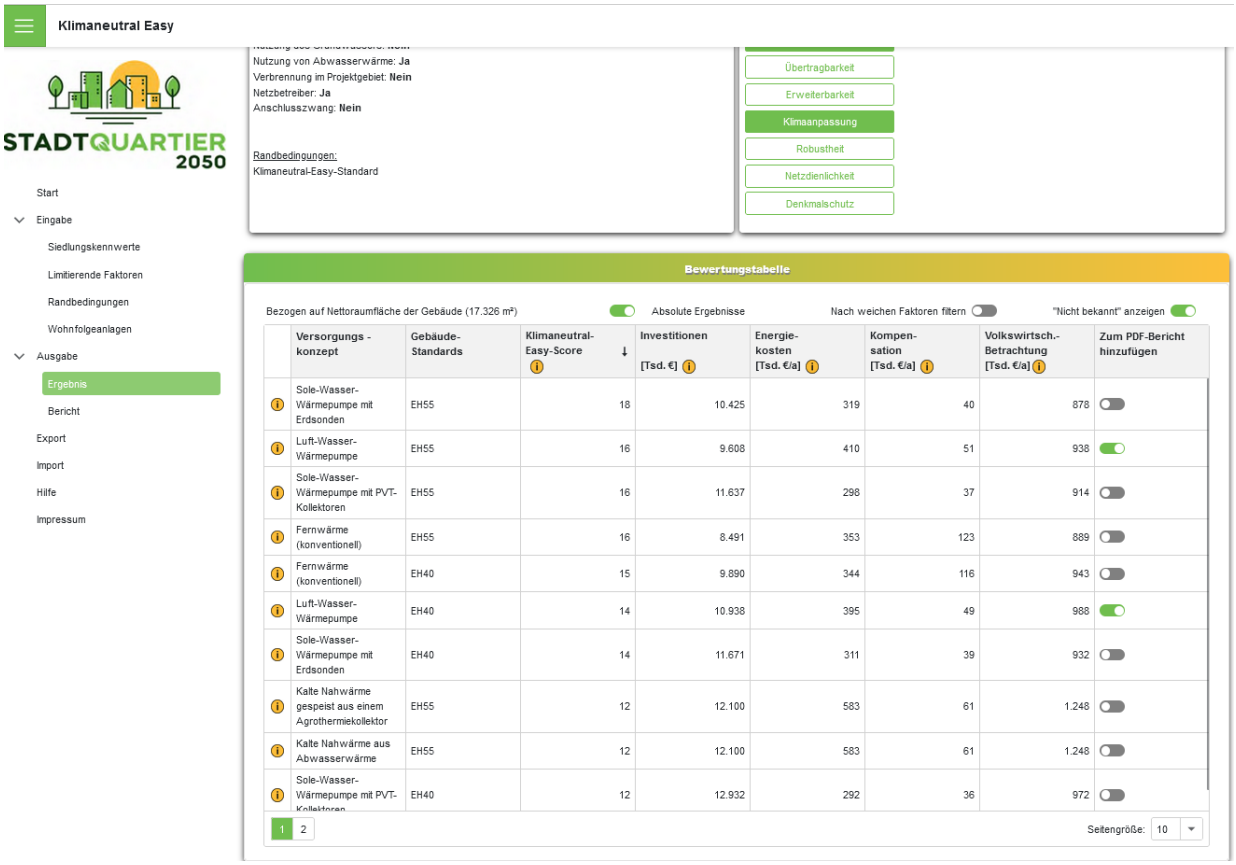


Bild 17:
Anwendungsbeispiel Bewertungstabelle ohne Filter.

Um die Filterung der weichen Faktoren und nicht bekannten Abfragepunkte der limitierenden Faktoren zu berücksichtigen, werden die Schieberegler oberhalb der Ergebnistabelle betätigt. Wie Bild 18 zeigt, begrenzen sich dadurch die berücksichtigten Versorgungskonzepte auf den Anschluss an das Fernwärmenetz, dezentrale sowie zentrale Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Erdsonden und dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpen. Um Versorgungskonzepte dem Ergebnisbericht hinzuzufügen, können die Schieberegler in der rechten Spalte der Bewertungstabelle betätigt werden.

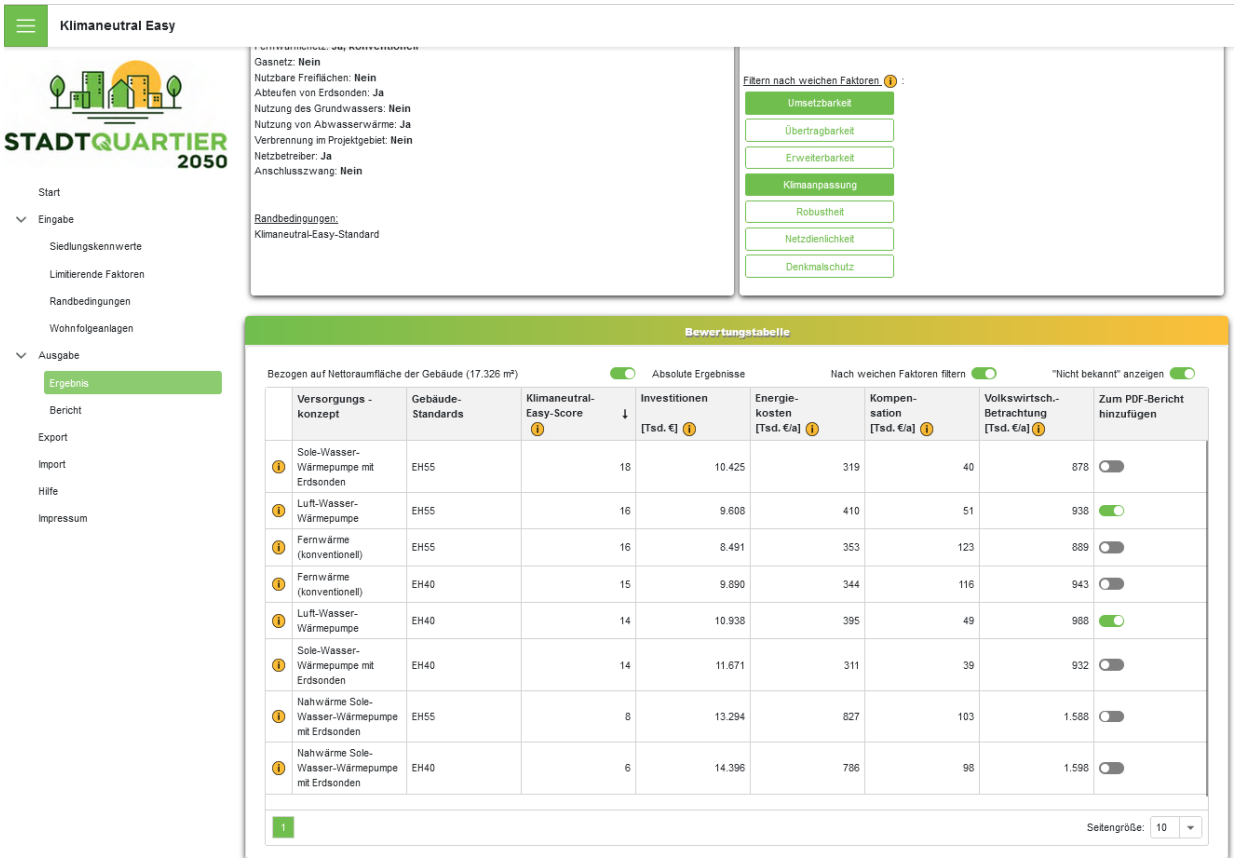


Bild 18:
Anwendungsbeispiel Bewertungstabelle mit Filter.

Bericht

Das allgemeine Deckblatt enthält Informationen zur verwendeten Version des Tools „Klimaneutral Easy“. Auf Seite zwei des Ergebnisberichts werden die getätigten Eingaben des Quartiers Bürgerhospital zusammengefasst. Bild 19 zeigt die eingegebenen fünf Hektar Neubaufläche des Siedlungstyps „Blockbebauung hoher Dichte“ und die Klimaregion mit Referenzstandort „Mannheim“ und in Kurzform die eingegebenen limitierenden Faktoren.

STADTQUARTIER 2050

Fraunhofer IBP

Eingabedaten

Name der Siedlung	Bürgerhospital
Gesamtfläche	5 ha
Klimaregion	Mannheim

Liste der Siedlungstypen

Bezeichnung	Fläche Bestand	Fläche Neubau
Lockere offene Bebauung (Streusiedlung)	0 ha	0 ha
Einfamilienhaussiedlung	0 ha	0 ha
Siedlung mit Dorfkern	0 ha	0 ha
Reihenhaussiedlung	0 ha	0 ha
Blockbebauung niedriger Dichte	0 ha	0 ha
Siedlung keiner Mehrfamilienhäuser	0 ha	0 ha
Zeilenbebauung mit kleinen und größeren Mehrfamilienhäusern	0 ha	0 ha
Zeilenbebauung mit großen MFH oder Hochhäusern	0 ha	0 ha
Blockbebauung hoher Dichte	0 ha	5 ha

Limitierende Faktoren

1 - Fernwärmenetz	Ja, konventionell
2 - Gasnetz	Nein
3 - Nutzbare Freiflächen	Nein
4 - Abteufen von Erdsonden	Ja
5 - Nutzung des Grundwassers	Nein
6 - Nutzung von Abwasserwärme	Ja
7 - Verbrennung im Projektgebiet	Nein
8 - Netzbetreiber	Ja
9 - Anschlusszwang	Nein

Bild 19:
Eingabedaten im Ergebnisbericht.

Jeweils auf zwei Seiten werden die beiden ausgewählten Ergebnisvarianten der Luft-Wasser-Wärmepumpe, einmal mit Gebäudestandard EH55 und einmal mit Gebäudestandard EH40, abgebildet. Bild 20 zeigt die erste Seite der Ergebnisvariante 1 als Luft-Wasser-Wärmepumpe und Gebäudestandard EH55 mit einem gewichteten Klimaneutral Easy-Score von 16, eine Anlagenskizze und Beschreibung der Versorgungstechnik sowie die finanziellen Daten. Die Investitionskosten von etwa 9,6 Mio. Euro fallen einmalig an, während die Energiekosten von etwa 410.000 Euro, die Kompensationskosten von etwa 51.000 Euro und die volkswirtschaftliche Betrachtung von etwa 938.000 Euro jährlich anfallen.

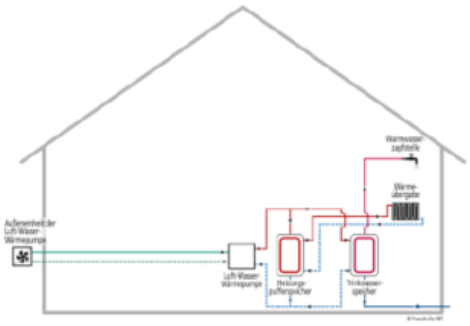
Ergebnisse Variante 1

Klimaneutral-Easy-Score 16,0

Luft-Wasser-Wärmepumpe

Gebäudestandard: EH55

Anlagenskizze:



Beschreibung des Versorgungskonzepts:

Bei diesem Versorgungskonzept wird der Wärmebedarf durch Luft-Wasser-Wärmepumpen in den Gebäuden gedeckt. Als Wärmequelle dient die Außenluft, die Wärmeverteilung im Gebäude erfolgt durch ein wassergeführtes System. In der Regel werden Luft-Wasser-Wärmepumpen mit einer zusätzlichen elektrischen Heizpatrone ausgestattet. Für die Auslegung der Wärmepumpe wird hier eine Bivalenztemperatur von -5 °C angesetzt. Bei Unterschreiten dieser Temperatur erfolgt die Wärmebereitung im Parallelbetrieb von Wärmepumpe und elektrischem Heizstab. Um eine möglichst hohe Effizienz zu erreichen, wird die Vorlauftemperatur im Heizkreis auf 35 °C begrenzt. Für die Trinkwarmwasserbereitung wird eine zentrale Verteilung mit Zirkulation und Trinkwarmwasserspeicher angesetzt.

Investitionskosten	9.608.000 €
Energiekosten	410.000 €
Kompensationskosten	51.000 €
Volkswirtschaftliche Betrachtung	938.000 €

Bild 20:
Erste Seite der Ergebnisvariante 1 mit Anlagenskizze und Beschreibung des Versorgungskonzepts im Ergebnisbericht.

Bild 21 zeigt die zweite Seite der Ergebnisvariante 1 mit Teilergebnissen der Modellierung. So lassen sich z. B. die größten Hebel nachvollziehen, z. B. stellt der größte Teil der Investitionskosten die baulichen Maßnahmen an der Gebäudehülle mit etwa 6,8 Mio. Euro dar und der größte Endenergieverbrauch tritt für die Beheizung des Gebäudes auf. Der durch den Ausgangspreis und die jährlichen Preissteigerungen berechnete mittlere Energiepreis im Betrachtungszeitraum von 20 Jahren der verwendeten Energieträger beträgt 52 Cent/kWh. Bei einer Luft-Wasser-Wärmepumpe wird ausschließlich der Energieträger Strom für das Heizen, die Trinkwarmwasser-Erwärmung und den Nutzerstrom sowie die Hilfsenergie verwendet. Durch die PV-Module mit einer Fläche von knapp 3.000 m² kann etwa 419.000 kWh/a Strom

erzeugt werden, welcher sich nach der Berechnungslogik des Teils 10 der DIN V 18599 [Beuth 2018] zu etwa 90 % für den Eigenverbrauch nutzen lässt – ermöglicht durch die Wärmepumpe und einen hohen Verbrauch an Nutzerstrom.

STADTQUARTIER 2050

Fraunhofer IBP

Teilergebnisse

Nettoraumfläche aller Gebäude			17.326 m²
Investitionskosten			
Bauliche Investitionskosten	6.883.000 €	PV Investitionskosten	1.106.000 €
Lüftung Investitionskosten	101.000 €		
Wärme Investitionskosten	1.518.000 €		
Endenergieverbräuche			
Verbrauch Heizen	477.000 kWh/a	Verbrauch Nutzerstrom	207.000 kWh/a
Verbrauch Warmwasser	97.000 kWh/a		
Verbrauch Hilfsenergie	12.000 kWh/a		
Energiepreise			
Energiepreis Heizen	52 Cent/kWh	Strompreis	52 Cent/kWh
Energiepreis TWW	52 Cent/kWh		
Emissionen und Kompensation			
Emissionsfaktor Heizen	270 g/kWh	Emissionsfaktor Strom	270 g/kWh
Emissionsfaktor TWW	270 g/kWh	Klimakosten	253 €/t CO2
PV			
PV-Stromerzeugung	419.000 kWh/a	PV-Einspeisungsanteil	10%
PV-Eigenverbrauchsanteil	90%	PV-Vergütung	7 Cent/kWh
Leistung PV-Anlage	536 kWp	PV-Fläche	2.946 m²

Weiche Faktoren

Zukunftsfähigkeit: positiv
wichtiger Bestandteil der Klimaschutzstrategie, gewinnt an Bedeutung durch Ausbau der erneuerbaren Energien
Umsetzbarkeit: positiv
keine technischen oder rechtlichen Hürden, gängige Technologie, geringer Platzbedarf im Gebäude, niedrige Investitionskosten
Übertragbarkeit: positiv
grundsätzlich überall einsetzbar in Verbindung mit Wärmeschutzmaßnahmen
Erweiterbarkeit: positiv
Erweiterung einfach, Austausch des Wärmeerzeugers erforderlich, kein großer zusätzlicher Platzbedarf, kostengünstige Investition
Klimaanpassung: neutral
reversible Wärmepumpen können zur aktiven Kühlung eingesetzt werden, bei nicht reversiblen Wärmepumpen ist eine Nachrüstung der hydraulischen Verschaltung erforderlich
Robustheit: positiv
profitieren von höheren Außentemperaturen
Netzdienlichkeit: neutral
negativ (bei Standardstromtarif)
positiv (bei Wärmepumpenstromtarif, dieser wird zur Netzstabilisierung angeboten)

Bild 21:
Zweite Seite der Ergebnisvariante 1 mit Anlagenskizze und Beschreibung des Versorgungskonzepts im Ergebnisbericht.

Die letzten Seiten des Berichts zeigen eine Übersicht über weiche Faktoren sowie eine kurze Zusammenstellung der Rechenformeln für die Investitionskosten, Energiekosten, Kompensationskosten und die volkswirtschaftliche Betrachtung.

9.3 Export/Import

Abschließend wird die Datei, wie in Bild 22 dargestellt, lokal im Menüpunkt „Export“ gespeichert.

Bild 22:
Anwendungsbeispiel Export.

Damit ist es möglich, die JSON-Datei klimaneutralasy zu einem späteren Zeitpunkt über die Importfunktion wie in Bild 23 dargestellt zu laden und weiter zu verarbeiten.

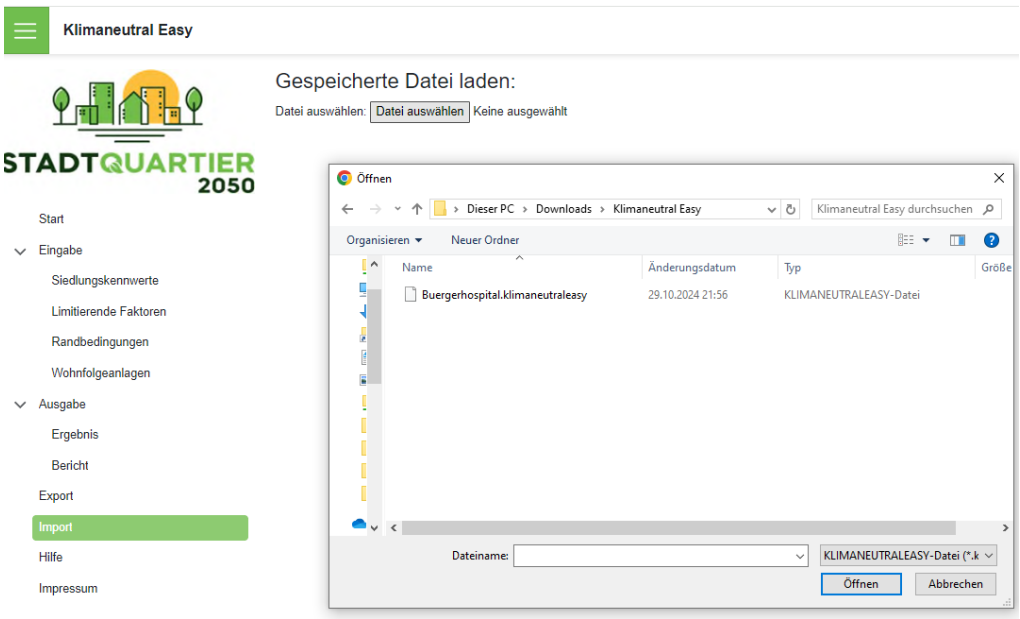


Bild 23:
Anwendungsbeispiel Import-Funktion.

10 Impressum

Hintergrund zur Software

Das Planungswerkzeug „Klimaneutral Easy“ wurde als Entscheidungshilfe für die frühe Planungsphase bei der Erstellung von Energiekonzepten für Wohnquartiere entwickelt. Die zugrundeliegende Arbeit ist Bestandteil des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050, das im Rahmen der Förderinitiative „Solares Bauen / Energieeffiziente Stadt“ des 6. Energieforschungsprogramms vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (Förderkennzeichen 03SBE116) gefördert wurde. Die in dieser Software enthaltenen Informationen wurden durch die Autoren beigetragen und geben nicht die offizielle Meinung der Fördermittelgeber wieder. Weder die Fördermittelgeber noch Personen, die in ihrem Namen handeln, können für die Verwendung der darin enthaltenen Informationen verantwortlich gemacht werden.

Haftung für Inhalte

Die Inhalte des Planungswerkzeugs „Klimaneutral Easy“ wurden mit größter Sorgfalt erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte kann keine Gewähr übernommen werden. Keine der am Verbundvorhaben beteiligten Organisationen, ihre Angestellten, ihre Auftragnehmer, Unterauftragnehmer oder deren Angestellten geben eine ausdrückliche oder stillschweigende Gewährleistung ab oder übernehmen irgendeine gesetzliche Haftung oder Verantwortung für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Nützlichkeit von Ergebnissen oder enthaltenen Informationen. Die Nutzung des Planungstools erfolgt auf eigene Gefahr. Die Ergebnisse sind vom Nutzenden auf Richtigkeit und Konsistenz zu prüfen. Sollten Fehler oder Inkonsistenzen auftreten, informieren Sie bitte das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP. Mit der reinen Nutzung des Planungstools kommt keinerlei Vertragsverhältnis zwischen den Nutzenden und dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP als Diensteanbieter zustande.

Urheberrecht

Das Planungswerkzeug „Klimaneutral Easy“ ist urheberrechtlich geschützt. Das Eigentumsrecht des Programms liegt beim Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP. Die veröffentlichten Inhalte unterliegen dem deutschen Urheber- und Leistungsschutzrecht. Jede vom deutschen Urheber- und Leistungsschutzrecht nicht zugelassene Verwertung bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung des Rechteinhabers. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigung, Bearbeitung, Übersetzung, Einspeicherung, Verarbeitung bzw. Wiedergabe von Inhalten in Datenbanken oder anderen elektronischen Medien und Systemen. Die Darstellung des Planungswerkzeugs in fremden Frames ist nur mit schriftlicher Erlaubnis zulässig.

Kontaktinformation

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Nobelstr. 12
70569 Stuttgart
Deutschland
www.ibp.fraunhofer.de

11 Literaturverzeichnis

[Arpagaus 2019] Arpagaus, C.: Hochtemperaturwärmepumpen für industrielle Anwendungen. 2019. Verfügbar unter https://grosswaermepumpen-kongress.com/wp-content/uploads/2019/05/Cordin_Arpagaus.pdf. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Beuth 2017] Beuth Verlag (Herausgeber): DIN EN 12831:2017-09. Energetische Bewertung von Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast – Teil 1: Raumheizlast, Modul M3-3. Verfügbar unter https://www.dinmedia.de/de/vornorm/din-ts-12831-1/316645651. Letzter Abruf: 30.10.2024.

[Beuth 2018] Beuth-Verlag (Herausgeber): DIN V 18599:2018-09. Energetische Bewertung von Gebäuden. Verfügbar unter https://www.dinmedia.de/de/vornorm/din-v-18599-1/293515783. Letzter Abruf: 30.10.2024.

[Beuth 2018-2] Beuth-Verlag (Herausgeber): DIN 1998:2018-07. Unterbringung von Leitungen und Anlagen in öffentlichen Verkehrsflächen – Richtlinie für die Planung. Verfügbar unter https://www.dinmedia.de/de/norm/din-1998/288466046. Letzter Abruf 30.10.2024.

[BBSR 2017] BBSR: EnEV 2017 – Vorbereitende Untersuchungen. 2017. Verfügbar unter https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2017/bbsr-online-16-2017-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

[BKI 2022] Baukosteninformationszentrum für Architekten: BKI Kostenplaner. 2022.

[Blesl 2001] Blesl, M.; Neuffer, H.; Witterhold, F.-G.; Pfaffenberger, W.; Gregorzewski, A.; Schulz, W.; Fahl, U.; Voß, A.; Jochem, E.; Radgen, P.; Schmid, C.; Dribbisch, M.; Sager, J.; Sander, T.; Zschernig, J.; Carter, J. M.; Mauch, W.; Dötsch, C.; Fahlenkamp, H.; Hölder, D.: Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und regenerativer Energien. Kurztitel: Pluralistische Wärmeversorgung. AGFW-Hauptstudie – erster Bearbeitungsabschnitt. Band 1, Grundlagen der Kraft-Wärme-Kopplung, Zertifizierungsverfahren und Fördermodelle. 2001. 10.18419/opus-6903.

[Blesl 2002] Blesl, M.: Räumlich hoch aufgelöste Modellierung leitungsgebundener Energieversorgungssysteme zur Deckung des Niedertemperaturwärmebedarfs. 2002. Verfügbar unter https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/1586/1/FB92.pdf. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[BMWI 2015] BMWI: Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand vom 07.04.2015. 2015. Verfügbar unter https://www.bundesanzeiger.de/pub/publication/Rhh09pzIPlw4zVSEWeq/content/Rhh09pzIPlw4zVSEWeq/

BAnz%20AT%2021.05.2015%20B2.pdf?inline. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Bundestag 2020] Bundestag: Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2020 Teil I Nr. 37. Bundesanzeiger Verlag GmbH. Bonn. 13.08.2020. Verfügbar unter https://www.geg-info.de/geg/2020.08.13._bundesgesetzblatt_geg_2020_verkundung.pdf. Letzter Zugriff: 28.07.2024.

[Cischinsky 2018] Cischinsky, H.; Diefenbach, N.: Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016 – Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand. 2018. Verfügbar unter https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/prj/2018_IWU_CischinskyEtDiefenbach_Datenerhebung-Wohngeb%C3%A4udebestand-2016.pdf. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[co2online 2021] co2online: Stromspiegel für Deutschland 2021. 2021. Verfügbar unter https://www.stromspiegel.de/. Letzter Zugriff 01.03.2022.

[Consolar 2020] Consolar: Preisliste 2020. 2020. Verfügbar unter https://www.consolar.de/download/preisliste-2020-bitte-ergaenzungspreisliste-beachten/. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Destatis 2024] Destatis: Baupreisindizes: Deutschland, Jahre, Messzahlen mit/ohne Umsatzsteuer, Gebäudearten, Bauarbeiten (Hochbau). 2024. Verfügbar unter https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=61261-0001&bypass=true&levelindex=0&levelid=1725040379065#abreadcrumb. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Dötsch 1998] Dötsch, C.; Taschenberger, J.; Schönberg, I.: Leitfaden Nahwärme. 1998. Verfügbar unter https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/kompetenz/energie/leitfaden-nahwaerme.pdf?trk=public_post_comment-text. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Dunkelberg 2018] Dunkelberg, E.; Gährs, S.; Weiß, J.; Salecki, S.: Wirtschaftlichkeit von Mehrleiter-Wärmenetzen – Ökonomische Bewertung von Mehrleiter-Wärmenetzen zur Nutzung von Niedertemperaturwärme. 2018. Verfügbar unter https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Download-dateien/Publikationen/2018/IOEW-SR_215_Wirtschaftlichkeit_Mehrleiter-W%C3%A4rmenetze.pdf. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[DWD 2010] DWD: Testreferenzjahre (TRY). 2010. Verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/leistungen/testreferenzjahre/testreferenzjahre.html. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[DWD 2024] DWD: Bodentemperatur. 2024. Verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/leistungen/bodentemperatur/bodentemperatur.html. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Eggers 2020] Eggers, J.-B.; Behnisch, M.; Eisenlohr, J.; Poglitsch, H.; Phung, W.-F.; Münzinger, M.; Ferrara, C.; Kuhn, T. E.: PV-Ausbauerfordernisse versus Gebäudepotenzial: Ergebnis einer gebäudescharfen Analyse für ganz Deutschland. 2020. Verfügbar unter https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/conference-paper/PV-Potenzial-gebaeudescharf.pdf. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Fischedick 2007] Fischedick, M.; Schüwer, D.; Venjakob, J.; Merten, F.; Mitze, D.; Nast, M.; Schillings, C.; Krewitt, W.; Bohnenschäfer, W.; Lindner, K.: Anforderungen an Nah- und Fernwärmenetze sowie Strategien für Marktakteure in Hinblick auf die Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung bis zum Jahr 2020. 2007.

[Frank 2020] Frank GmbH: Geothermiepreisliste der Frank GmbH. 2020. Verfügbar unter https://www.frank-gmbh.de/de/downloads/preise/index.php. Letzter Zugriff 01.09.2020.

[Fraunhofer IBP 2018] Fraunhofer IBP: District Energy Concept Adviser. 2018. Verfügbar unter https://www.district-e-ca.de/index.php?option=com_content&view=article&id=13&Itemid=192&lang=de. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Fraunhofer IBP 2024] Handbuch zur Berechnungsbibliothek ibp18599kernelSimplified. 2024. Nicht öffentlich verfügbar.

[Fritsche 2008] Fritsche, U.; Rausch, L.: Bestimmung spezifischer Treibhausgasemissionsfaktoren für Fernwärme. 2008. Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3476.pdf. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Frondel 2015] Frondel, M.; Andor, M.; Ritter, N.; Sommer, S.; Vance, C.; Matuschek, P.; Müller, U.: Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2011 bis 2013. 2015. Verfügbar unter https://www.rwi-essen.de/fileadmin/user_upload/RWI/FDZ/rwi-pb_energieverbrauch-priv-hh_k.pdf. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Görres 2017] Görres, J.; Schäfer, N.: Neues Stadtquartier „Neckarpark Stuttgart". 2017.

[Grimm 2018] Grimm, S.; Huther, H.; Sorensen Alex, P.; Weisleder, S.; Berberich, M.; Pauschinger, T.: Einbindung von Solarthermie in bestehende städtische Fernwärmesysteme. 2018. Verfügbar unter https://www.solar-district-heating.eu/wp-content/uploads/2018/05/20180418-3-SDHp2m_SDH_Fernw%C3%A4rme.pdf. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Heidemann 2005] Heidemann, W.; Doetsch, C.; Müller-Steinhagen, H.: Solare Nahwärme und saisonale Speicherung. 2005.

[Hertle 2019] Hertle, H.; Dünnebeil, F.; Gugel, B.; Rechsteiner, E.; Reinhard, C.: Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland. 2019.

[Hinz 2015] Hinz, E.: Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Altbauten. 2015. Verfügbar unter https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/handlungslogiken/2015_IWU_Hinz_Kosten-energierelevanter-Bau-und-Anlagenteile-bei-der-energetischen-Modernisierung-von-Altbauten.pdf. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[IINAS 2020] Fritsche, U.; Greß, H.-W.: Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2019 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050. Bericht für die HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V. Darmstadt. 2020.

[Isoplus 2012] Isoplus: Planungshandbuch – Starre Verbundsysteme. 2012. Verfügbar unter https://www.isoplus.de/fileadmin/user_upload/downloads/documents/germany/Catalogue_German/Kapitel_2_Starre_Verbundsysteme.pdf. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Jordan 2017] Jordan, U.; Vajen, K.; Braas, H.: DHWcalc – Werkzeug zur Generierung von Trinkwasser-Zapfprofilen auf statistischer Basis. Version 2.02b. 2017. Verfügbar unter https://www.uni-kassel.de/maschinenbau/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=3216&token=340d48354022bced2b506335144b8b014061434a. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[KEA-BW 2024] KEA-BW: Technikkatalog zur Kommunalen Wärmeplanung V1.1. 2024. Verfügbar unter https://www.kea-bw.de/waermewende/wissensportal/kommunale-waermeplanung/einfuehrung-in-den-technikkatalog. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Kelm 2019] Kelm, T.; Metzger, J.; Jachmann, H.: Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichts gemäß § 97 Erneuerbare-Energien-Gesetz. 2019.

[KfW 2020] KfW: Merkblatt Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG). 2020. Verfügbar unter www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf%C3%B6rderung)/PDF-Dokumente/6000004860_M_463.pdf. Letzter Zugriff 08.02.2023.

[Lödl 2010] Lödl, M.; Kerber, G.; Witzmann, R.; Hoffmann, C.; Metzger, M.: Abschätzung des Photovoltaik-Potentials auf Dachflächen in Deutschland. 2010.

Verfügbar unter https://mediatum.ub.tum.de/doc/969497/969497.pdf. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Loga 2015] Loga, T.; Stein, B.; Diefenbach, N.; Born, R.: Deutsche Wohngebäudetypologie. 2015.

[Mangold 2007] Mangold, D.; Riegger, M.; Schmidt, T.: Solare Nahwärme und Langzeit-Wärmespeicher. 2007. Verfügbar unter https://www.saisonalspeicher.de/wp-content/uploads/2021/12/Solare-Nahwaerme-und-Langzeit-Waermespeicher-0329607L.pdf. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Miara 2011] Miara, M.; Günther, D.; Kramer, T.; Oltersdorf, T.; Wapler, J.: Heat Pump Efficiency. 2011. Verfügbar unter https://wp-monitoring.ise.fraunhofer.de/wp-effizienz/download/final_report_wp_effizienz_en.pdf. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Nussbaumer 2017] Nussbaumer, T.; Thalmann, S.; Jenni, A.; Ködel, J.: Planungshandbuch Fernwärme. 2017. Verfügbar unter https://www.verenum.ch/Dokumente/PLH-FW_V1.2.pdf. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Pehnt 2017] Pehnt, M.; Nast, M.; Götz, C.; Blömer, S.; Barckhausen, A.; Schröder, D.; Miljes, R.; Pottbäcker, C.; Breier, H.; Nabe, C.; Lindner, S.; Dannemann, B.: Wärmenetzsysteme 4.0 Endbericht – Kurzstudie zur Umsetzung der Maßnahme "Modellvorhaben erneuerbare Energien in hocheffizienten Niedertemperaturwärmenetzen". 2017. Verfügbar unter https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/W%C3%A4rmenetze-4.0-Endbericht-final.pdf. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Ramming 2007] Ramming, K.: Bewertung und Optimierung oberflächennaher Erdwärmekollektoren für verschiedene Lastfälle. 2007. Verfügbar unter https://d-nb.info/985908882/34. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Ritz 2021] Ritz: Festpreisangebot für Brennstoffzelle Viotvolar mit integriertem Gas-Brennwertgerät. 2021.

[Schmidt 2010] Schmidt, J.; Mühlenhoff, J.: Erneuerbare Energien 2020 Potenzialatlas Deutschland. 2010. Verfügbar unter https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/319.Potenzialatlas_2_Auflage_Online.pdf. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Schrade 2022] Schrade, J.; Illner, M.; Erhorn-Kluttig, H.; Erhorn, H.: Wege zur klimaneutralen Energieversorgung von Quartieren – ein Leitfaden (D3.2.1). Verfügbar unter https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/ibp-neu/de/dokumente/publikationen/eer/leitfaden-klimaneutrale-quartiere.pdf. letzter Zugriff: 30.08.2024.

[Schröter 2021] Schröter, F.: Aspekte ökologischer Bauleitplanung – Orientierungswerte (Richtwerte) für die Planung. 2021. Verfügbar unter http://www.dr-frank-schroeter.de/planungsrichtwerte.htm. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Schuler 2011] Schuler, W.; Schmidt, C.; Reule, B.; Klinger und Partner (Butz, J.): Abwasserwärmenutzung im Neckarpark. Machbarkeitsstudie im Auftrag der Landeshauptstadt Stuttgart (nicht veröffentlicht). 2011.

[Solites 2017] Solites: ScenoCalc Fernwärme V2.0 (Juni 2017) – Berechnungsprogramm zur Abschätzung des solaren Nutzwärmeertrags von in Wärmenetze eingebundenen Solarthermieanlagen. 2017. Verfügbar unter https://www.scfw.de/. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Statistisches Bundesamt 2011] Statistisches Bundesamt: Zensus 2011. 2011. Verfügbar unter www.destatis.de. Letzter Zugriff 01.03.2022.

[Statistisches Bundesamt 2019] Statistisches Bundesamt: Fortschreibung Wohngebäude- und Wohnungsbestand: Wohngebäude, Wohnungen, Wohnfläche. 2019. Verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Publikationen/Downloads-Wohnen/fortschreibung-wohnungsbestand-pdf-5312301.html. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Stetz 2012] Stetz, T.; Braun, M.; Saint-Drenan, Y.; Oehsen, A.: Vorstudie zur Integration großer Anteile Photovoltaik in die elektrische Energieversorgung. 2012.

[Transsolar 2010] Transsolar: TRNSYS 17 – a transient system simulation program. Volume 5 Multizone building modeling with Type 56 and TRNBuild. 2010.

[UBA 2023] Umweltbundesamt: Klimakosten von Treibhausgasemissionen. 2023. Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-wirtschaft/gesellschaftliche-kosten-von-umweltbelastungen#klimakosten-von-treibhausgas-emissionen. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Waterkotte 2020] Waterkotte: Preisliste für Wärmepumpen. 2020. Verfügbar unter https://www.waterkotte.de/waermepumpen. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Winter 2001] Winter, W.; Haslauer, T.; Obernberger, I.: Untersuchungen der Gleichzeitigkeit in kleinen und mittleren Nahwärmenetzen – Teil 1. 2001.

[Wirth 2023] Wirth, H.: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. 2023. Verfügbar unter https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf. Letzter Zugriff 30.08.2024.

[Wolff 2011] Wolff, D.; Jagnow, K.: Überlegungen zu Einsatzgrenzen und zur Gestaltung einer zukünftigen Fern- und Nahwärmeversorgung. 2011. Verfügbar

unter https://www.delta-q.de/wp-content/uploads/fernwaermestudie.pdf. Letzter Zugriff 30.08.2024.

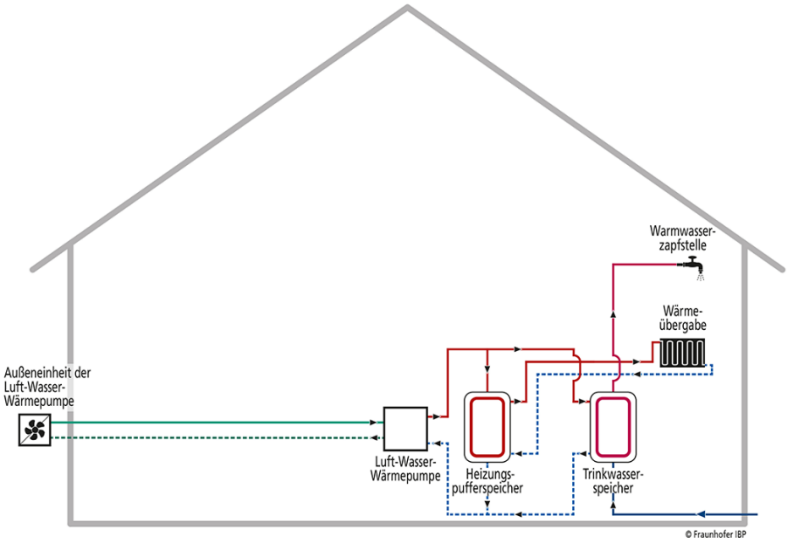
[Wülbeck 2016] Wülbeck, H.-F.; Sperber, E.; Nast, M.; Reisinger, K.; Vajen, K.; Erler, R.; Kaltschmitt, M.; Niederberger, M.: Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2012 bis 2014 – Evaluierung des Förderjahres 2014. 2016. Letzter Zugriff 30.08.2024.

12 Anhang

A.1 Schemata der Versorgungskonzepte

Nachfolgend finden sich alle Anlagenschemata und Beschreibungen der berücksichtigten Versorgungskonzepte nach [Schrade 2022].

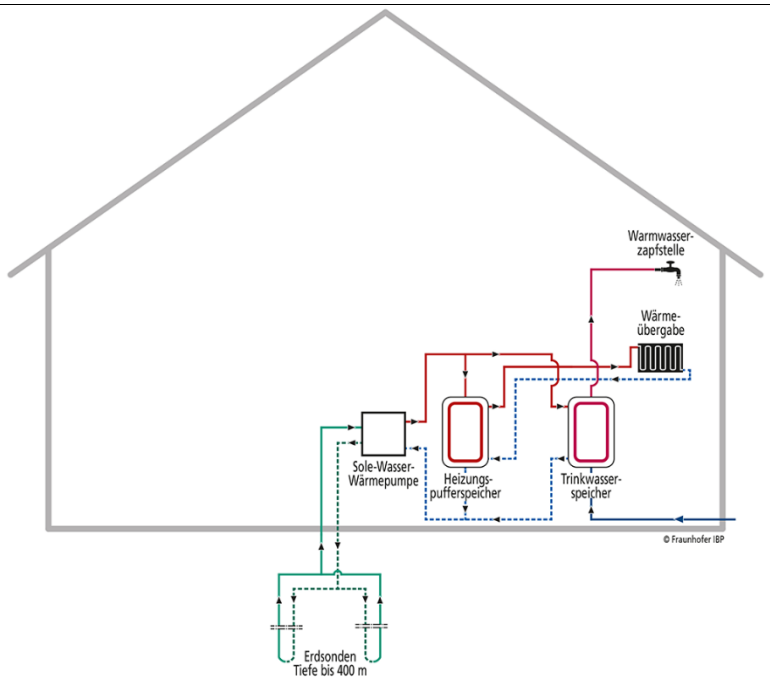
Luft-Wasser-Wärmepumpe



Beschreibung:

Bei diesem Versorgungskonzept wird der Wärmebedarf durch Luft-Wasser-Wärmepumpen in den Gebäuden gedeckt. Als Wärmequelle dient die Außenluft, die Wärmeverteilung im Gebäude erfolgt durch ein wassergeführtes System. In der Regel werden Luft-Wasser-Wärmepumpen mit einer zusätzlichen elektrischen Heizpatrone ausgestattet. Für die Auslegung der Wärmepumpe wird hier eine Bivalenztemperatur von -5 °C angesetzt. Bei Unterschreiten dieser Temperatur erfolgt die Wärmebereitung im Parallelbetrieb von Wärmepumpe und elektrischem Heizstab. Um eine möglichst hohe Effizienz zu erreichen, wird die Vorlauftemperatur im Heizkreis auf 35 °C begrenzt. Für die Trinkwarmwasserbereitung wird eine zentrale Verteilung mit Zirkulation und Trinkwarmwasserspeicher angesetzt.

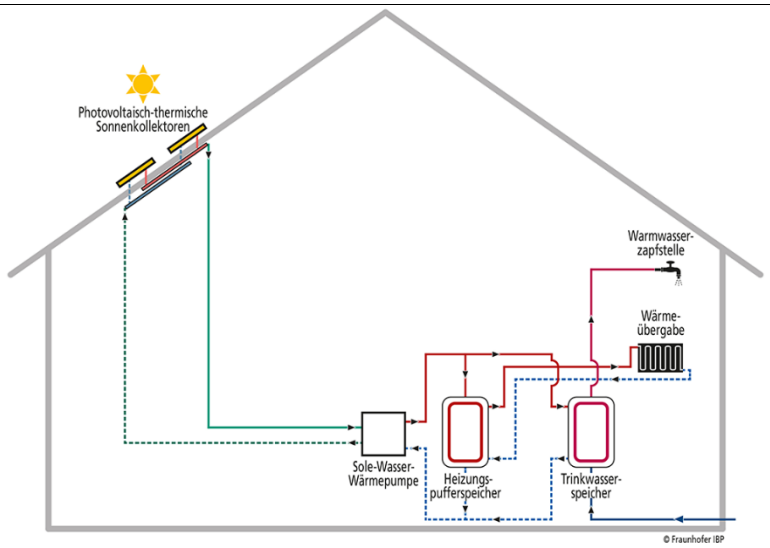
Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden



Beschreibung:

Sole-Wasser-Wärmepumpen nutzen in der Regel das Erdreich als Wärmequelle. Im Bestand bzw. bei geringer Freifläche wird das Erdreich über Erdsonden bzw. Erdlanzen erschlossen. Typischerweise reichen die Erdsonden bis zu 100 m tief in das Erdreich. Da in tieferen Schichten das Erdreich geringeren Temperaturschwankungen unterliegt, ergibt sich eine gleichmäßige Quellentemperatur von 10 bis 12 °C. Die mögliche Wärmeentzugsleistung ist stark von der Gesteinsart und dem Grundwassereinfluss abhängig und kann zwischen 20 W/m² (sandig, trocken) und 40 W/m² (bindig, feucht) betragen. Bei starkem Grundwassereinfluss kann die Entzugsleistung im Einzelfall auch über 65 W/m² liegen. Aufgrund der gleichmäßigen Quellentemperatur kann die Wärmepumpe monovalent betrieben werden, d. h. es wird hier kein zusätzlicher Heizstab vorgesehen. Die Wärmeverteilung im Gebäude erfolgt, wie bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe, durch ein wassergeführtes System. Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt zentral mit Zirkulation.

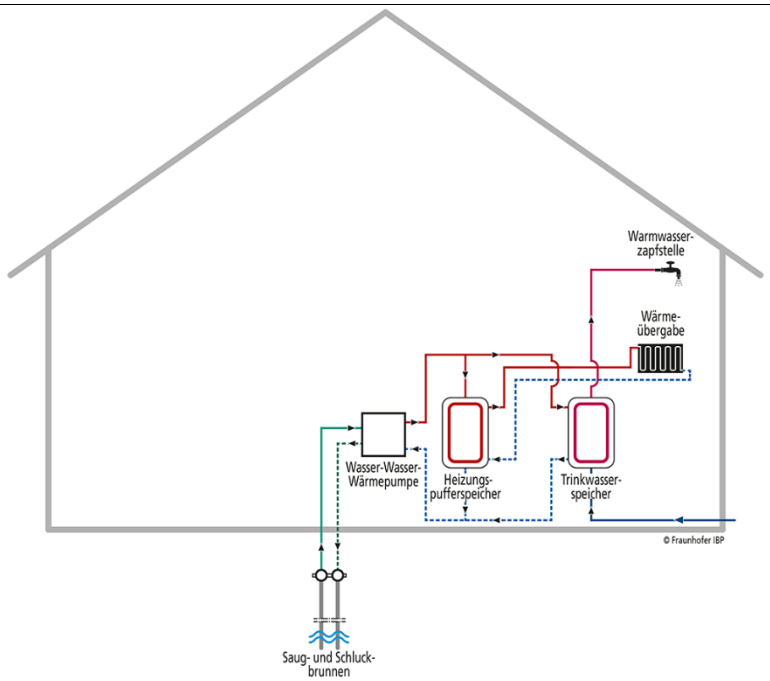
Sole-Wasser-Wärmepumpe mit PVT-Kollektoren



Beschreibung:

Eine Alternative zu erdreichgekoppelten Systemen sind Sole-Wärmepumpen mit Photovoltaisch-Thermischen (PVT) Kollektoren. Diese Solarkollektoren vereinen das Wirkprinzip des thermischen Kollektors und der Photovoltaik (PV). Während die solare Wärmestrahlung mittels eines Luft-Wärmetauschers über ein flüssiges Wärmeträgermedium (Sole) abgeführt und der Wärmepumpe als Wärmequelle für Heizung und Trinkwarmwasserbereitung zur Verfügung gestellt wird, erzeugt das PV-Modul elektrische Energie. Da der Wirkungsgrad von PV-Modulen stark temperaturabhängig ist, kann durch das Abführen der thermischen Energie eine Effizienzsteigerung bei der Stromerzeugung von bis zu 10 % erzielt werden. In Zeiten ohne Solarstrahlung kann der Luft-Wärmetauscher an der Rückseite des PVT-Kollektors aus der Umgebungsluft weiterhin Energie ziehen. Beim hier betrachteten PVT-System liegt die Einsatzgrenze bei einer Außentemperatur von -12 °C, die Betriebsgrenze der Sole-Wärmepumpe bei -15 °C. Wärmeverteilung und Trinkwarmwasserbereitung bleiben unverändert gegenüber den vorangegangenen Versorgungskonzepten.

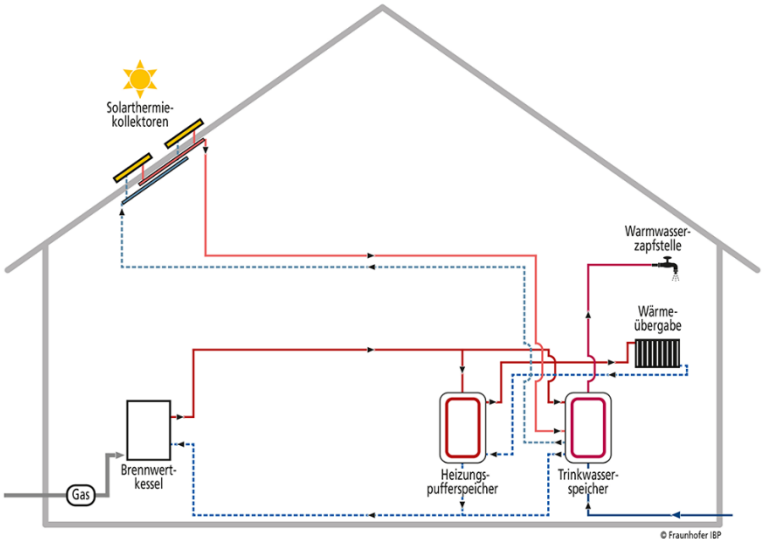
Wasser-Wasser-Wärmepumpe



Beschreibung:

Wasser-Wasser-Wärmepumpen nutzen das Grundwasser als Wärmequelle. Das Grundwasser, das ganzjährig eine Temperatur zwischen 8 und 12 °C bietet, wird über eine Pumpe aus dem Ansaugbrunnen zur Wärmepumpe gefördert und dort über einen Wärmetauscher an das Wärmeträgermedium der Wärmepumpe übergeben. Das abgekühlte Grundwasser wird über einen Schluckbrunnen wieder dem Untergrund zugeführt. Die Wärmeverteilung im Gebäude erfolgt in Analogie zu den oben beschriebenen Wärmepumpensystemen. Voraussetzung für den Betrieb einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe ist einerseits eine ausreichende Grundwassermenge, andererseits eine möglichst hohe Reinheit des Grundwassers. Für die Bohrung der Grundwasserbrunnen ist eine Genehmigung bei der unteren Wasserbehörde einzuholen. Aufgrund des erhöhten Installationsaufwands liegt der Einsatzbereich von Wasser-Wasser-Wärmepumpen hauptsächlich bei größeren Gebäuden mit einem hohen Leistungsbedarf.

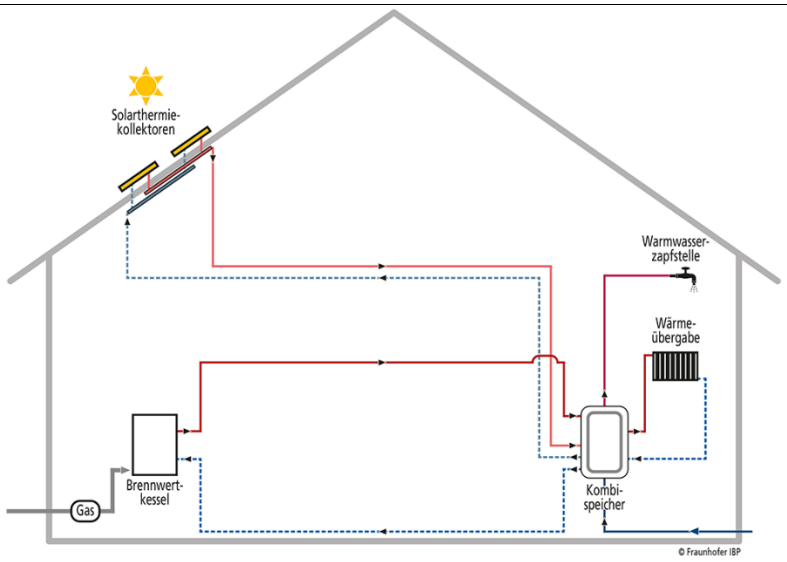
Gas-Brennwertkessel mit solarer Trinkwarmwasserbereitung



Beschreibung:

Eine weitverbreitete Variante der Wärmeerzeugung mit niedrigen Investitionskosten ist der Gas-Brennwertkessel mit solarer Trinkwarmwasserbereitung. Das System besteht aus einem Solarkollektor für die Brauchwassererwärmung, einem Gas-Brennwertkessel für die Heizung und einem solaren Trinkwarmwasserspeicher, der von beiden Wärmeerzeugern beheizt wird. Die Dimensionierung der thermischen Solaranlage erfolgt nach DIN V 18599-8:2018-09 Damit die Brennwerttechnik einen möglichst hohen Wirkungsgrad erreichen kann, werden die Systemtemperaturen im Heizkreis auf 55/45 °C begrenzt. Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt zentral mit Zirkulation.

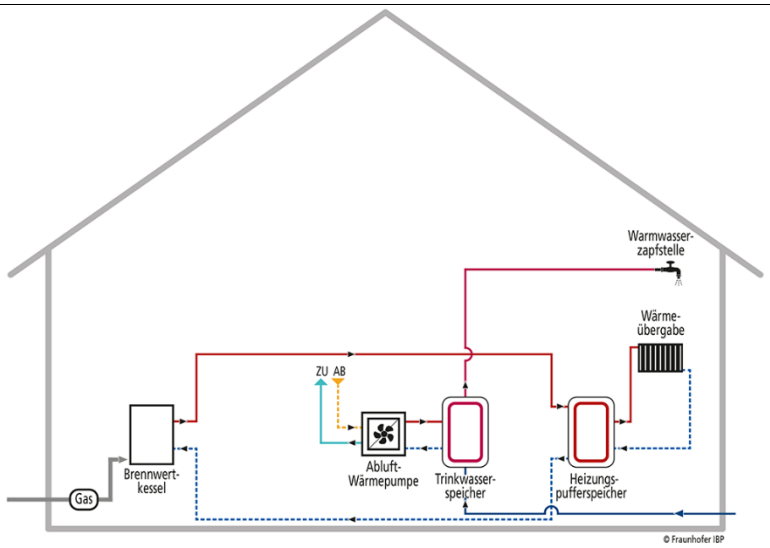
Gas-Brennwertkessel mit solarer Heizungsunterstützung



Beschreibung:

Um den solaren Deckungsanteil bei der Wärmeerzeugung zu erhöhen, kann die thermische Solaranlage auch zur Heizungsunterstützung eingesetzt werden. Die Komponenten des Versorgungskonzepts bestehen aus einem Gas-Brennwertkessel, einer thermischen Solaranlage sowie einem Wärmespeicher. Im Gegensatz zum System mit solarer Trinkwarmwasserbereitung wird die Solarwärme nicht direkt an das Trinkwarmwasser abgegeben, sondern in den Pufferspeicher eingespeist. Für die Dimensionierung der Kollektorfläche kann vereinfacht mit dem 2,0-fachen der für die reine Trinkwarmwasserbereitung benötigten Kollektorfläche gemäß DIN V 18599-8:2018-09 gerechnet werden (vgl. [BDH 2019]). Um in den Übergangsmonaten einen möglichst hohen Ertrag zu erzielen, wird eine Südorientierung mit einem Neigungswinkel von 45° angesetzt. Die Systemtemperaturen für den Heizkreis orientieren sich an den Anforderungen der Brennwerttechnik. Die Trinkwarmwasserverteilung erfolgt zentral mit Zirkulation.

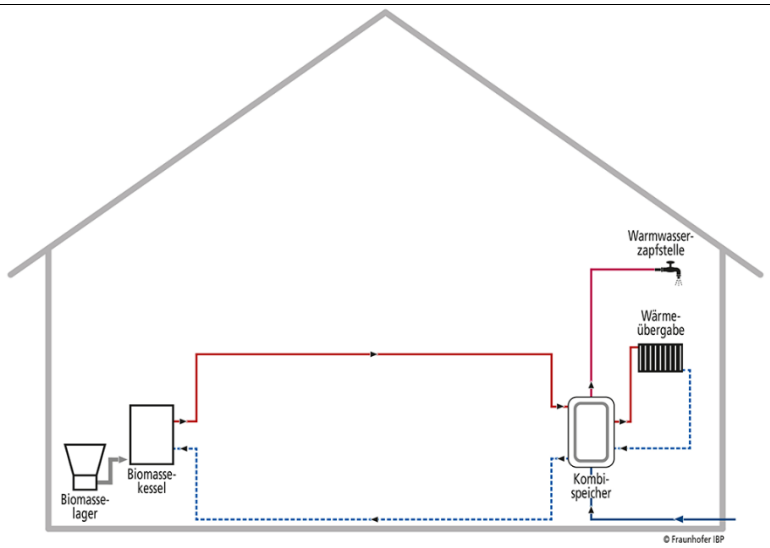
Gas-Brennwertkessel mit Abluft-Wärmepumpe



Beschreibung:

Eine Alternative zur Kombination von konventioneller Brennwerttechnik mit Solarthermie ist die Einbindung von Abluft-Wärmepumpen für die Trinkwarmwasserbereitung. In diesem Versorgungskonzept erfolgen Trinkwarmwasserbereitung und Heizung getrennt voneinander durch unterschiedliche Wärmeerzeuger. Für die Beheizung der Gebäude wird ausschließlich der Gas-Brennwertkessel eingesetzt, die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt wohnungsweise mittels Wärmepumpen. Als Wärmequelle wird die Abluft einer Wohnungslüftungsanlage verwendet. Aufgrund der konstant hohen Temperatur der Abluft ist ein besonders effizienter Wärmepumpenbetrieb möglich. Durch die dezentrale Anordnung der Trinkwarmwasserbereitung lassen sich zudem die Verteilverluste reduzieren. Die zur Verfügung stehende Wärmemenge und die damit erzielbare Wärmeleistung für die Warmwasserbereitung sind jedoch sehr begrenzt, so dass eine Trinkwarmwasserspeicherung notwendig wird und die Abluft-Wärmepumpe im Dauerbetrieb läuft.

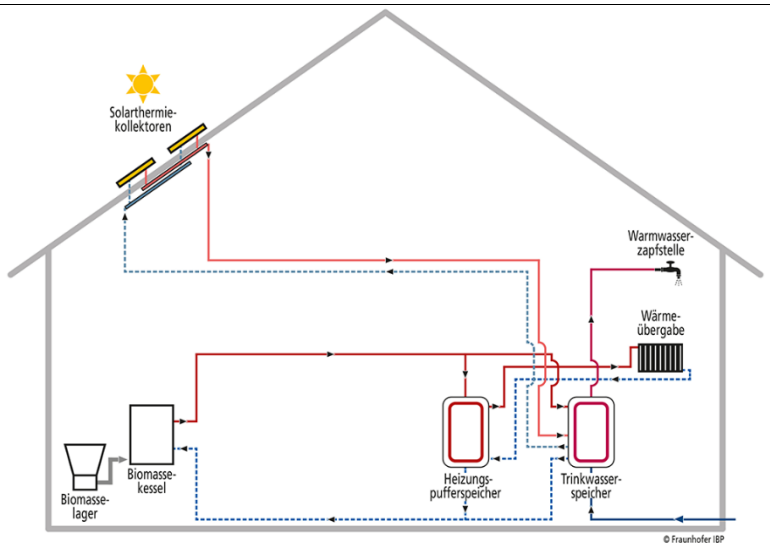
Biomassekessel



Beschreibung:

Klimaschonender als ein Gas-Brennwertkessel ist die Wärmeerzeugung mit einem Biomassekessel. Als Festbrennstoffe werden in der Regel Hackschnitzel oder Holzpellets eingesetzt. Aber auch bei der Verbrennung von Biomasse entstehen Schadstoffe wie beispielsweise Feinstaub. Für die Lagerung des Brennstoffes wird ausreichend Platz für ein Silo oder einen Tank benötigt. Die Beschickung des Biomassekessels erfolgt über eine Förderschnecke oder ein Ansaugen des Brennstoffes. Je nach Bauart des Biomassekessels sind thermische Wirkungsgrade von 92 % (Standardkessel) bis zu 103 % (Brennwertkessel für Holzpellets) erreichbar. Damit die Biomasseheizung in einem optimalen Leistungsbereich arbeiten kann und ein häufiges Ein- und Ausschalten des Wärmeerzeugers vermieden wird, sollte ein zusätzlicher Pufferspeicher vorgesehen werden. Da der Standardkessel auch mit Vorlauftemperaturen von 70 °C effizient arbeiten kann, ist das Versorgungssystem auch in unsanierten Bestandsbauten nutzbar. Das Tool geht von einem Standardkessel mit Baujahr nach 1994 und einer Systemtemperatur von 70/55 °C aus.

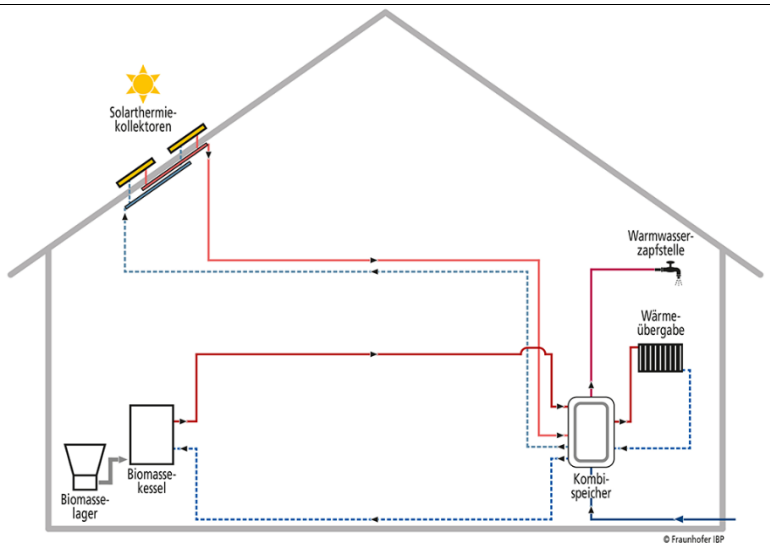
Biomassekessel mit solarer Trinkwarmwasserbereitung



Beschreibung:

Vergleichbar zur Variante mit Gas-Brennwertkessel kann auch der Biomassekessel mit einer solaren Trinkwarmwasserbereitung kombiniert werden. Das Versorgungskonzept setzt sich zusammen aus einem Biomassekessel, einem Solarkollektor zur Brauchwasserbereitung und einem solaren Trinkwarmwasserspeicher. Die Dimensionierung der thermischen Solaranlage erfolgt nach den gleichen Ansätzen wie bei einer Kombination mit Gas-Brennwertkessel. Die Systemtemperatur im Heizkreis kann bei Verwendung eines Standardkessels mit 70/50 °C etwas höher angesetzt werden.

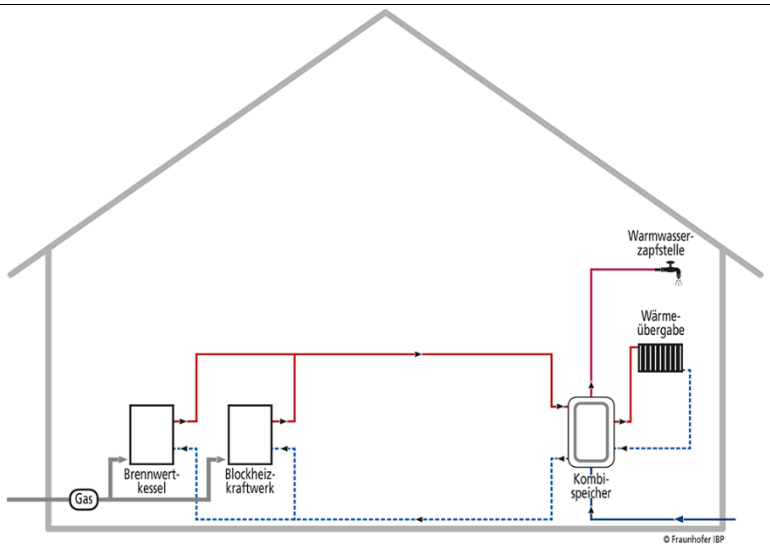
Biomassekessel mit solarer Heizungsunterstützung



Beschreibung:

Auch eine Kombination des Biomassekessels mit einer solaren Heizungsunterstützung ist denkbar. Hierfür wird der thermische Sonnenkollektor größer dimensioniert und die Solarwärme in den Pufferspeicher übergeben. Auf einen separaten solaren Trinkwarmwasserspeicher wird verzichtet, stattdessen erfolgt die Warmwasserbereitung im Durchflussprinzip im Pufferspeicher. Die Dimensionierung der thermischen Solaranlage erfolgt nach den gleichen Ansätzen wie bei der Variante mit Gas-Brennwertkessel. Bei Verwendung eines Standardkessels kann die Systemtemperatur im Heizkreis auf 70/50 °C festgelegt werden.

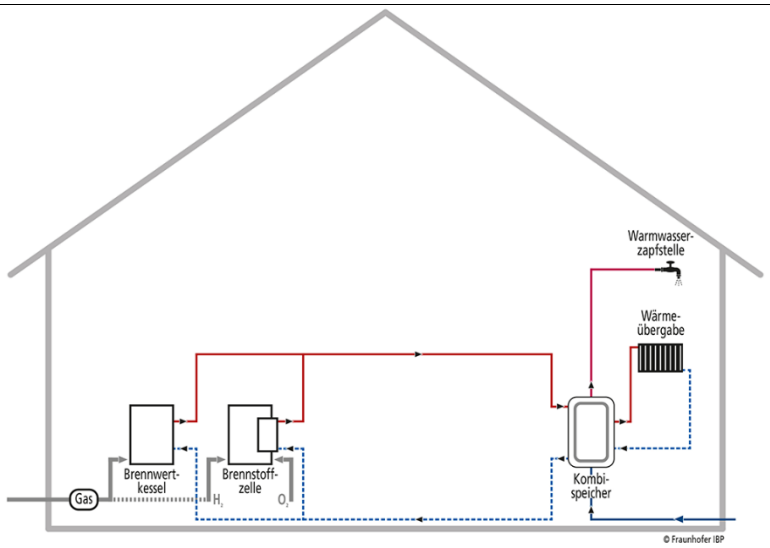
Gas-BHKW mit Gas-Brennwertkessel für Spitzenlast



Beschreibung:

Eine besondere Form der Energieerzeugung ist die gekoppelte Kraft- und Wärmeerzeugung in einem Blockheizkraftwerk (BHKW). Dabei wird primär Strom erzeugt und die bei der Verbrennung anfallende Abwärme für die Wärmeversorgung genutzt. Der große betriebliche Vorteil eines BHKW gegenüber erneuerbaren Energiesystemen ist dessen Grundlastfähigkeit, d. h., dass Strom zeitlich unabhängig zur Verfügung gestellt werden kann, vorausgesetzt die entstehende Wärme kann abgeführt oder in einem Pufferspeicher gespeichert werden. Für einen wirtschaftlichen Betrieb des BHKW sind Volllaststunden von über 5.000 Stunden erforderlich. Die Dimensionierung des BHKW orientiert sich daher an der thermischen Grundlast des Gebäudes zuzüglich der Speicherkapazität des Pufferspeichers. Die Spitzenlasten, die nicht durch das BHKW gedeckt sind, werden durch einen Gas-Brennwertkessel bereitgestellt.). Der Anteil der KWK an der erforderlichen Heizleistung wird pauschal mit 35 % angesetzt. Zur Berechnung des Stromertrags aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird für kleine BHKW mit einer thermischen Leistung bis 20 kW ein thermischer Wirkungsgrad von 60 % und eine Stromkennzahl von 0,35 angesetzt. Für die größeren BHKW ab einer thermischen Leistung von 20 kW wird ein elektrischer Wirkungsgrad von 35 % und ein thermischer Wirkungsgrad von 50 % angenommen (vgl. DIN V 18599:2018-09). Der Anteil der KWK an der erforderlichen Heizleistung wird pauschal mit 35 % angesetzt.

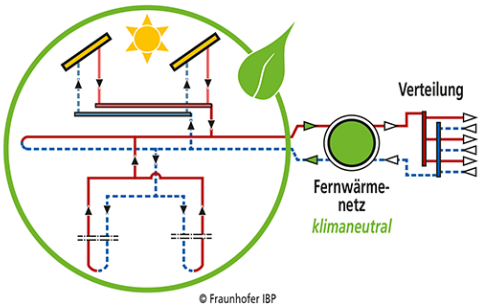
Brennstoffzelle mit Gas-Brennwertkessel für Spitzenlast



Beschreibung:

Eine besondere Form der Kraft-Wärme-Kopplung stellt die Brennstoffzellenheizung dar. Sie erzeugt Strom und Wärme nicht wie klassische BHKW durch Verbrennung, sondern infolge eines elektrochemischen Prozesses. Der Gesamtwirkungsgrad dieser sogenannten „kalten Verbrennung“ liegt bei ca. 90 %, wobei die Brennstoffzelle einen besonders hohen elektrischen Wirkungsgrad (ca. 40 %) aufweist. Um Wasserstoff zu erzeugen, wird der Brennstoffzelle Erdgas zugeführt. Im Reformer wird das Erdgas mit Wasserdampf gemischt und in die Brennstoffzelle geleitet. Dort reagiert der Wasserstoff mit Sauerstoff und erzeugt Strom und Wärme. Damit die Brennstoffzelle effektiv und wirtschaftlich arbeitet, ist ein kontinuierlicher Betrieb und ein hoher Eigenverbrauchsanteil notwendig. Um dies zu erreichen, wird ein Wärmespeicher in das System integriert und ein Zusatzheizer für die Spitzenlastabdeckung vorgesehen. Für die Potenzialabschätzung wird von einem KWK-Deckungsanteil von 10 % ausgegangen.

Fernwärme (klimaneutral)



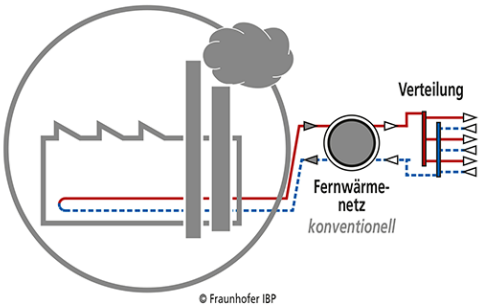
Beschreibung:

Das Quartier wird an die bereits vorhandene quartiersübergreifende Fernwärme angeschlossen. Dabei können die Gebäude entweder einzeln an die Fernwärme angeschlossen werden (dezentrales Versorgungskonzept) oder die Fernwärme dient als Wärmeerzeuger für ein Quartiersnetz. Die Wärmeübertragung vom Wärmenetz an das Gebäude erfolgt über einen Wärmetauscher in der Übergabestation. Die Wärmeverteilung im Gebäude ist vergleichbar mit Versorgungskonzepten mit lokalen Wärmeerzeugern. Um die Anschlussleistung in einem sinnvollen und kostengünstigen Rahmen zu halten, werden Anschlüsse an ein Wärmenetz in der Regel mit Pufferspeichern geplant. Für die Trinkwarmwasserbereitung wird eine zentrale Verteilung mit Zirkulation angesetzt.

Durch die Nutzung von erneuerbaren Energien (z. B. Biomasse, Solarthermie oder PV-Strom) wird die Fernwärme nahezu bzw. vollständig klimaneutral erzeugt. Durch die räumliche Distanz der Wärmeerzeugung sind die Umweltbelastungen im Versorgungsgebiet minimiert.

Es wird keine Kombination mit dezentralen Wärmeerzeugern betrachtet und keine Differenzierung hinsichtlich eines möglichen Anschlusses an den Rücklauf der Fernwärme vorgenommen.

Fernwärme (konventionell)

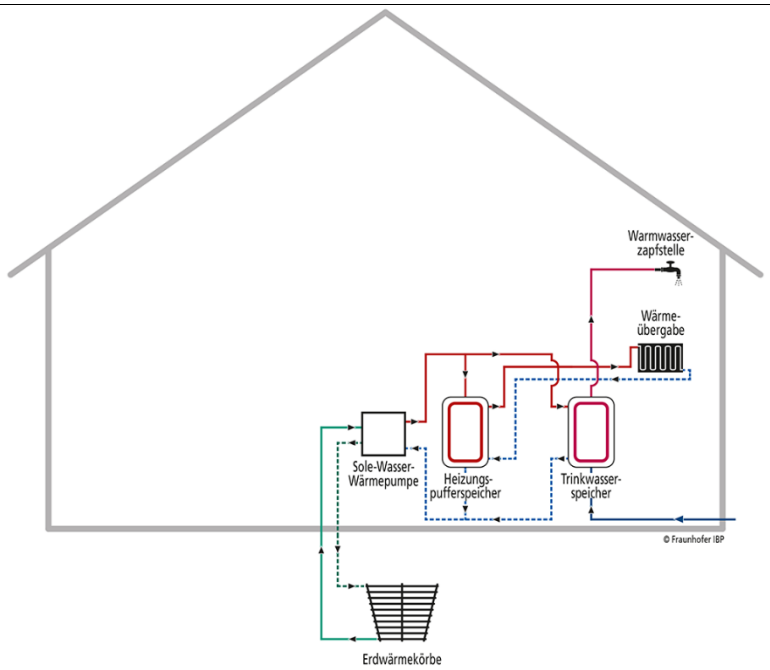


Beschreibung:

Das Quartier wird an die bereits vorhandene quartiersübergreifende Fernwärme angeschlossen. Dabei können die Gebäude entweder einzeln an die Fernwärme angeschlossen werden (dezentrales Versorgungskonzept) oder die Fernwärme dient als Wärmeerzeuger für ein Quartiersnetz. Die Wärmeübertragung vom Wärmenetz an das Gebäude erfolgt über einen Wärmetauscher in der Übergabestation. Die Wärmeverteilung im Gebäude ist vergleichbar mit Versorgungskonzepten mit lokalen Wärmeerzeugern. Um die Anschlussleistung in einem sinnvollen und kostengünstigen Rahmen zu halten, werden Anschlüsse an ein Wärmenetz in der Regel mit Pufferspeichern geplant. Für die Trinkwarmwasserbereitung wird eine zentrale Verteilung mit Zirkulation angesetzt.

Es wird keine Kombination mit dezentralen Wärmeerzeugern betrachtet und keine Differenzierung hinsichtlich eines möglichen Anschluss an den Rücklauf der Fernwärme vorgenommen.

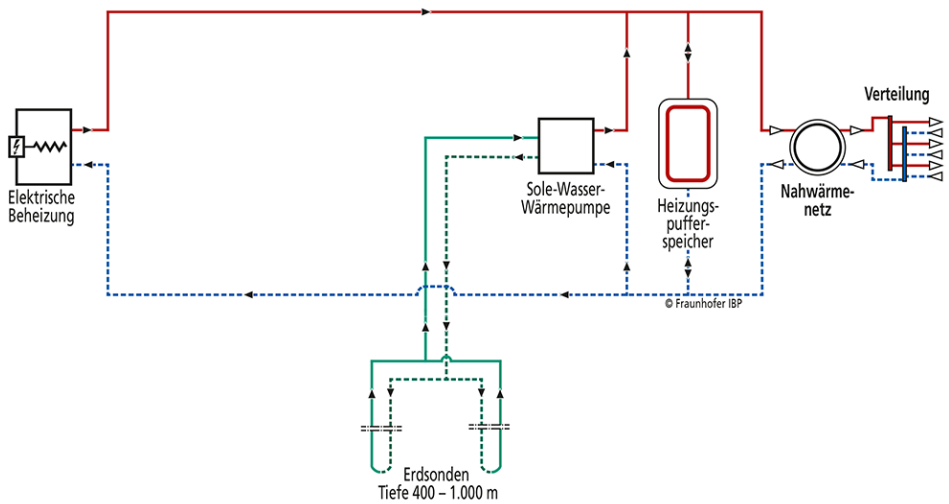
Nahwärme Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Agrothermie



Beschreibung:

In diesem Versorgungskonzept dient ein Erdkollektor als Wärmequelle für die angeschlossene Wärmepumpe. Konventionelle Erdkollektoren werden häufig durch Grabenbau oder Aushub errichtet und eignen sich somit nicht für den großflächigen Einsatz. Das Tool betrachtet Agrothermiefelder, bei denen die Rohre des Erdkollektors über einen speziellen Pflug in rund 2 m Tiefe eingebracht werden. Aufgrund der Verlegetiefe können die Flächen weiter als landwirtschaftliche Ackerfläche genutzt werden. Die Regeneration des Erdkollektors erfolgt aufgrund der geringen Tiefe durch die Solarstrahlung und den Niederschlag.

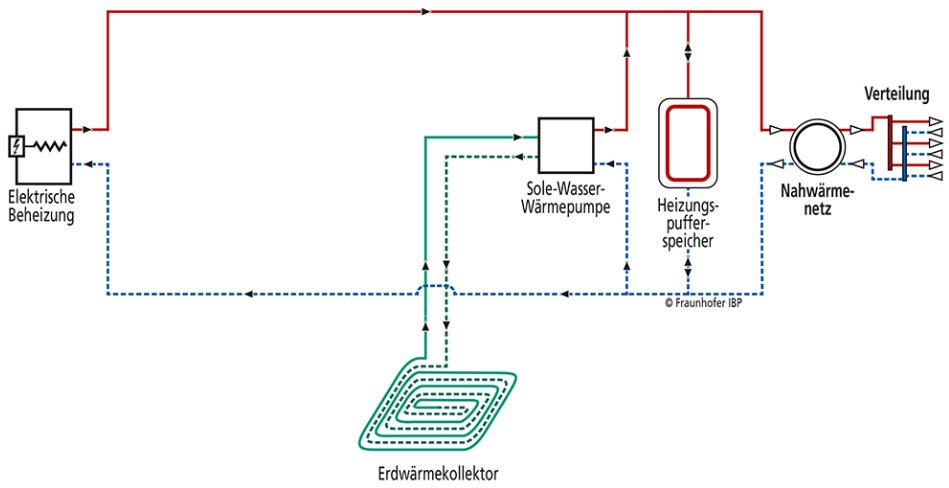
Nahwärme Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden



Beschreibung:

In diesem Versorgungskonzept nutzt die zentral aufgestellte Sole-Wasser-Wärmepumpe als Wärmequelle ein Erdsondenfeld, welches sich in räumlicher Nähe zur Quartiersheizzentrale befindet. Die Sole wird vom Erdsondenfeld über Soleleitungen durch Solepumpen zur Heizzentrale transportiert. Dort erfolgt der Wärmeentzug durch die Wärmepumpe. Anschließend wird die abgekühlte Sole zurück ins Erdsondenfeld gepumpt. Erdsondenfelder erzielen aufgrund der Erschließung tieferer Erdschichten (bis zu 100 m) konstant hohe Quellentemperaturen. Bei größeren Erdsondenfeldern ist die natürliche Regeneration des Erdreichs nicht ausreichend. Eine Möglichkeit, die Regeneration des Erdreichs zu unterstützen, ist die Anbindung von Kühlanlagen ans Erdreich.

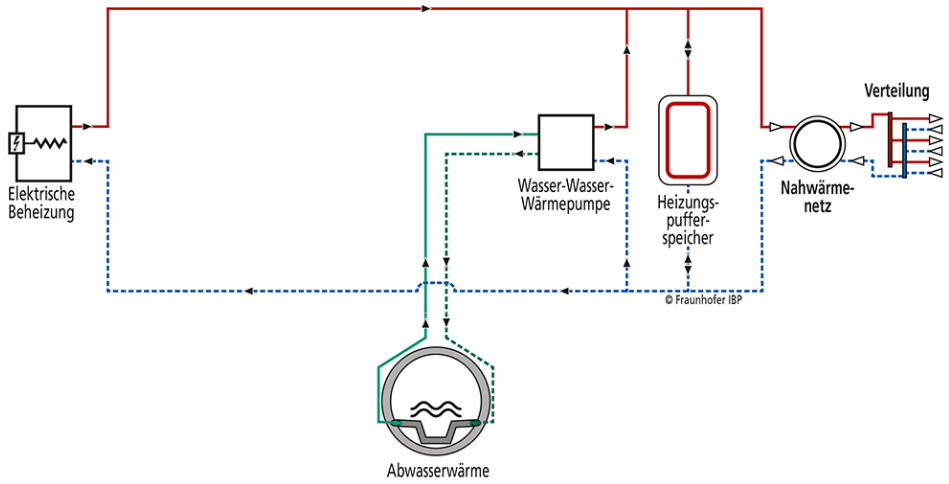
Nahwärme Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Agrothermie



Beschreibung:

In diesem Versorgungskonzept dient ein Erdkollektor als Wärmequelle für die angeschlossene Wärmepumpe. Konventionelle Erdkollektoren werden häufig durch Grabenbau oder Aushub errichtet und eignen sich somit nicht für den großflächigen Einsatz. Das Tool betrachtet Agrothermiefelder, bei denen die Rohre des Erdkollektors über einen speziellen Pflug in rund 2 m Tiefe eingebracht werden. Aufgrund der Verlegetiefe können die Flächen weiter als landwirtschaftliche Ackerfläche genutzt werden. Die Regeneration des Erdkollektors erfolgt aufgrund der geringen Tiefe durch die Solarstrahlung und den Niederschlag.

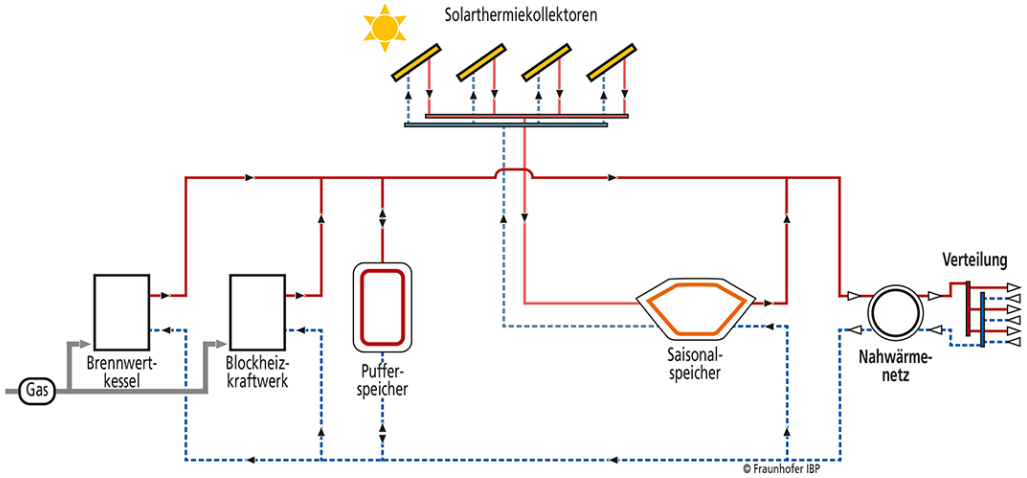
Nahwärme Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Abwasserwärmerückgewinnung



Beschreibung:

Städtische Abwässer erreichen ganzjährig ein Temperaturniveau, welches sich gut als Wärmequelle für Wärmepumpen nutzen lässt. Aufgrund der Investitionskosten ist dieses Konzept eher für größere Liegenschaften und Wohnquartiere geeignet. Es gibt verschiedene Arten der Abwasserwärmenutzung, wobei im Tool mit Edelstahl-Wärmetauschern gerechnet wird, welche innerhalb des Kanals am Boden angebracht werden. Dadurch wird sichergestellt, dass die Wärmetauscher auch bei geringen Abflussmengen überströmt werden und somit ein Wärmeentzug ermöglicht wird.

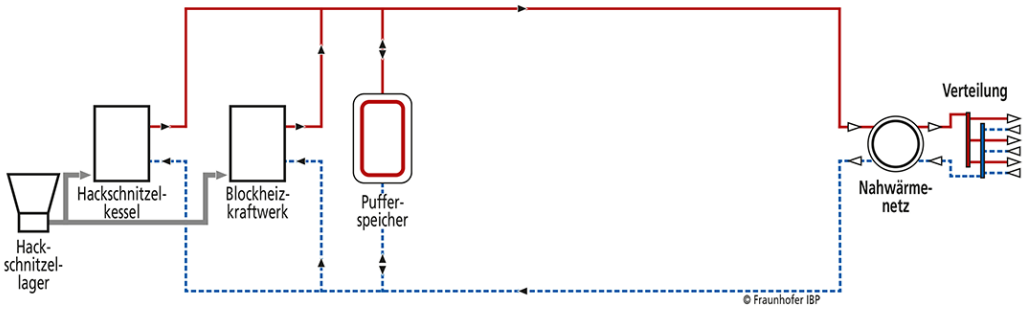
Nahwärme Solarthermie mit saisonaler Speicherung und Gas-BHKW



Beschreibung:

Für dieses Versorgungskonzept werden großflächige Solarthermie-Kollektorfelder bestehend aus Flachkollektoren aufgebaut, deren Wärme in großen saisonalen Wärmespeichern gespeichert wird. Für die Betrachtung wird eine ambitionierte solare Deckung von 50 % angesetzt, woraus sich die Kollektorfläche und die Speichergröße für die jeweilige Siedlungstypologie ergeben. Die restliche benötigte Wärme wird über ein Gas-BHKW mit einem Gesamtwirkungsgrad von 90 % sowie einen Gas-Spitzenlastkessel (η_{th} = 100 %) zur Verfügung gestellt. Die Stromkennzahl des BHKW wird gemäß DIN V 18599-9:2018-09, Tabelle 6 in Abhängigkeit der elektrischen Leistung des BHKW berechnet. Der Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung an der benötigten Wärmeleistung wird mit 25 % angenommen, was bei einem solaren Deckungsanteil von 50 % zu niedrigen Volllaststunden führt.

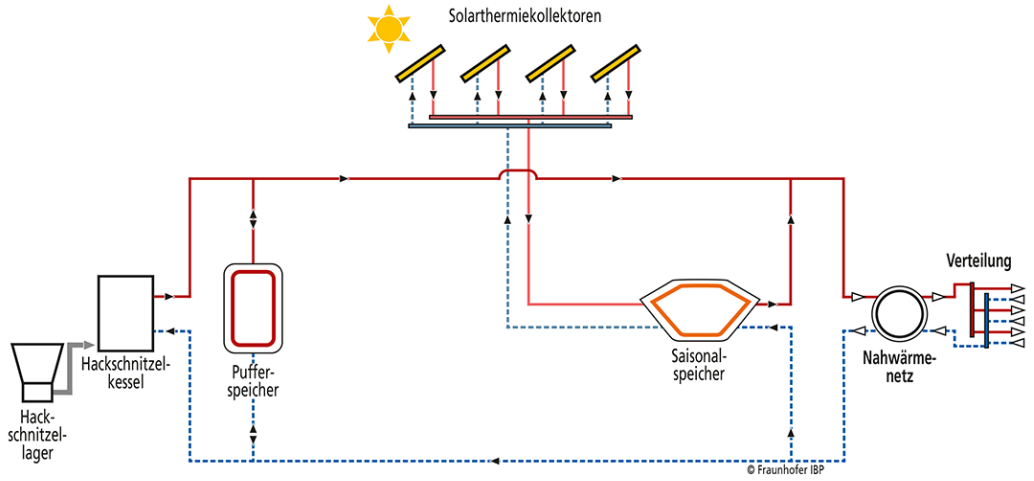
Nahwärme Hackschnitzel-BHKW mit Hackschnitzelkessel für Spitzenlast



Beschreibung:

Bei diesem Versorgungskonzept werden ausschließlich Holzhackschnitzel als Energieträger eingesetzt. Die Grundlasterzeugung der Wärme erfolgt über ein Holzgas-BHKW mit einem Deckungsanteil von 25 %. Das dafür benötigte Holzgas wird von einem Holzvergaser bereitgestellt ($\eta_{Vergaser}$ = 88 %) und direkt dem Holzgas-BHKW zugeführt. Die sowohl im Holzvergaser als auch im Holzgas-BHKW entstehende Abwärme wird zur Bedarfsdeckung im Wärmenetz eingesetzt. Die Spitzenlasten werden durch einen Holzhackschnitzelkessel (η_{th} = 93 %) abgedeckt. Der Gesamtnutzungsgrad des BHKW wird nach DIN V 18599-9:2018-09, Tabelle 6 mit 87 % angesetzt. Die Stromkennzahl wird mit 0,5 abgeschätzt.

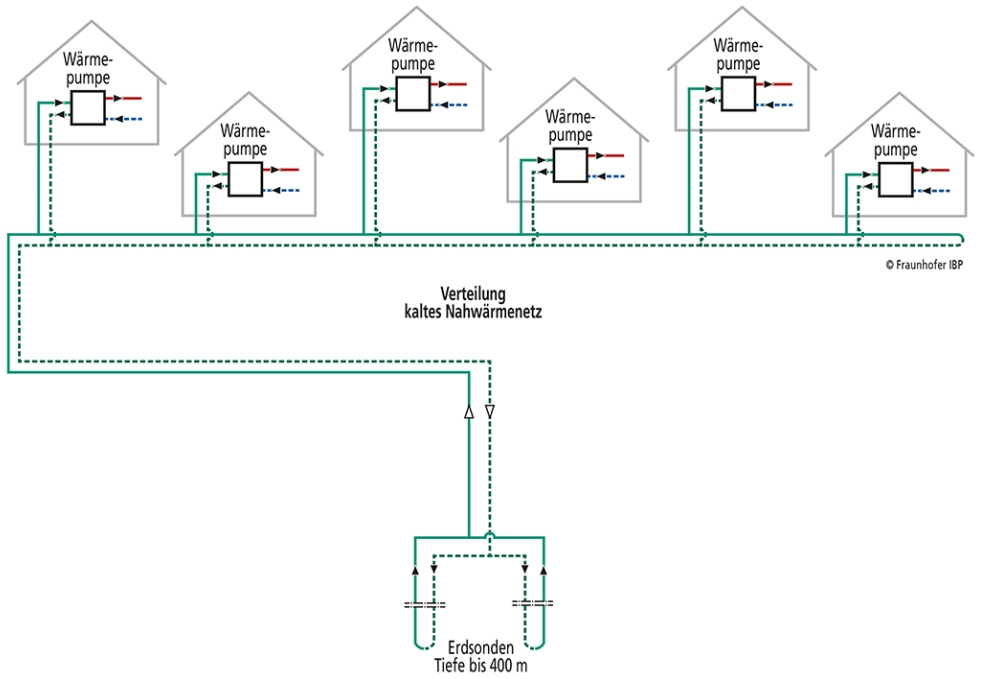
Nahwärme Solarthermie mit saisonaler Speicherung und Holzhackschnitzelkessel



Beschreibung:

Für dieses Versorgungskonzept werden großflächige Solarthermie-Kollektorfelder bestehend aus Flachkollektoren aufgebaut, deren Wärme in großen saisonalen Wärmespeichern gespeichert wird. Im Tool wird für die Bewertung eine solare Deckung von 50 % angesetzt, woraus sich die Kollektorfläche und die Speichergröße für den jeweiligen Siedlungstyp ableiten lassen. Die verbleibende zu deckende Wärme wird über einen Holzhackschnitzelkessel (η_{th} = 93 %) bereitgestellt.

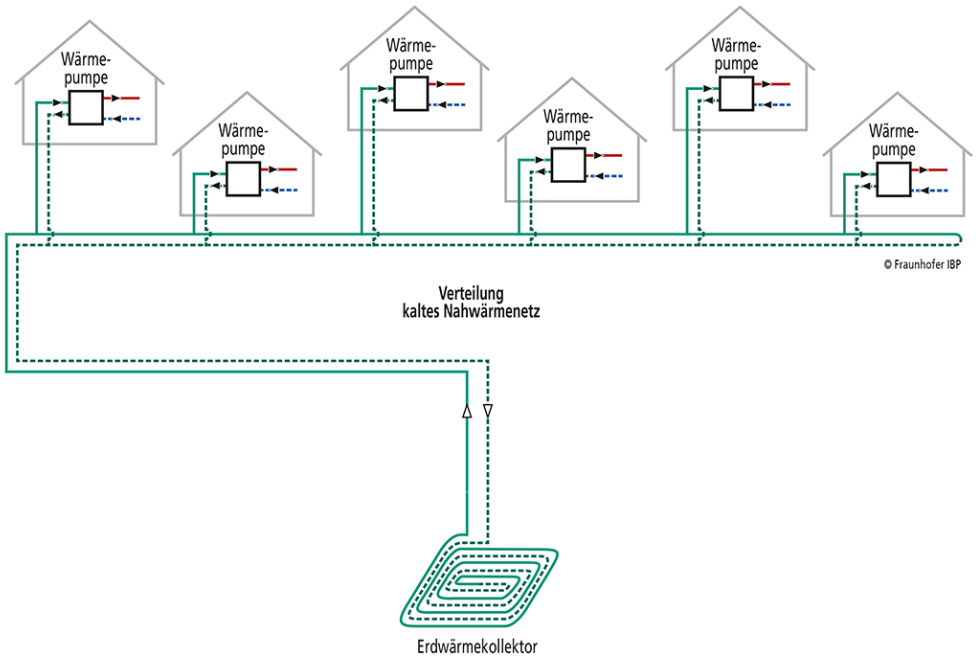
Kalte Nahwärme gespeist aus Erdsonden



Beschreibung:

Bei der hier betrachteten kalten Nahwärme wird die Sole aus dem angeschlossenen Erdsondenfeld über ein ungedämmtes, im Erdreich verlegtes Nahwärmenetz an die Gebäude verteilt. Das Temperaturniveau im Vorlauf der kalten Nahwärme entspricht dabei der Soletemperatur, welche aus den Erdsonden entnommen wird. Die kalte Nahwärme wird im Gebäude direkt an die Sole-Wasser-Wärmepumpe angeschlossen und dient dieser als Wärmequelle. Die ungedämmten Erdleitungen können zusätzliche Wärme aus dem Erdreich aufnehmen. Es werden dezentrale Pumpen an den Wärmepumpen genutzt, um die Sole zu zirkulieren.

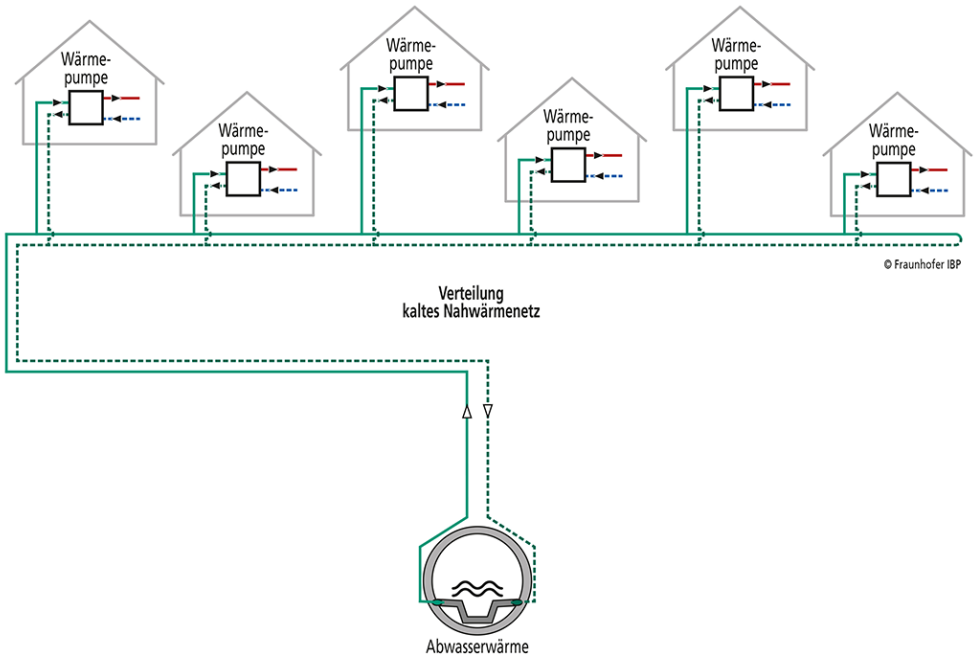
Kalte Nahwärme gespeist aus einem Agrothermiekollektor



Beschreibung:

Für dieses Versorgungskonzept dient ein Agrothermiekollektor als Wärmequelle für die kalte Nahwärme. Die gewonnene regenerative Wärme wird über ungedämmte, im Erdreich verlegte Nahwärmenetzleitungen an die Gebäude verteilt. Das Temperaturniveau im Vorlauf der kalten Nahwärme entspricht dabei der Soletemperatur, die aus dem Agrothermiekollektor entnommen wird. Die kalte Nahwärme wird im Gebäude direkt an die Sole-Wasser-Wärmepumpe angeschlossen und dient dieser als Wärmequelle. Die ungedämmten Erdleitungen können zusätzliche Wärme aus dem Erdreich aufnehmen. Es werden dezentrale Pumpen an den Wärmepumpen genutzt, um die Sole zu zirkulieren.

Kalte Nahwärme aus Abwasserwärme



Beschreibung:

Für die Versorgung der dezentral aufgestellten und an das kalte Nahwärmenetz direkt angeschlossenen Sole-Wasser-Wärmepumpen wird in diesem Versorgungskonzept die Abwasserwärmerückgewinnung verwendet. Dabei wird der Edelstahl-Wärmetauscher, welcher am Boden des Abwasserkanals installiert ist, mit einer Soleflüssigkeit durchströmt. Die Sole wird über die erdverlegten, ungedämmten Wärmenetzleitungen zu den einzelnen Gebäuden transportiert, wobei der Medientransport von den dezentral angeordneten Pumpen übernommen wird.