



STADTQUARTIER 2050

Partner:



Universität Stuttgart



überlingen



Assoziierte Partner:



M 2.2.1

Energiekonzept für das Demonstrationsquartier Schättlisberg in Überlingen

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

Michael Maucher, Energieagentur Ravensburg gGmbH
Anna Söder, Energieagentur Ravensburg gGmbH

Ravensburg, 10.02.2023

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	3
Einleitung	5
1 Ausgangslage	6
2 Endenergiebedarf	8
2.1 Thermischer Endenergiebedarf/-verbrauch der Gebäude	8
2.2 Elektrischer Endenergiebedarf der Gebäude	9
3 Energieerzeugung	10
3.1 Wärmeerzeugung	10
3.1.1 Wärmespeicherung	12
3.1.2 Alternative Ansätze zur Wärmebereitstellung	13
3.2 Stromerzeugung	14
4 Energieverteilung	16
4.1 Stromverteilung	16
4.2 Wärmeverteilung	17
5 Projektbezogene Emissionsfaktoren und Emissionen	18
5.1 Strom	18
5.2 Wärme	20
5.2.1 Bestand	20
5.2.2 Neubau	21
5.3 Zusammenfassung der Energiemengen und Emissionsfaktoren - Gegenüberstellung der konventionellen und nachhaltigen Lösung	22
6 Sonstiges	24
6.1 Low-Tech-Ansätze	24
6.2 Quartiersapp	25
7 Klimaneutrales Demonstrationsquartier Schättlisberg	26
7.1 Definition Klimaneutralität	26
7.2 Maßnahmen zur Erreichung der Klimaneutralität	26

8	Fazit	28
	Anhang	30
	Literaturverzeichnis	32

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bezeichnung		
BGÜ	Baugenossenschaft Überlingen eG		
BHKW	Blockheizkraftwerk		
BMBF	Bundesministerien für Bildung und Forschung		
BMWK	Wirtschaft und Klimaschutz		
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau		
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung		
PU	Polyurethan		
SWSee	Stadtwerk am See GmbH & Co. KG		
Formelzeichen	Beschreibung	Wert	Einheit
A_{PV}	Zur Kompensation der Treibhausgase nötige PV-Fläche	1.883	m ²
$A_{PV_{spez}}$	Spezifische Fläche pro kW _p	5,5	m ² /kW _p
ε_{Erdgas}	CO ₂ -Äquivalent-Faktor Erdgas	0,24	kg/kWh
ε_{Holz}	CO ₂ -Äquivalent-Faktor Holzhackschnitzel	0,04	kg/kWh
ε_{KWK}	CO ₂ -Äquivalent-Faktor BHKW-Wärme und -Strom	-0,031	kg/kWh
ε_{Netz}	Emissionsfaktor des deutschen Strommixes	0,55	kg/kWh
$\varepsilon_{Neubau_{konv}}$	CO ₂ -Äquivalent-Faktor der hypothetischen konventionellen Wärmeversorgung Neubau	0,204	kg/kWh
ε_{NW}	Emissionsfaktor des Wärmenetzes	0,058	kg/kWh

$\epsilon_{\text{Öko}}$	CO ₂ -Äquivalent-Faktor des netzbezogenen Ökostroms	0,03	kg/kWh
ϵ_{PV}	CO ₂ -Äquivalent-Faktor des PV-Stroms	0,0	kg/kWh
$\epsilon_{Solar_{th}}$	CO ₂ -Äquivalent-Faktor der Solarthermie	0,0	kg/kWh
$\epsilon_{Strom_{NH}}$	Emissionsfaktor des Stroms der nachhaltigen Lösung	0,012	kg/kWh
ϵ_{Verdr}	CO ₂ -Äquivalent-Faktor des Verdrängungsstrommises KWK	0,86	kg/kWh
m_{CO_2}	Masse der jährlich entstehenden Treibhausgasemissionen	174	t/a
$\eta_{KWK_{el}}$	Elektrischer Wirkungsgrad des BHKWs	31	%
$\eta_{KWK_{th}}$	Thermischer Wirkungsgrad des BHKWs	56	%
Q_{KWK}	BHKW-Wärme, die dem Quartier zugesprochen wird	138.094	kWh/a
W_{KWK}	BHKW-Strom, der dem Quartier zugesprochen wird	76.719	kWh/a
$W_{PV_{spez}}$	Spezifischer PV-Ertrag pro kW _p	950	kWh/kW _p
χ_{Erdgas}	Anteil der Erdgas-Spitzenlast an der Quartiersversorgung	15	%
$\chi_{Erdgas_{Neubau_{konv}}}$	Anteil Erdgas an der hypothetischen konventionellen Wärmeversorgung Neubau	85	%
χ_{Holz}	Anteil des Holzhackschnitzelkessels an der Gesamtversorgung	60	%
$\chi_{KWK_{el}}$	Anteil des BHKW-Stroms an der Quartiersversorgung	7,5	%
$\chi_{KWK_{th}}$	Anteil der BHKW-Wärme an der Quartiersversorgung	5	%
$\chi_{\text{Öko}}$	Anteil des netzbezogenen Ökostroms an der Quartiersversorgung	49,1	%
χ_{PV}	Anteil des PV-Stroms an der Quartiersversorgung	43,4	%
$\chi_{Solar_{th}}$	Anteil der Solarthermie an der Quartiersversorgung	20	%
$\chi_{Solar_{th}Neubau_{konv}}$	Anteil Solarthermie an der hypothetischen konventionellen Wärmeversorgung Neubau	15	%

Einleitung

Wie viele andere Städte auch steht die Stadt Überlingen vor der Herausforderung, zeitnah Wohnraum zu schaffen, der für alle Bevölkerungsgruppen bezahlbar ist und dabei gleichzeitig den hohen Anforderungen an den Klima- und Umweltschutz gerecht wird.



Im Rahmen der Förderinitiative „Solares Bauen - Energieeffiziente Stadt“ und unter dem Projekttitel „Verbundvorhaben EnStadt: STADTQUARTIER 2050 – Herausforderungen gemeinsam lösen“, entsteht nun das integrierte, generationenübergreifende, sozial durchmischte und ökologische Wohnquartier „Schättlisberg“ mit klimaneutraler Energieversorgung. Dieses Quartier besteht zum einen aus Bestandsbauten im Hildegardring, zum anderen aus Neubauten, die in der neuen Anna-Zentgraf-Straße entstehen.

Hoch über der Stadt am Bodensee stellt sich die Baugenossenschaft Überlingen (BGÜ) hier der Aufgabe, ein klimaneutrales und sozialverträgliches Neubauquartier zu errichten. Gefördert wird das Projekt als Leuchtturmvorhaben von den Bundesministerien für Bildung und Forschung (BMBF) sowie Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

Unter Einbezug aller relevanten Akteure werden innovative Konzepte zur Energie- und Wärmewende im Reallabor erforscht und umgesetzt. Der Übertragbarkeit auf andere Kommunen kommt dabei eine besondere Rolle zu, das Projekt fungiert somit als Pilotvorhaben für zukünftige Stadtentwicklungen in ganz Deutschland.

Realisiert werden die gesteckten Ziele von geringen Betriebskosten und sozialverträglichen Warmmieten durch einen außerordentlich hohen Dämmstandard und die dezentrale Stromerzeugung auf den Dächern des Neubauquartiers. Der geringe Wärmebedarf wird über das in weiten Teilen erneuerbare Nahwärmenetz des Stadtwerks am See (SWSee) gedeckt. Des Weiteren werden beim Bau LowTech-Ansätze verfolgt um auch den Strombedarf

zu minimieren und besonders energieeffiziente, ressourcenschonende, wirtschaftliche, robuste und langlebige Gebäude zu schaffen.

Als besondere Herausforderung gilt, das angrenzende Bestandsquartier im Hildegardring mit Mehrgeschossbauten aus den 1960er, 70er und 90er Jahren in das Projekt einzugliedern. Dies soll einerseits durch den Anschluss an das bestehende Nahwärmenetz des SWSee, andererseits durch energetische Ertüchtigung der Gebäude auf KfW Effizienzhaus 55, erfolgen. Dafür nötig ist das intensive Integrieren von Hausverwaltungen, Eigentümern und Bewohnern in die Ziele des Gesamtprojekts durch besonders umfangreiche Öffentlichkeitsarbeit und Motivation zur Teilnahme.

Die vorliegende erläuternde Darstellung des Energiekonzepts befasst sich mit Szenarien der Versorgung des Projektgebietes mit nachhaltiger thermischer und elektrischer Energie. Grundlage von Berechnungen der Energiebereitstellung sind Daten vom SWSee sowie den Photovoltaik-Planungen der BGÜ. Für die Darstellung des Energiebedarfs wird auf Berechnungen der Architekten und Energieberater der Baugenossenschaft Überlingen sowie auf Datenerhebungen bei den Hausverwaltungen des Gebäudebestands zurückgegriffen.

1 Ausgangslage

Das Projektgebiet in Überlingen umfasst ein Areal mit 12 Bestandsgebäuden mit insgesamt 240 Wohneinheiten im Hildegardring sowie 14 Neubauten der BGÜ und 4 Neubauten eines privaten Trägers in der Anna-Zentgraf-Straße mit insgesamt über 200 Wohneinheiten und einem geringen Umfang gewerblich genutzter Einheiten. Die Ausführung der Neubauten der BGÜ erfolgt während der Projektlaufzeit als KfW Effizienzhaus 40 plus.

Das Nahwärmenetz des SWSee reicht bereits vor Projektbeginn bis zur Grenze des untersuchten Gebiets. Die Wärmebereitstellung dieser netzgebundenen Energieversorgung erfolgt aktuell durch einen Holzhackschnitzelkessel, ein Blockheizkraftwerk (BHKW) sowie zwei Erdgas-Spitzenlastkessel. Im Projektverlauf wird der Hackschnitzelkessel vergrößert und 4.270 m² Freiflächen-Solarthermie integriert, um den steigenden Wärmebedarf abzudecken. Pufferspeicher sowohl in der Heizzentrale als auch in den einzelnen angeschlossenen Gebäuden verringern die Gleichzeitigkeit der Wärmebereitstellung und ermöglichen eine geringere Gesamtleistung der nicht-volatilen Wärmeerzeuger.

SQ2050:
 Übersicht
 Demonstrationsquartier
 Überlingen
 Version: 2
 Stand: 06. August 2021



Legende

Nahwärmeanschluss	Stummelanschluss	Kein Nahwärmenetzanschluss	Neubau	BGÜ-Eigentum	BGÜ-verwaltet	BGÜ-unabhängig
-------------------	------------------	----------------------------	--------	--------------	---------------	----------------

Bild 1: Projektgebiet mit Bestand und Neubau, inkl. Darstellung der Anschlussituation Wärmenetz

Das Demonstrationsquartier liegt hoch über der Stadt Überlingen, vollkommen unverschattet am Berg und ist demnach prädestiniert für die Nutzung von Solarenergie. Jeder Neubau wird mit entsprechenden PV-Anlagen ausgestattet. Auch im Bestandsbereich wird das Ziel verfolgt, dass Photovoltaikanlagen nachgerüstet werden.

Um die Nachhaltigkeit der Energieversorgung bewerten zu können, wird der CO₂-Ausstoß einer konventionellen Lösung (Energiesstandard nach EnEV bzw. GEG, konventionelle Energieträger Erdgas und Netzstrom) mit der in Überlingen gewählten Lösung (KfW Effizienzhaus 40 Plus, Nahwärmeversorgung durch das SWSee sowie PV-Eigen- und Ökostrom) verglichen.

2 Endenergiebedarf

Der Endenergiebedarf der Gebäude hängt stark vom Sanierungszustand im Bestand bzw. der Bauausführung im Neubau ab. Ein Ziel des Projekts besteht zwar darin, dass durch Aufklärung und Öffentlichkeitsarbeit die Bestandsbauten auf das KfW Effizienzhaus 55 saniert werden, aufgrund des mangelnden Einflusses der Projektbeteiligten fließt dieser Umstand jedoch nicht in die vorliegenden Berechnungen ein.

Die Neubauten der BGÜ wurden bereits innerhalb der Projektlaufzeit im KfW Effizienzhaus 40 Plus realisiert als Massivbauten mit PU-Außendämmung. Die Gebäudehülle weist gemäß der Fördervoraussetzungen eine um mind. 45 % bessere Dämmqualität auf (gewichteter Durchschnitt) als gesetzlich gefordert. Die Fenster wurden mit 3-Fach-Verglasung versehen, die Wärmeabgabe in den Wohnungen erfolgt über Fußbodenheizungen.

Die Warmwasserbereitung erfolgt gebäudezentral inklusive Zirkulationsleitung, die Wärme wird über das 3-Leiter-Nahwärmenetz des SWSee bereitgestellt (vgl. Abschnitt 4.2). Die Belüftung erfolgt Wohnungsweise über dezentrale Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung, außerdem ist jedes Gebäude mit einer PV-Anlage versehen und es erfolgt eine Speicherung des erzeugten Stroms in quartierseigenen Batteriespeichern.

2.1 Thermischer Endenergiebedarf/-verbrauch der Gebäude

Im Zusammenhang mit der Beheizung von Gebäuden wird als „Bedarf“ ein theoretischer Wert bezeichnet, der sich aus der energetischen Qualität der wärmeübertragenden Umfassungsfläche sowie aus Standardprofilen für Innen- und Außentemperatur berechnet. Mit „Verbrauch“ wird der tatsächlich gemessene Wärmeverbrauch vergangener Zeiträume bezeichnet.

Bilanzgrenze stellen hierbei jeweils die Hüllen der untersuchten Gebäude dar, Verluste des Netzes sind demnach in Tabelle 1 nicht berücksichtigt.

Für die Berechnungen der gesamten benötigten Wärmemenge (Heizung, Lüftung, Warmwasser) der Gebäude des Projektgebiets wurden für den Bestand Verbrauchszahlen von 2019 der vor Projektbeginn überwiegend vorhandenen Erdgaskessel zugrunde gelegt. (Die Ertüchtigung des Bestands auf KfW Effizienzhaus 55 ist zwar eine Zielvorgabe des Projekts, durch den außerhalb von Aufklärungs- und Öffentlichkeitsarbeit geringen Einfluss der Projektverantwortlichen, wird hierfür im vorliegenden Energiekonzept jedoch kein Ansatz vorgesehen.) Für die Neubauten konnten Primärenergieberechnungen der EnEV-Referenz und tatsächlichen Bauausführung des Architekten herangezogen werden (1).

Von einigen wenigen Bestandsgebäuden konnten bis zur Erstellung dieser Ausarbeitung keine Verbrauchswerte erhoben werden, hier wurde der Verbrauch über Gebäudegeometrie und Baualtersklasse abgeschätzt.

Tabelle 1: Endenergiebedarf/-verbrauch Wärme der Gebäude des Projektgebiets

	Endenergieverbrauch/-bedarf der tatsächlichen Ausführung [kWh/a]	Endenergieverbrauch/-bedarf der EnEV-Referenz [kWh/a]
Bestand (Verbrauch)	2.137.249	
Neubau (Bedarf)	624.626	1.239.768
Gesamt	2.761.875	

2.2 Elektrischer Endenergiebedarf der Gebäude

Aufgrund der zahlreichen Verbrauchsstellen der über 400 Wohneinheiten in den beiden Quartiersteilen wäre eine Energieverbrauchsermittlung durch Datenabfrage ein unverhältnismäßig großer Aufwand. Deshalb wird hier auf einen flächenbezogenen Ansatz zurückgegriffen, der auf folgenden Überlegungen beruht:

Jedem Einwohner Baden-Württembergs stehen durchschnittlich rd. 40 m² Wohnfläche zur Verfügung (2). Laut Stromspiegel verbraucht ein durchschnittlicher 3-Personen-Haushalt in einer Wohnung durchschnittlich 3.000 kWh elektrische Energie pro Jahr (3). Legt man also einen durchschnittlichen 3-Personen-Haushalt zugrunde erhält man:

$$\frac{3.000 \text{ kWh/a}}{40 \text{ m}^2 * 3 \text{ Personen}} = 25 \text{ kWh}/(\text{m}^2 * a)$$

Bilanzgrenze stellen auch hier die untersuchten Gebäude dar, der Bedarf für den Betrieb des Wärmenetzes wird demnach in Tabelle 2 nicht berücksichtigt.

Tabelle 2: Strombedarf der Gebäude des Projektgebiets

	Flächen [m ²]	Stromverbrauch [kWh/a]
Bestand	18.247	456.175
Neubau	22.794	569.838
Gesamt	41.041	1.026.013

Da beim Neubau auch Low-Tech Ansätze verfolgt wurden, ist ein geringerer Stromverbrauch für den Gebäudebetrieb erforderlich. Die tatsächliche Aus-

wirkung kann erst im Realbetrieb betrachtet werden, im Konzept findet diese Reduzierung noch keine Berücksichtigung.

3 Energieerzeugung

3.1 Wärmeerzeugung

Die Erzeugung der thermischen Energie zur Versorgung des Nahwärmesystems erfolgt in der bereits bestehenden Heizzentrale des SWSee mittels einer intelligenten Kombination aus volatilen und dauerhaft zur Verfügung stehenden Wärmequellen.

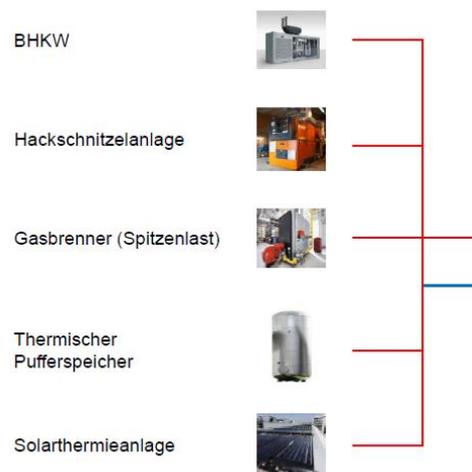


Bild 2: Übersichtsschema der Wärmeerzeugung

Die Grundlast wird zukünftig durch

- einen Holzhackschnitzelkessel mit 1,6 MW,
- Freiflächen-Solarthermie bestehend aus ca. 4.270 m² CPC Vakuumröhrenkollektoren mit einer Ausrichtung von 8° Richtung Osten und einer Neigung von 20° sowie einer maximalen Gesamtleistung von ca. 2,4 MW und
- ein Erdgas-BHKW mit 50 kW elektrischer und 90 kW thermischer Leistung

bereitgestellt. Die Spitzen- bzw. Notfallversorgung gewährleisten zwei Erdgas-Brennwert-Geräte mit jeweils 2 MW.

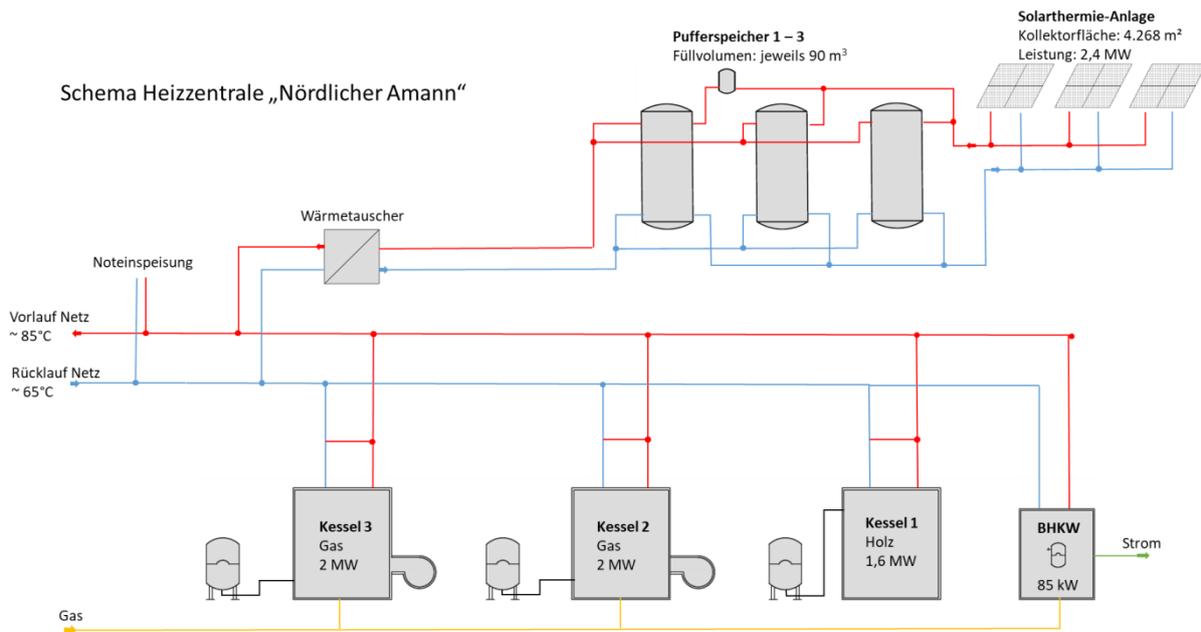


Bild 3: vereinfachtes Hydraulikschema der Heizzentrale des SWSee

Auf diese Wärmeerzeuger entfallen nach Berechnungen des SWSee zukünftig folgende Energiemengen bzw. -anteile, wobei keine Unterscheidung zwischen den Energieanteilen im Gesamtnetz und dem Netzteil des Demonstrationsquartiers gemacht wird:

Tabelle 3: Anteile der Wärmeerzeuger an der Energiebereitstellung

Erzeugungsanlage	Anteil an der Wärmeerzeugung der Heizzentrale	Energiemenge [MWh/a]
Holzhackschnitzel	60 %	6.600
Solarthermie	20 %	1.650
Erdgas-Spitzenlast	15 %	2.200
BHKW	5 %	550
Gesamt	100 %	11.000

Durch Messungen müssen diese angenommenen Anteile zukünftig verifiziert bzw. ggf. angepasst werden.

Der Rohstoff Holz wird ausschließlich aus den naheliegenden Wäldern des Spitalfonds Überlingen gewonnen, wodurch eine vollständige Wertschöpfung vor Ort bei sehr hoher Nachhaltigkeit erreicht werden kann. Die kurzen Transportwege wirken sich in der Realität günstig auf den Primärenergiefaktor des Brennstoffs aus, für Berechnungen des vorliegenden Energiekonzepts werden jedoch Standardwerte herangezogen.

Die Solarthermieanlage entsteht in unmittelbarer Nachbarschaft zur Heizzentrale direkt an der Bundesstraße B31. Die vollkommen von Asphalt umrahmte Fläche ist durch die Nähe der stark befahrenen Bundesstraße für andere Nutzungen unattraktiv.

3.1.1 Wärmespeicherung

Die zeitliche Entkopplung von Wärmeerzeugung und -nutzung, was durch Stromerzeugung im BHKW und die Solarthermieanlage nötig wird, ermöglichen drei Pufferspeicher mit einem Volumen von jeweils 90 m³ und einer Speicherkapazität von etwa 6.000 kWh. Im Sommer kann auf diesem Wege bei einer Grundlast von 350 kW eine Lastverschiebung von 17 Stunden gewährleistet werden. Außerdem dienen die Puffer dazu, Spitzenlasten im Wärmenetz abzufahren.

Das Speichermanagement sieht vor, dass Puffer 1 im Winterhalbjahr vom Biomassekessel zum Zwischenspeichern genutzt wird. Speicher 1-3 sind auf die Regelung der Solarthermieanlage aufgeschaltet, Speicher 1 auf die Gebäudeleittechnik der Gesamtanlage.

Neben der zentralen Wärmespeicherung in der Heizzentrale werden weiterhin die angeschlossenen Gebäude mit dezentralen Puffer- und/oder Trinkwasserspeichern ausgestattet, um Spitzenlasten vor allem im Trinkwarmwasserbedarf abzufangen. Zusätzlich kann hier die volatile thermische Energie aus BHKW und Solarthermieanlage bis zur Nutzung dezentral zwischengespeichert werden.

Die Neubauten der BGÜ wurden mit folgenden Wärmespeichern ausgestattet:

Tabelle 4: Dezentrale Wärmespeicher der BGÜ-Neubauten

Bauabschnitt / Gebäude	Technik	Speichervolumen [l]	Leistung [kW]
1 / 9-10	Speicherladesystem Kesap AquaThermoTreat -EDS-System 60kW	650	37,8
1 / 11-14	Speicherladesystem Kesap AquaThermoTreat -EDS-System 90kW	650	37,8
2 / 5-8	Speicherladesystem Kesap AquaThermoTreat -EDS-System 90kW	650	37,8
2 / 8	Frischwasserstation Buderus FS 27/3 inkl. Pufferspeicher	743	40,6
3 / 1-4	Speicherladesystem Kesap AquaThermoTreat -EDS-System 90kW	650	43,6

Die Auslegung der dezentralen Pufferspeicher im Bestand liegt in der Hand der jeweiligen Eigentümer und ist nicht mehr Teil dieses Energiekonzepts.

3.1.2 Alternative Ansätze zur Wärmebereitstellung

Neben den tatsächlich verwirklichten Anlagen zur Wärmebereitstellung wurden zu Beginn der Planungsphase weitere Quellen erneuerbarer thermischer Energie wie beispielsweise Wärmepumpen mittels Geothermie bzw. Luft-Wasser-Wärmepumpen oder PV-betriebene Power-to-Heat-Lösungen als dezentrale Lösungen ins Auge gefasst, jedoch aus verschiedenen Gründen verworfen:

Wärmepumpen wurden aufgrund des Sanierungszustands des Bestands und der hier verbauten konventionellen Heizkörper verworfen. Beide Umstände führen dazu, dass zur ausreichenden Beheizung vergleichsweise hohe Vorlauftemperaturen vorgehalten werden müssen. Moderne Wärmepumpen können dieses Temperaturniveau zwar leisten, die Effizienz leidet darunter jedoch deutlich. Außerdem würde das Ziel der Klimaneutralität erschwert werden, bei alternativ vorhandener größtenteils erneuerbar betriebenen Infrastruktur (Wärmenetz).

Die Nutzung von Geothermie würde die Effizienz der Wärmepumpenlösung zwar verbessern, jedoch war für die Versorgung des Neubau-Quartiers tiefe Geothermie wirtschaftlich nicht darstellbar, erste Abschätzungen ergaben ein Investitionsvolumen von deutlich über 10 Mio. €. Zusätzlich reichen auf-

grund der dichten Bebauung die verfügbaren Flächen für oberflächennahe Geothermie nicht aus.

PV-unterstützte Power-To-Heat-Lösungen wurden aufgrund der speziellen Wetterlage am Bodensee mit häufigem und langanhaltendem winterlichem Nebel verworfen. Das Heizsystem sollte bei solchen bekannten Rahmenbedingungen unter keinen Umständen solarabhängig aufgebaut werden.

Somit wurden alternative Ansätze zugunsten der netzgebundenen zentralen Wärmeversorgung verworfen und eine Lösung gewählt, deren vorhandene Ressourcen genutzt bzw. erweitert werden können und die noch dazu für alle Anschlussnehmer, egal ob hoch- oder niedertemperatur-Heizsystem, gleichermaßen funktioniert.

3.2 Stromerzeugung

Ergänzt wird die nachhaltige thermische Energiebereitstellung durch die Stromerzeugung in quartierseigenen PV-Anlagen. Die Neubauten werden jeweils mit entsprechenden Flächen ausgerüstet, im Bestand erfolgt diesbezüglich eine umfangreiche Öffentlichkeitsarbeit mit dem Ziel der Nachrüstung von Aufdach- oder Balkon-PV-Anlagen.

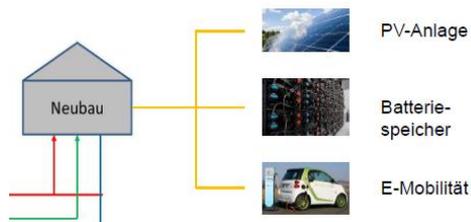


Bild 4: Übersichtsschema der Stromversorgung im Neubau

Die PV-Anlagen auf den Neubauten sind jeweils etwa südöstlich bis südwestlich ausgerichtet, wodurch der Ertrag über einen längeren Zeitraum des Tages erzeugt und die Eigennutzung in den Gebäuden gefördert wird. Das Verhältnis von PV-Anlage zu Dachfläche beträgt ca. 51 %, bei zwei Meter breitem umlaufendem Randstreifen zur Vereinfachung der Wartung. Eine Dachbegrünung ist nicht vorgesehen.

Obwohl am Bodensee mit 1.335 kWh pro m² und Jahr die in Baden-Württemberg höchste solare Globalstrahlung zu verzeichnen ist (4), wird für die Berechnung des zu erwartenden durchschnittlichen Stromertrags der PV-Anlagen ein eher konservativer Ansatz von 950 kWh pro installiertem kW_p gewählt um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass nicht jede Anlage ideal ausgerichtet und geneigt ist. Bei idealer Ausrichtung und Neigung werden in diesem Gebiet Erträge von bis zu 1.280 kWh pro kW_p erreicht (5).

Im Neubau sind bereits PV-Anlagen mit insgesamt 309 kW_p installiert. Das gesamte Potential der Bestandsgebäude liegt bei 770 kW_p (5) bei nahezu

perfekter Südausrichtung. Da man jedoch nicht davon ausgehen kann, dass jede geeignete Dachfläche auch tatsächlich vollständig belegt wird, wählen wir hier einen konservativen Ansatz von 160 kW_p. Dies entspricht beispielsweise je 20 kW_p auf 8 Gebäuden.

In Tabelle 5 werden ausschließlich Aufdach-Solaranlagen berücksichtigt obwohl davon ausgegangen werden kann, dass zumindest teilweise im Bestand auch Balkonkraftwerke installiert werden.

Ergänzt werden die PV-Anlagen durch die Eigenstromerzeugung mittels des BHKWs in der Heizzentrale des SWSee. Wie viel der hier insgesamt erzeugten elektrischen Energie dem Quartier zugesprochen wird (W_{KWK}), ergibt sich aus der in Tabelle 6 ermittelten thermischen Energiemenge Q_{KWK} (5 % der im Quartier benötigten Wärmemenge) und den Wirkungsgraden. Der thermische Wirkungsgrad $\eta_{KWK_{th}}$ beträgt ca. 56 %, der elektrische $\eta_{KWK_{el}}$ 31 % bei Verlusten von ca. 13 %.

$$W_{KWK} = \frac{Q_{KWK}}{\eta_{KWK_{th}}} * \eta_{KWK_{el}}$$

$$W_{KWK} = \frac{138.094 \frac{kWh}{a}}{56 \%} * 31 \%$$

$$W_{KWK} = 76.719 \frac{kWh}{a}$$

Die zusätzlich zur lokalen Eigenstromerzeugung benötigte elektrische Energie wird im BGÜ-Neubau im Rahmen eines bereits etablierten Mieterstrommodells in Form von Ökostrom mit definiertem Emissionsfaktor aus dem öffentlichen Stromnetz bezogen. Im Bestand wird davon ausgegangen, dass zukünftig der konventionell bezogene Netzstrom einen so hohen erneuerbaren Anteil haben wird (z.B. Ziel BRD 2030: >80% EE-Anteil am Bruttostromverbrauch), dass hier der selbe Emissionsfaktor angesetzt werden kann.

Tabelle 5: Anteile von Stromerzeugung und Bezug

	Flächen PV [kW _p]	Stromerzeugung/ -bezug [kWh/a]	Anteil [%]
PV Bestand	160	152.000	43,4
PV Neubau	309	293.693	
BHKW-Strom		76.719	7,5
Netzstrom konv./Öko		503.601	49,1
Gesamt		1.026.013	100

Weitere Erzeuger elektrischer Energie wie z.B. Windenergie wurden nicht näher untersucht. Potential für PV-Freiflächen ist im Quartier nicht vorhanden.

4 Energieverteilung

4.1 Stromverteilung

Um im Neubau die volatile Stromerzeugung in der PV-Anlage und den Verbrauch in den Gebäuden in zeitlichen Zusammenhang zu bringen und damit die Eigenstromnutzung zu maximieren, werden elektrische Speichersysteme eingesetzt:

Im 1. Bauabschnitt: 154 kWh, Intilion scalestac power, AC-gekoppelt, Lithium-Ionen.

Im 2. und 3. Bauabschnitt: 6x 15,4 kWh, BYD Battery-Box Premium LVL Niedervolt-Batteriesystem (Inkl. 3x SMA Sunny Island 8.0H-13 Wechselrichter mit je 8kW Lade- und Entladeleistung), AC-gekoppelt, Lithium-Eisenphosphat

Für die Versorgung des Neubauquartiers mit PV-Strom kommt ein Mieterstrommodell zum Einsatz. Dabei organisiert ein Dienstleister die gesamte Stromversorgung, also neben des Verkaufs des auf den Dächern produzierten PV-Stroms schließt dieser auch einen Vertrag über den Bezug des zusätzlich nötigen Stroms mit einem Stromanbieter ab. Die BGÜ hat hier ihren Einfluss geltend gemacht und auf einem Ökostromtarif bestanden.

Zwar kann sich jeder Bewohner gegen den Mieterstrom entscheiden, durch gesetzliche Vorgaben ist jedoch gewährleistet, dass der Eigenstrom in aller Regel für die Bewohner günstiger ist als der Bezug über einen regulären Stromanbieter. So wird eine hohe Rate der Bewohner, die den Mieterstrom nutzen, unterstützt.

4.2 Wärmeverteilung

Die Verteilung der in den genannten Wärmeerzeugern erzeugten thermischen Energie erfolgt durch das bestehende und erweiterte Nahwärmenetz des Stadtwerks am See.

Das Wärmenetz wurde 1999 und in den Folgejahren erbaut und hat heute eine Gesamtlänge von etwa 6 km. Aktuell wird von thermischen Verlusten von ca. 15 % ausgegangen, was dem Erfahrungswert aus dem Bestandsnetz entspricht. In Zukunft muss dieser Wert nach vollständiger Inbetriebnahme und Durchlaufen eines Betriebsjahres noch verifiziert oder ggf. angepasst werden. Im Rahmen des Projekts Stadtquartier 2050 wurden bisher 300 m Dreileiter-Netz verlegt, die Umsetzung des Ringschlusses und der Anschluss der weiteren Bestandsgebäude ist für Ende 2022 und Anfang 2023 geplant.

Während das Bestandsgebiet regulär mit Vor- und Rücklauf an das bestehende Netz des SWSee angebunden wird, kommt im Neubaubereich ein besonderes Dreileitersystem mit zwei Vorlaufleitungen zum Einsatz.

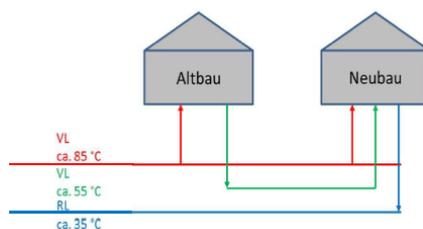


Bild 5: Übersichtsschema des Dreileiter-Nahwärmenetzes

Der „warme“ Vorlauf hat dabei die Maximaltemperatur des Wärmenetzes von ca. 85 °C und dient der Bereitstellung von hygienisch einwandfreiem Trinkwasser sowie der Notfallversorgung und Spitzenlastabdeckung. Der „kalte“ Vorlauf besteht aus dem Rücklauf des Bestandsquartiers mit ca. 55 °C und übernimmt die Grundlast der Beheizung der Gebäude. Die Beheizung mit diesem abgekühlten Vorlauf kann realisiert werden, da der hohe energetische Standard des Neubauquartiers sowie die Ausstattung der Wohnungen mit Flächenheizungen niedrige Vorlauftemperaturen ermöglichen. Die nochmalige Abkühlung des Rücklaufs hat zudem zur Folge, dass auf der Strecke zurück zur Heizzentrale weniger Energieverluste entstehen, sowie höhere Nutzungsgrade der Solarthermieanlage und der Brennwertgeräte in der Heizzentrale erreicht werden.

Nachteile des Dreileitersystems entstehen vor allem durch die höheren regelungstechnischen Anforderungen sowie durch höhere Investitionskosten durch die zusätzliche Vorlaufleitung.

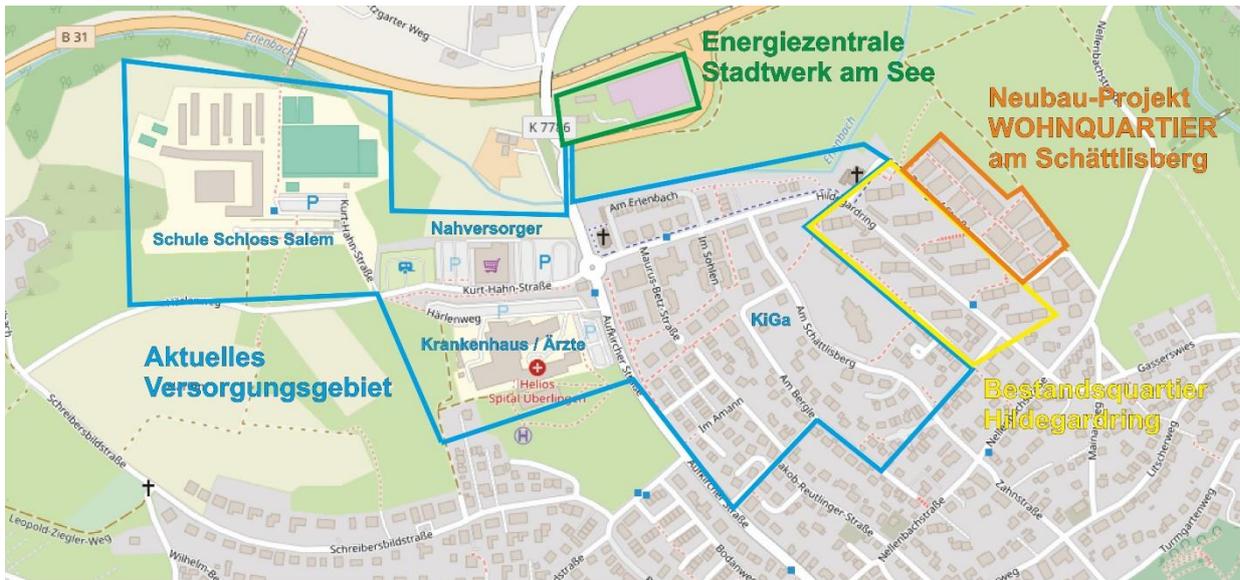


Bild 6: Übersicht der Nahwärmeversorgung zur Versorgung des Demonstrationsquartiers

5 Projektbezogene Emissionsfaktoren und Emissionen

Um den jeweiligen Anteilen verschiedener fossiler und regenerativer Energieträger bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen Rechnung zu tragen, werden für die einzelnen Energieinputs neue Emissionsfaktoren ε berechnet. Mit χ wird in den folgenden Formeln der Anteil des jeweiligen Energieträgers bezeichnet. Grundlage der Berechnungen sind die Emissionsfaktoren gemäß DIN EN 18599-1 (2018).

Die angestrebte energetische Ertüchtigung des Bestandsquartiers auf KfW Effizienzhaus 55 wird in diesem Energiekonzept nicht berücksichtigt.

5.1 Strom

Die **konventionelle Lösung** und damit die Referenz für die Berechnung der Emissionseinsparung sieht die im Abschnitt 2.2 berechneten Strommengen mit reinem Netzbezug des deutschen Strommixes mit $\varepsilon_{Netz} = 0,55 \frac{kg}{kWh}$ vor.

Die **nachhaltige Lösung** benutzt die in Abschnitt 3.2 beschriebenen lokal und regenerativ erzeugten Stromanteile χ aus BHKW (χ_{KWK}) und PV-Anlagen (χ_{PV}) in Verbindung mit Netzbezug von Ökostrom ($\chi_{öko}$):

$$\varepsilon_{Strom_{NH}} = \varepsilon_{KWK} * \chi_{KWK_{el}} + \varepsilon_{PV} * \chi_{PV} + \varepsilon_{öko} * \chi_{öko}$$

$$\varepsilon_{Strom_{NH}} = -0,031 \frac{kg}{kWh} * 7,5 \% + 0 \frac{kg}{kWh} * 43,4 \% + 0,03 \frac{kg}{kWh} * 49,1\%$$

$$\varepsilon_{Strom_{NH}} = 0,012 \frac{kg}{kWh}$$

	Anteil χ [%]	CO ₂ -Äquivalent-Faktor ε [kg/kWh]		CO ₂ -Äquivalent-Emissionen [kg/a]	
PV Bestand	43,4	0,00		0,0	
PV Neubau		0,00		0,0	
BHKW-Strom	7,5	-0,031		-2.389	
Netzstrom konv./Öko	49,1	0,55	0,030	276.981	15.108
Gesamt		0,268	0,012	274.591	12.719

Interessehalber wurde zusätzlich berechnet, wie sich Emissionsfaktor und emittierte Emissionen darstellen, sollte der zusätzlich benötigte Netzstrom nicht als Öko- sondern konventioneller Strom mit $\varepsilon_{Netz} = 0,55 \frac{kg}{kWh}$ bezogen werden.

Die Berechnung des CO₂-Äquivalent-Faktors der thermischen und elektrischen Energie des BHKWs ε_{KWK} erfolgte in diesem Zusammenhang mittels der Gutschriftmethode nach DIN EN 18599-1.

$$\varepsilon_{KWK} = \frac{\varepsilon_{Erdgas} - \eta_{KWK_{el}} * \varepsilon_{Verdr}}{\eta_{KWK_{el}} + \eta_{KWK_{th}}}$$

$$\varepsilon_{KWK} = \frac{0,24 - 31\% * 0,86 \frac{kg}{kWh}}{31\% + 56\%}$$

$$\varepsilon_{KWK} = -0,031 \frac{kg}{kWh}$$

	Beschreibung	Wert
ε_{KWK}	CO ₂ -Äquivalent-Faktor BHKW-Wärme und -Strom	-0,031 kg/kWh
ε_{Erdgas}	CO ₂ -Äquivalent-Faktor Erdgas	0,24 kg/kWh
ε_{Verdr}	CO ₂ -Äquivalent-Faktor Verdrängungsstrommix	0,86 kg/kWh
$\eta_{KWK_{el}}$	elektrischer Wirkungsgrad BHKW	31 %
$\eta_{KWK_{th}}$	thermischer Wirkungsgrad BHKW	56 %

Aufgrund des hohen Emissionsfaktors des Verdrängungsstrommixes erhält die durch das BHKW bereitgestellte Energie einen negativen Emissionsfaktor.

Erläuterung: der Verdrängungsstrommix entspricht dem durch das BHKW verdrängten fossilen Strom.

Der bei der Nutzung des BHKWs entstehende Strom bzw. die entsprechenden eingesparten Treibhausgase werden anteilig bilanziert dem Demonstrationsquartier zugesprochen.

5.2 Wärme

5.2.1 Bestand

Im Bestand sieht die **konventionelle Lösung** und damit die Referenz für die Berechnung der Einsparung 100 % Erdgas über Gas-Brennwert-Kessel mit $\varepsilon_{Erdgas} = 0,24 \frac{kg}{kWh}$ vor. Dies entspricht zum überragenden Teil der Situation vor Projektbeginn und Anschluss an das Quartiersnetz.

Bei der **nachhaltigen Betrachtung** wird von unveränderten Energiemengen ausgegangen, abgedeckt jedoch über den beschriebenen Energiemix der netzgebundenen Wärmeversorgung:

Tabelle 6: Anteile der Energieträger der Heizzentrale an der Quartiersnahwärme

Erzeugungsanlage	Anteil an der Wärmeerzeugung der Heizzentrale	Energiemenge [kWh/a]	CO ₂ -Äquivalent-Faktor [kg/kWh]	CO ₂ -Äquivalent-Emissionen [kg/a]
Holz hackschnitzel	60 %	1.657.125	0,040	66.285
Solarthermie	20 %	552.375	0,000	0,0
Erdgas-Spitzenlast	15 %	414.281	0,240	99.427
KWK _{th}	5 %	138.094	-0,031	- 4.301
Gesamt	100 %	2.761.875		161.412

$$\varepsilon_{NW} = \varepsilon_{KWK} * \chi_{KWK_{th}} + \varepsilon_{Solar_{th}} * \chi_{Solar_{th}} + \varepsilon_{Erdgas} * \chi_{Erdgas} + \varepsilon_{Holz} * \chi_{Holz}$$

$$\varepsilon_{NW} = -0,031 \frac{kg}{kWh} * 5\% + 0 \frac{kg}{kWh} * 20\% + 0,24 \frac{kg}{kWh} * 15\% + 0,04 \frac{kg}{kWh} * 60\%$$

$$\varepsilon_{NW} = 0,058 \frac{kg}{kWh}$$

	Beschreibung	Wert
ε_{NW}	Emissionsfaktor des Wärmenetzes	
ε_{KWK}	CO ₂ -Äquivalent-Faktor BHKW-Wärme und -Strom	-0,031 kg/kWh
$\chi_{KWK_{th}}$	Anteil der BHKW-Wärme an der Gesamtversorgung	5 %
$\varepsilon_{Solar_{th}}$	CO ₂ -Äquivalent-Faktor der Solarthermie	0 kg/kWh
$\chi_{Solar_{th}}$	Anteil der Solarthermie an der Gesamtversorgung	20 %
ε_{Erdgas}	CO ₂ -Äquivalent-Faktor Erdgas	0,24 kg/kWh
χ_{Erdgas}	Anteil der Erdgas-Spitzenlast an der Gesamtversorgung	15 %
ε_{Holz}	CO ₂ -Äquivalent-Faktor Holzhackschnitzel	0,04 kg/kWh
χ_{Holz}	Anteil des Holzhackschnitzelkessels an der Gesamtversorgung	60 %

5.2.2 Neubau

Im Neubau besteht die zu Vergleichszwecken herangezogene **konventionelle Lösung** aus einem Gebäudestandard in EnEV-Qualität kombiniert mit einer Wärmeversorgung aus 85% Erdgas mit verpflichtender Einbindung von 15% erneuerbaren Energien.

$$\varepsilon_{Neubau_{konv}} = \varepsilon_{Solar_{th}} * \chi_{Solar_{th}} + \varepsilon_{Erdgas} * \chi_{Erdgas}$$

$$\varepsilon_{Neubau_{konv}} = 0 \frac{kg}{kWh} * 15 \% + 0,24 \frac{kg}{kWh} * 85 \%$$

$$\varepsilon_{Neubau_{konv}} = 0,204 \frac{kg}{kWh}$$

	Beschreibung	Wert
$\varepsilon_{Neubau_konv}$	Emissionsfaktor der hypothetischen konventionellen Wärmeversorgung im Neubau (85 % Erdgas, 15 % Solarthermie)	0,204 kg/kWh
$\varepsilon_{Solar_{th}}$	CO ₂ -Äquivalent-Faktor der Solarthermie	0,0 kg/kWh
$\chi_{Solar_{th}Neubau_konv}$	Anteil der Solarthermie	15 %
ε_{Erdgas}	CO ₂ -Äquivalent-Faktor Erdgas	0,24 kg/kWh
$\chi_{Erdgas_Neubau_konv}$	Anteil des Erdgaskessels	85 %

Die **nachhaltige Lösung** besteht hier aus dem derzeit schon realisierten KfW Effizienzhaus 40 Plus in Verbindung mit dem beschriebenen Wärmemix und Emissionsfaktor des Nahwärmenetzes.

5.3 Zusammenfassung der Energiemengen und Emissionsfaktoren - Gegenüberstellung der konventionellen und nachhaltigen Lösung

Tabelle 7: Zusammenfassung der Energiemengen und Emissionsfaktoren

	Energiemenge konventionell [MWh/a]	CO ₂ -Faktoren konventionell [kg/kWh]	Energiemenge nachhaltig [MWh/a]	CO ₂ -Faktoren nachhaltig [kg/kWh]
Strom gesamt	1.026	0,55	1.026	0,012
Wärme Bestand	2.137	0,24	2.137	0,058
Wärme Neubau	1.240	0,204	625	0,058

Wie in Tabelle 7 aufgeführt, ergeben sich aus den für die nachhaltige Lösung gewählten Energiemixen jeweils neue, exakt auf das vorliegende Projekt bezogene Emissionsfaktoren ε . Diese liegen erwartungsgemäß weit unter denen der konventionellen Lösung.

Tabelle 8: Vergleich der entstehenden Emissionen und Einsparungen

	CO ₂ -Emissionen konventionell [t/a]	CO ₂ -Emissionen nachhaltig [t/a]	Einsparung [t/a]	Einsparung
Strom gesamt	564	13	552	98 %
Wärme Bestand	513	125	388	76 %
Wärme Neubau	253	37	216	86 %
Gesamt	1.330	174	1.156	87 %

Nach Tabelle 8 entstehen durch die Verwendung von PV-, BHKW- und Ökostrom in Kombination mit einem hohen Dämmstandard sowie der Beheizung mittels der netzgebundenen Wärmeversorgung des SWSee im Quartier um 87 % weniger treibhauseffektrelevante Emissionen als durch eine konventionelle Lösung bestehend aus Netzstrom mit Erdgasheizung und Solarthermie-Pflichtanteil.

In Bild 7 sind die realisierten Energie- und Emissionsflüsse noch einmal grafisch aufbereitet:

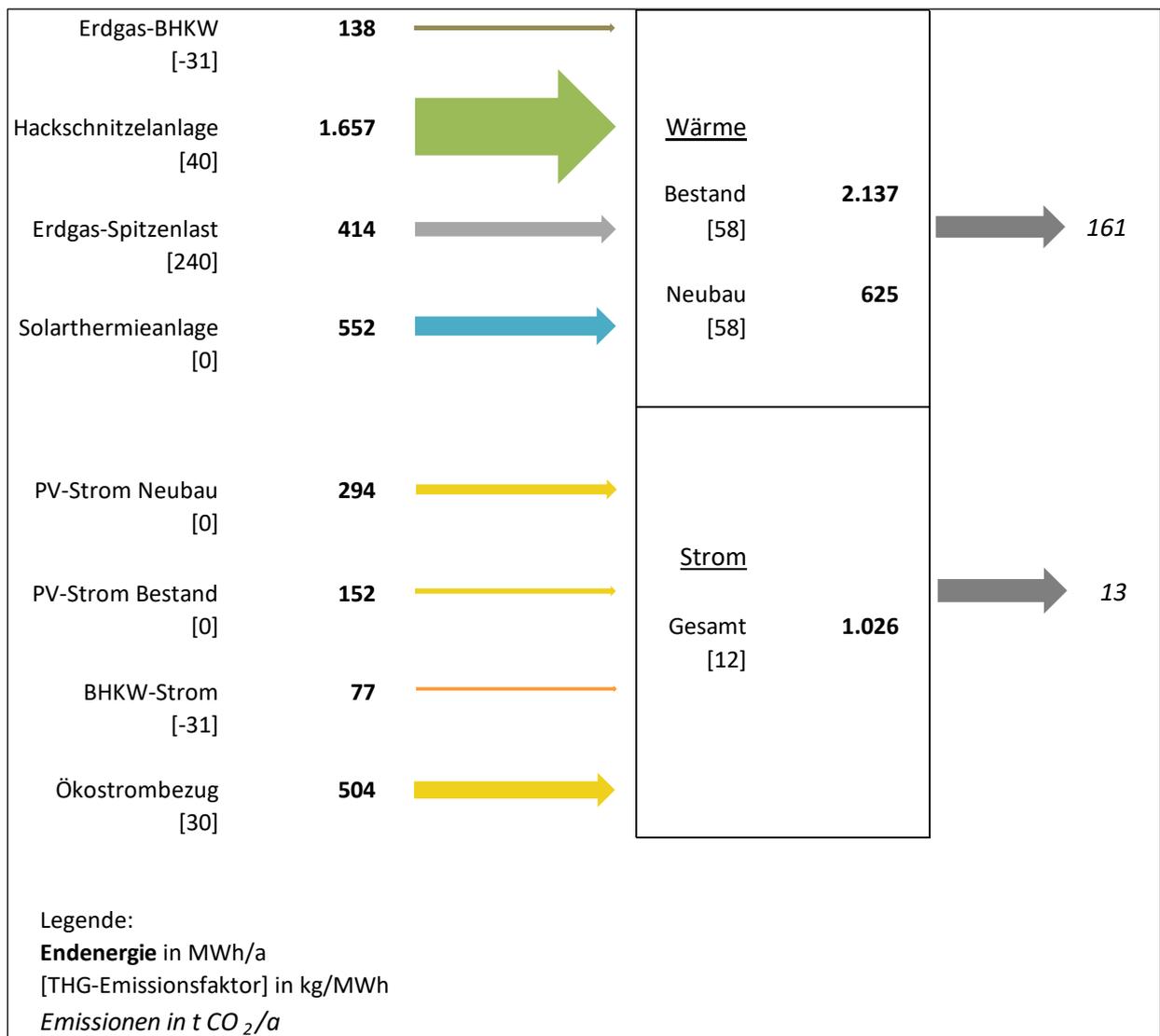


Bild 7: Energieflussschema der realisierten nachhaltigen Lösung

6 Sonstiges

6.1 Low-Tech-Ansätze

Im Neubauquartier in Überlingen wurde unter anderem zum Zwecke der Einsparung von elektrischer Energie möglichst auf den Einsatz von High-Tech-Gebäudetechnik verzichtet. Folgende Low-Tech-Ansätze wurden umgesetzt:

- Bauteilschwere: Massivbauweise mit außenliegendem Wärmeschutz, Erhöhung Speichermasse, sommerlicher Wärmeschutz, Speicherung winterlicher solarer Erträge

- Dezentrale statt zentrale aktive Lüftung: Vermeidung von Brandschutzklappen bei Durchbrüchen von Brandwänden, ermöglicht wohnungsweise Lüftung, einfache Regelungstechnik, keine zentrale Leittechnik erforderlich
- Langlebigkeit: außenliegender fester Sonnenschutz (baulich, nicht technisch)
- Hitzeschutz: außenliegender Sonnenschutz ermöglicht Verzicht auf aktive Kühlung (Nachtauskühlung ermöglicht durch Lüftungsgeräte).

Dennoch gibt es Grenzen bei der Verwendung von Low-Tech-Ansätzen: So zeigen Erfahrungen der BGÜ aus der Vergangenheit, dass sich vor allem bei vermieteten Einheiten die Verwendung von Technik häufig als nachhaltiger erweist als die entsprechende manuelle Variante. Zwei Beispiele sind hier die Verwendung von Lösungen zur aktiven Lüftung, um Schäden an der Bausubstanz durch hohe Luftfeuchtigkeit zu vermeiden, oder die Installation von elektrischen Rollläden, da diese weniger anfällig sind für unvorsichtiges Nutzerverhalten.

6.2 Quartiersapp

Der tatsächliche Energieverbrauch im Demonstrationsquartier hängt zu einem nicht unerheblichen Anteil vom jeweiligen Nutzerverhalten der Bewohner der Gebäude ab und kann demnach von den in diesem Energiekonzept verwendeten Verbrauchs- u. Bedarfszahlen abweichen. Häufig sind vor allem bei der Etablierung von neuen, besonders energieeffizienten Technologien sog. Reboundeffekte durch ungünstiges Nutzerverhalten zu beobachten. Das vorliegende Projekt betreffend wäre ein Beispiel dafür die Beheizung von Wohnräumen über Standardwerte hinaus, aufgrund von niedrigen Energieverbräuchen durch die hohe energetische Güte der Gebäudehülle.

Um diese Effekte hier zu verhindern und die berechneten Verbräuche möglichst sicherzustellen, wird den Bewohnern eine Quartiersapp zur Verfügung gestellt, die den eigenen Energieverbrauch erfasst, transparent visualisiert, einen Vergleich mit dem anderer Verbrauchseinheiten ermöglicht und so zum aktiven Energiesparen motiviert. Durch die aktuelle Darstellung der Stromerzeugung können die Bewohner außerdem dazu beitragen, den Eigenverbrauchsanteil der PV-Anlage zu steigern. Verschiedene Anwendungen wie ein virtuelles schwarzes Brett unterstützen die Kommunikation der Bewohner untereinander und tragen so auch der sozialen Zielstellung des Projekts Rechnung.

Da weder die Ausmaße des Reboundeffekts noch die positive Wirkung der Quartiersapp quantifiziert werden kann, fließt in die Berechnungen des vorliegenden Energiekonzepts kein Ansatz dafür ein.

7 Klimaneutrales Demonstrationsquartier Schöttlisberg

7.1 Definition Klimaneutralität

Die deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGNB) definiert ein klimaneutrales Gebäude als einen Standard, welcher auf ein Jahr gerechnet eine ausgeglichene CO₂-Bilanz aufweist. Dabei werden die durch den Energieverbrauch verursachten Treibhausgasemissionen den Emissionen gegenübergestellt, die durch den Export von gebäudenah erzeugter erneuerbarer Energie vermieden wurden. Als durch Energieverbrauch verursachte Treibhausgasemissionen gelten dabei direkte Emissionen am Standort (z.B. durch Verbrennung fossiler Brennstoffe) sowie alle durch die Bereitstellung der Energieträger außerhalb des Standorts verursachten Emissionen (z.B. Erzeugung von Strom oder Fernwärme, Gewinnung und Bereitstellung von Brennstoffen) (6).

7.2 Maßnahmen zur Erreichung der Klimaneutralität

Im Demonstrationsquartier Schöttlisberg wird die Klimaneutralität durch die Kombination von drei Bausteinen angestrebt:

1. Niedriger Energieverbrauch: hohe energetische Anforderungen an den Neubau mit damit einhergehendem niedrigen Energieverbrauch für die Wärmebereitstellung. (Die Ertüchtigung des Bestands auf KfW Effizienzhaus 55 ist zwar eine Zielvorgabe des Projekts, durch den außerhalb von Aufklärungs- und Öffentlichkeitsarbeit geringen Einfluss der Projektverantwortlichen, wird hierfür im vorliegenden Energiekonzept kein Ansatz vorgesehen.)
2. Verwendung erneuerbarer Energiequellen: Bereitstellung der benötigten elektrischen und thermischen Energie aus möglichst quartiersnahen, erneuerbaren Quellen. Vor allem im Bereich der elektrischen Energie ist dies nicht uneingeschränkt möglich, weshalb teilweise auf den Netzbzug von Ökostrom zurückgegriffen wird.
3. Kompensation der entstehenden Emissionen: die trotz aller Bemühungen anfallenden Treibhausgasemissionen werden durch quartiersinterne oder -nahe Projekte kompensiert.

Punkt 1 und 2 wurden im vorliegenden Konzept bereits umfangreich erläutert und sind aktuell bereits umgesetzt. Trotz dieser beschriebenen erhöhten Anstrengungen, eine klimaneutrale Energieversorgung des Projektgebiets zu gewährleisten, entstehen durch die Benutzung der Gebäude jährlich mit 174 t noch beträchtliche Mengen an Treibhausgasen. Dabei sind Emissionen die durch Bau und Abbruch entstehen, also im Rahmen der Lebenszyklusanalyse betrachtet werden würden, noch nicht berücksichtigt.

Um das Ziel eines klimaneutralen Quartiers dennoch zu erreichen, müssen die Emissionen, die trotz nachhaltiger Lösung entstehen, zukünftig kompensiert werden. Die Möglichkeiten einer solchen Kompensation sind vielfältig:

Zum einen können über Zahlungen zur Finanzierung von treibhausgasmindernden Investitionen (z.B. Windkraft- oder PV-Anlagen) und Klimaschutzprojekten (z.B. Aufforstung, Wiedervernässung von Mooren) andernorts Treibhausgase mit der gleichen Klimawirksamkeit eingespart werden. Hierfür gibt es Dienstleister (z.B. atmosfair oder myClimate). Zum anderen ist es auch grundsätzlich möglich, Emissionszertifikate aus dem europäischen Emissionshandel (EU-ETS) aufzukaufen und damit zu löschen.

Durch diese beide Möglichkeiten werden vor allem Klimaschutzinvestitionen in Entwicklungsländern finanziert, da hier Emissionen am kostengünstigsten eingespart werden können. Dies funktioniert deshalb, weil es für das Klima keine Rolle spielt, wo Treibhausgase ausgestoßen oder eingespart werden. Als Kritikpunkt gilt jedoch die Nachhaltigkeit solcher Projekte: oft ist es z.B. schwer sicherzustellen und zu überprüfen, dass und ob aufgeforstete Gebiete nicht bevor sie die bezahlte Menge an CO₂ gebunden haben, gerodet werden. Oder ob energieeffiziente Öfen in Entwicklungsländern von den Menschen vor Ort tatsächlich genutzt werden (7).

Aus diesem Grund soll die Klimaneutralität im Demonstrationsquartier, auch im Sinne der Definition in Absatz 7.1, durch quartiersnah erzeugte erneuerbare Energie hergestellt werden.

Eine Möglichkeit hierfür wäre die Rückspeisung von weiterem PV-Strom ins öffentliche Stromnetz. Für die Kompensation der in Tabelle 8 aufgeführten jährlichen Emissionen wäre eine Stromerzeugung von knapp 317 MWh pro Jahr erforderlich. Geht man dabei von 950 kWh Jahresertrag pro installierter kW_p sowie rd. 5,5 m² Modulfläche pro kW_p aus, wäre für dieses Vorhaben eine Fläche von rund 1.830 m² notwendig.

$$A_{PV} = \frac{m_{CO_2}}{\varepsilon_{Netz} * W_{PVspez}} * A_{PVspez}$$

$$A_{PV} = \frac{174 \frac{t}{a}}{0,55 \frac{kg}{kWh} * 950 \frac{kWh}{kW_p * a}} * 5,5 \frac{m^2}{kW_p}$$

$$A_{PV} = 1.833 m^2$$

	Beschreibung	Wert
A_{PV}	Zur Kompensation der Treibhausgasemissionen nötige PV-Fläche	1.883 m ²
m_{CO_2}	Masse der entstehenden Treibhausgasemissionen	174 t/a
ε_{Netz}	Emissionsfaktor des deutschen Strommixes	0,55 kg/kWh
$W_{PV_{spez}}$	Spezifischer PV-Ertrag pro kW _p	950 kWh/kW _p
$A_{PV_{spez}}$	Spezifische Fläche pro kW _p	5,5 m ² /kW _p

Wie in Abschnitt 3.2 bereits erwähnt, befinden sich im Bestandsquartier noch Dachflächen, auf denen neben den bereits angesetzten 160 kW_p weitere 610 kW_p installiert werden könnten. Mit dem erwähnten Ansatz von einem Ertrag von 950 kWh/(m²*a) entsprächen dies etwa 580 MWh pro Jahr. Die Klimaneutralität könnte demnach durch das Motivieren und Aktivieren weiterer Hausverwaltungen und Eigentümergemeinschaften durchaus durch Maßnahmen innerhalb der Quartiersgrenzen erreicht werden.

8 Fazit

Im Demonstrationsquartier in Überlingen werden große Anstrengungen unternommen, die Energieversorgung eines kombinierten Bestand- und Neubauquartiers klimaneutral, das heißt mit ausgeglichener CO₂-Bilanz, zu gestalten. Durch besonders energieeffiziente Bauweise und eine nahezu vollständig erneuerbare Energieversorgung wird bereits ein bedeutender Meilenstein in Richtung dieses Ziels erreicht. Im Vergleich zu einer konventionellen Lösung, die sich rein an den gesetzlichen Vorgaben orientiert, werden 87 % Treibhausgasemissionen eingespart.

Dennoch zeigen die Erfahrungen aus dem Demonstrationsquartier auch, dass trotz aller Anstrengungen weitere Schritte nötig sind, um tatsächliche Klimaneutralität zu erreichen.

Dies hat seinen Grund vor allem in der Tatsache, dass selbst bei der energiesparendsten Bauweise noch Energie für den Betrieb benötigt wird. Außerdem entstehen auch bei erneuerbaren Energieträgern wie Ökostrom und Holzhackschnitzeln noch geringe Emissionen, die mit entsprechenden Emissionsfaktoren berücksichtigt werden müssen. Nicht zuletzt werden Nahwärmenetze aus Gründen der Wirtschaftlichkeit häufig für die Spitzenlast mit konventionellen Gaskessel ausgestattet. Reduzierungen wären durch größere Pufferspeicher oder den Bezug von Biogas möglich, jedoch mit erhöhten Kosten.

Um die aus diesen Umständen entstehenden (vergleichsweise geringen) Emissionen zu kompensieren, kommen eine Vielzahl an Möglichkeiten in

Frage, von denen die quartiersinterne Erzeugung von PV-Strom bevorzugt wird. Indem ca. 1.830 m² bzw. 330 kW_p PV-Zellen auf den Bestandsgebäuden installiert werden, können die jährlich emittierten Treibhausgase kompensiert werden. Dieser letzte Schritt zur Klimaneutralität erfordert umfangreiche Aufklärungs- und Öffentlichkeitsarbeit zur Motivation der Besitzer und Hausverwaltungen der Bestandsgebäude.

Übertragbarkeit auf andere Projekte

Klimaneutralität wird auch in anderen Wohnbauprojekten nur schwer durch die reine Kompensation entstehender Emissionen zu bewerkstelligen sein. Im vorliegenden Projekt z.B. wäre für die im Rahmen der konventionellen Lösung berechneten Emissionen eine PV-Fläche von 14.000 m² bzw. eine installierte Leistung von 2.550 kW_p nötig.

Aus diesem Grund gibt es keine Alternative dazu, zunächst den Energieverbrauch zu senken. Dazu gehören Sanierungen im Bestand, hohe Energiestandards der Gebäudehüllen im Neubau sowie Low-Tech-Ansätze bei der Gebäudetechnik. Dadurch entstehende Mehrkosten können ggf. durch höhere Kaltmieten kompensiert werden. Durch den niedrigeren Energieverbrauch hält sich die finanzielle Belastung der Bewohner in Grenzen (siehe warmmietneutrale Sanierung, AP 4.4 (Energiegerechtigkeit) des Gesamtprojekts).

Der verbleibende Energiebedarf muss erneuerbar gedeckt werden. Nahwärmenetze bieten hier große Flexibilität und haben den Vorteil, dass viele Gebäude gleichzeitig auf eine erneuerbare Wärmeversorgung umgestellt werden können. Auch zukünftige Anpassungen an technische Neuerungen können durch zentrale Änderungen in der Heizzentrale für einen flächendeckenden Bereich bewerkstelligt werden. Außerdem ermöglichen Nahwärmenetze auch die Versorgung von älteren Bestandsgebäuden mit hohem spezifischen Wärmeverbrauch pro m². Die Heizzentrale kann u.U. im Randbereich verwirklicht werden, wodurch Emittenten aus dem Wohn- u. Arbeitsbereich herausgehalten werden. Mit dem Denkmalschutz gibt es häufig keine Konflikte, demnach können Nahwärmenetze auch in Alt- und Innenstädten angewandt werden.

Schwierigkeiten bei der Übertragbarkeit auf andere Projekte könnte es ggf. bei der Freiflächen-Solarthermie geben. Nicht überall werden entsprechende Flächen zur Verfügung gestellt werden können. Hier muss auf alternative regenerative Energiequellen zurückgegriffen werden. Vor allem im Neubaubereich könnten Wärmepumpen eine größere Rolle spielen.

Anhang

VERBRAUCHERSEITE

BESTAND	Haus-Nr.	Baujahr	Wohn- Flächen m ²	Wohn- einheiten	Anzahl Bewohner	WÄRME			STROM				
						E-Verbrauch Wärme 2019 kWh	in Berechnung kWh	CO ₂ Re- ferenz 100% Erdgas kg	in Berechnung	CO ₂ Refe- renz 100% Netz kg			
Hildegardring	25+27		1.000			100.000	100.000 kWh		25.000 kWh				
Hildegardring	29 + 31		1.275			120.820	120.820 kWh		31.875 kWh				
Hildegardring	33 + 35	1965	1.275			120.820	120.820 kWh		31.875 kWh				
Hildegardring	34 + 34a	1990	1.263			217.792	217.792 kWh		31.575 kWh				
Hildegardring	36	1959	516			52.433	52.433 kWh		12.900 kWh				
Hildegardring	37 + 39	1966	1.408			140.723	140.723 kWh		35.200 kWh				
Hildegardring	38 + 40 + 42	1973	1.611			182.900	182.900 kWh		40.275 kWh				
Hildegardring	43 + 45	1970	1.403	20	ca. 50	237.595	237.595 kWh		35.075 kWh				
Hildegardring	44 + 46 + 48	1967	1.852			171.231	171.231 kWh		46.300 kWh				
Hildegardring	47+49+51		1.430			182.900	182.900 kWh		35.750 kWh				
Hildegardring	50+52+54		1.738			203.345	203.345 kWh		43.450 kWh				
Hildegardring	56 + 58 + 60	1966	1.738	22		203.345	203.345 kWh		43.450 kWh				
Hildegardring	62+64+66		1.738			203.345	203.345 kWh		43.450 kWh				
Summe Bestand			18.247				2.137.249 kWh	512.940	456.175 kWh	250.896			
NEUBAU			Primärenergie				EnEV - Mindest- anforderung	15% EE 85% Erdgas	100% Netz	PV- Anlage kW _p	Speicher kWh		
		A _N	EnEV	EEB									
Anna-Zentgraf-Str.	1 ("Haus 1")		1.374	14	52,5	19,4	26.656	72.135 kWh	26.656 kWh	34.350 kWh	23		
Anna-Zentgraf-Str.	3 ("Haus 3")		1.028	11	62,4	22,8	23.429	64.122 kWh	23.429 kWh	25.690 kWh	18		
Anna-Zentgraf-Str.	5 ("Haus 2")		1.367	14	52,2	18,8	25.700	71.357 kWh	25.700 kWh	34.175 kWh	23		
Anna-Zentgraf-Str.	7 ("Haus 4")		1.540	14	53,8	20,9	32.184	82.847 kWh	32.184 kWh	38.498 kWh	25	6*15,4=	
Anna-Zentgraf-Str.	9 ("Haus 5")		1.372	14	51,8	18,9	25.931	71.070 kWh	25.931 kWh	34.300 kWh	23	92,4	
Anna-Zentgraf-Str.	11 ("Haus 7")		1.459	13	55,2	21,2	30.931	80.537 kWh	30.931 kWh	36.475 kWh	22		
Anna-Zentgraf-Str.	13 ("Haus 6")	2020	1.368	14	51,8	18,9	25.855	70.862 kWh	25.855 kWh	34.200 kWh	23		
Anna-Zentgraf-Str.	15 ("Haus 8")		916	8	54,6	19,7	18.045	50.014 kWh	18.045 kWh	22.900 kWh	18,5		
Anna-Zentgraf-Str.	17 ("Haus 9")	2020	1.442	16	61,7	39,2	56.526	88.971 kWh	56.526 kWh	36.050 kWh	24,3		
Anna-Zentgraf-Str.	19 ("Haus 10")	2020	1.752	17	52,3	35,4	62.021	91.630 kWh	62.021 kWh	43.800 kWh	27		
Anna-Zentgraf-Str.	21 ("Haus 11")		1.475	14	53,4	32	47.200	78.765 kWh	47.200 kWh	36.875 kWh	22,95	145	
Anna-Zentgraf-Str.	23 ("Haus 13")	2020	1.403	12	49,7	32,1	45.036	69.729 kWh	45.036 kWh	35.075 kWh	21,6		
Anna-Zentgraf-Str.	25 ("Haus 12")	2020	1.159	11	53,6	35,6	41.260	62.122 kWh	41.260 kWh	28.975 kWh	18,9		
Anna-Zentgraf-Str.	27 ("Haus 14")	2020	1.139	11	57,6	38,5	43.852	65.606 kWh	43.852 kWh	28.475 kWh	18,9		
Haus Schändel			4.000		55	30	120.000	220.000 kWh	120.000 kWh	100.000 kWh			
Summe Neubau			22.794					1.239.768 kWh	624.626 kWh	252.913	569.838 kWh	313.411	309,15
SUMME NEUBAU + BESTAND			41.041					2.761.875 kWh	765.852	1.026.013 kWh	564.307		

ERZEUGERSEITE

(Daten SWaS)		11.000.000 kWh		Wärmebedarf Quartier:		2.761.875 kWh	
Erzeugung Wärme	Leistung	Gesamt Anteil	Gesamt Energie	Anteil Quartier	Energie Quartier	CO ₂ -Äquivalent-Faktoren in kg/kWh	CO ₂ -Äqu. kg
Holzhackschnitzel	1,6 MW	60%	6.600.000 kWh	60%	1.657.125 kWh	0,040	66.285
Erdgas-Spitzenlast	2*2 MW 4.270 m ² / 2,4	15%	1.650.000 kWh	15%	414.281 kWh	0,240	99.427
Solarthermie	MW	20%	2.200.000 kWh	20%	552.375 kWh	0,000	-
BHKW	50 kW _{el} / 90 kW _{th}	5%	550.000 kWh	5%	138.094 kWh	-0,031	- 4.301
SUMME Wärme					2.761.875 kWh		161.412

Erzeugung Strom	Leistung kW	Ertrag kWh/kW _p	Strommenge		Strombedarf Quartier:	1.026.013 kWh	CO ₂ -Äqu. kg
BHKW-Strom (analog Wärme)	50 kW _{el}			7,5%	76.719 kWh	-0,031	- 2.389
PV - Eigenstrom Neubau	309	950	293.693 kWh	28,6%	293.693 kWh	0,000	-
weitere PV	Ansatz: 8*20 kW	950	152.000 kWh	14,8%	152.000 kWh	0,000	-
Stromeinkauf MIX		x	503.601 kWh	49,1%	503.601 kWh	0,550	276.981
Stromeinkauf ÖKO			503.601 kWh	0%	0 kWh	0,030	-
SUMME Strom					1.026.013 kWh		274.591 12.719

Literaturverzeichnis

1. **Baugenossenschaft Überlingen eG.** *KfW - Bestätigung zum Antrag "Energieeffizientes Bauen" (153).* 19. 01 2020.

2. **Ministerium für Landesentwicklung und Wohnen Baden-Württemberg .**

Wohnungsbautätigkeit im Land. [Online] [Zitat vom: 26. 10 2022.] <https://mlw.baden-wuerttemberg.de/de/bauen-wohnen/wohnungsbau/wohnungsversorgung-in-bw/#:~:text=Jedem%20Einwohner%20stehen%20mittlerweile%20durchschnittlich,Land%20betr%C3%A4gt%20%C3%BCber%2050%20Prozent..>

3. **co2online gemeinnützige Beratungsgesellschaft mbH.** Stromspiegel. [Online] [Zitat vom: 26. 10 2022.] <https://www.stromspiegel.de/>.

4. **Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg .** Solare Einstrahlung. [Online] [Zitat vom: 27. 10 2022.] <https://www.energieatlas-bw.de/sonne/dachflachen/hintergrundinformationen/solare-einstrahlung>.

5. **Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg.** Solarpotential auf Dachflächen. [Online] [Zitat vom: 27. 10 2022.] <https://www.energieatlas-bw.de/sonne/dachflachen/solarpotenzial-auf-dachflachen>.

6. **Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen.** Europas größtes Netzwerk für nachhaltiges Bauen. [Online] [Zitat vom: 02. Februar 2023.] https://www.dgnb.de/de/verein/publikationen/bestellung/downloads/DGNB_Leitfaden_Ihr_Weg_zum_klimaneutralen_Gebaeude.pdf.

7. **Umweltbundesamt.** Kompensation von Treibhausgasemissionen. [Online] [Zitat vom: 06. 02 2023.] <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/uebergreifende-tipps/kompensation-von-treibhausgasemissionen#gewusst-wie>.