



HOCHSCHULE RUHR WEST
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Entwicklung und Bewertung von Konzepten zur Integration von wärmenetzgespeisten Trinkwasserstationen anstelle von elektrischen Durchlauferhitzern in Bestandsgebäuden

Bachelorarbeit

Studiengang Energie- und Umwelttechnik
der Hochschule Ruhr West

Julian Sawatzki

10007260

Erstprüfer:	Dr. -Ing. Jürgen Röben
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Joachim Krassowski
Kooperationspartner:	Fraunhofer UMSICHT
Betreuer:	Dipl.-Ing. Joachim Krassowski

Bottrop, April 2021

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
1 Einleitung.....	7
2 Hintergrund.....	9
2.1 Quartierskonzept: QUENTIN	9
2.2 Struktur der Gebäude im Quartier	11
2.3 Trinkwassererwärmungsanlagen	14
2.3.1 Anforderungen an die Trinkwassererwärmung	14
2.3.2 Typisierung von Trinkwassererwärmungsanlagen	15
2.3.3 Auswahl und Beschreibung des Trinkwassererwärmungssystems	17
2.4 Forschungsfragen	19
3 Konzeptentwicklung zur Umrüstung der Trinkwarmwassererzeugung im Quartier	21
3.1 Technische Anforderungen an die Konzepte	21
3.2 Konzepte zur Trinkwassererwärmung	24
3.2.1 Konzept 0: Verwendung der bestehenden Durchlauferhitzer	24
3.2.2 Konzept 1: Zentrale Frischwasserstation	26
3.2.3 Konzept 2: Dezentrale Wohnungsstation.....	30
3.2.4 Konzept 3: Dezentrale Stockwerkstation	33
3.2.5 Konzept 4: Dezentrales Speicherladesystem mit integriertem Durchlauferhitzer	35
3.2.6 Übersicht der Konzepte	38
4 Energetische und ökologische Analyse der Konzepte	39
4.1 Energiebedarf.....	39
4.2 Wirkungs- und Nutzungsgrade	43
4.3 Energieflussanalyse und ökologische Bewertung	46
5 Ökonomische Bewertung der Konzepte	49
6 Abschließende Diskussion und Fazit.....	53
Anhang A: Vorgaben Plattenwärmetauscher - Grenzwerte Trinkwasserbeschaffenheit	57
Anhang B: Heizgradtage.....	58
Anhang B1: Heizgradtage IWU.....	58
Anhang B2: Temperaturdaten Wetterstation Düsseldorf	60

Anhang C: Abschätzung von längenbezogenen Wärmeabgaben von Heizleitungen.....	61
Anhang D: Energieflussdiagramme der Konzepte 1-4.....	62
Anhang E: Annuitätsberechnung der Konzepte	64
Anhang E1: Annahmen und Parameter zur Berechnung der Annuitäten.....	64
Anhang E2: Berechnungstabellen - Annuität aller Konzepte.....	66
Anhang E3: Kostenvoranschlag KaMo.....	71
Literaturverzeichnis	73
Erklärung	79

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der geplanten Energieversorgungsstruktur in QUENTIN (zur Verfügung gestellt von Fraunhofer UMSICHT)	11
Abbildung 2: Überwiegend vorliegende Gebäudetypen im Quartier (zur Verfügung gestellt von Fraunhofer UMSICHT)	13
Abbildung 3: Schematische Darstellung Einrohrsystem (links) und Zweirohrsystem (rechts) [12].....	13
Abbildung 4: Schematische Darstellung - Etagenringnetz (a), Etagenverteilstück (b) und Steigstrangnetz (c) [13]	14
Abbildung 5: Schematische Darstellung einer Frischwasserstation [19]	18
Abbildung 6: Funktion einer Frischwasserstation - Start der Frischwasserstation (links) - Frischwasserproduktion (rechts) [19]	19
Abbildung 7: Konzept 0 - Trinkwassererwärmung mit Durchlauferhitzer und Wärmeversorgung über Nahwärmenetz – Etagenringssystem (eigene Darstellung).....	25
Abbildung 8: Konzept 0 - Trinkwassererwärmung mit Durchlauferhitzer und Wärmeversorgung über Nahwärmenetz – Steigstrangsystem (eigene Darstellung).....	25
Abbildung 9: Konzept 1 – Heizung und Trinkwassererwärmung über Nahwärmenetz – zentrale Frischwasserstation – Etagenringssystem (eigene Darstellung).....	27
Abbildung 10: Konzept 1 – Heizung und Trinkwassererwärmung über Nahwärmenetz – zentrale Frischwasserstation – Steigstrangsystem (eigene Darstellung).....	27
Abbildung 11: Konzept 2 – Heizung und Trinkwassererwärmung über Nahwärmenetz – dezentrale Wohnungsstation – Etagenringssystem (eigene Darstellung).....	30
Abbildung 12: Konzept 3 – Heizung und Trinkwassererwärmung über Nahwärmenetz – dezentrale Stockwerkstation – Etagenringssystem (eigene Darstellung).....	33
Abbildung 13: Schematische Darstellung – Stockwerkstation (eigene Darstellung)	34
Abbildung 14: Konzept 4 – Heizung und teilweise Trinkwassererwärmung über Nahwärmenetz – dezentrales Speicherladesystem mit integriertem Durchlauferhitzer – Etagenringssystem (eigene Darstellung).....	35
Abbildung 15: Konzept 4 – Heizung und teilweise Trinkwassererwärmung über Nahwärmenetz – dezentrales Speicherladesystem mit integriertem Durchlauferhitzer – Steigstrangsystem (eigene Darstellung)	36
Abbildung 16: Schematische Darstellung - dezentrales Speicherladesystem mit integriertem Durchlauferhitzer	36
Abbildung 17: Energieflussdiagramm Konzept 0: Nahwärme und Durchlauferhitzer (eigene Darstellung).....	47

Abbildung 18: Ergebnisse der Annuitätsberechnung (eigene Darstellung)	52
Abbildung 19: Temperatur Düsseldorf (18.09.2016 bis 01.10.2016) [44]	60
Abbildung 20: Temperatur Düsseldorf (27.09.2019 bis 10.10.2019) [45]	60
Abbildung 21: Abschätzung von längenbezogenen Wärmeabgaben von Heizleitungen - Zweirohrsystem [12]	61
Abbildung 22: Energieflussdiagramm Konzept 1: Zentrale Frischwasserstation (eigene Darstellung).....	62
Abbildung 23: Energieflussdiagramm Konzept 2 u. 3: Dezentrale Wohnungs-/ Stockwerkstation (eigene Darstellung)	62
Abbildung 24: Energieflussdiagramm Konzept 4: Dezentrales Speicherladesystem mit integriertem Durchlauferhitzer (eigene Darstellung).....	63
Abbildung 25: Kostenvoranschlag KaMo - Zentrale Frischwasserstation.....	71
Abbildung 26: Kostenvoranschlag KaMo – Dezentrale Wohnungs- /Stockwerkstation – Teil 1	71
Abbildung 27: Kostenvoranschlag KaMo – Dezentrale Wohnungs- /Stockwerkstation – Teil 2	72
Abbildung 28: Kostenvoranschlag KaMo - Dezentrale Trinkwasserstation	72

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auflistung aller Gebäude des untersuchten Teilquartiers mit den zugehörigen Nutzeinheiten, Stockwerken und Wohnflächen	12
Tabelle 2: Grenzwerte der Trinkwasserhärte in Abhängigkeit der Temperatur.....	22
Tabelle 3: Vergleich der Trinkwassererwärmungskonzepte (eigene Darstellung) ...	38
Tabelle 4: Gasverbräuche der Netzanschlusspunkte des untersuchten Teilquartiers (eigene Darstellung).....	39
Tabelle 5: Gasverbrauch, Ermittelte Heizgradtage, langjährig gemittelte Heizgradtage, bereinigter Heizwärmeverbrauch sowie Endenergiebedarf der Heizung aller Netzanschlusspunkte des untersuchten Teilquartiers (eigene Darstellung).....	41
Tabelle 6: Anzahl der Wohneinheiten, Wohnfläche, und Nutzwärmebedarf für Heizung und Trinkwassererwärmung aller Netzanschlusspunkte im untersuchten Teilquartier (eigene Darstellung).....	42
Tabelle 7: Wirkungsgrad des BHKWs unter Volllast (eigene Darstellung)	43
Tabelle 8: Systemvariablen der Pufferspeicher sowie der Nahwärmeleitungen (eigenen Darstellung).....	43
Tabelle 9: Wirkungsgrad – zentraler und dezentrale Pufferspeicher sowie Nahwärmeleitung aller Konzepte (eigene Darstellung).....	44

Tabelle 10: Szenario-Bildung zur Ermittlung der Nutzungsgrade der Gebäudeleitungen (eigene Darstellung)	44
Tabelle 11: Heizleitungslängen und Durchmesser für ein Mehrfamilienhaus mit vier und sechs Wohneinheiten (eigene Darstellung)	45
Tabelle 12: Spezifische und absolute Verteilverluste der Heizleitungen, Endenergiebedarf, Nutzwärmebedarf sowie Nutzungsgrad für Mehrfamilienhäuser mit vier und sechs Wohneinheiten (eigene Darstellung).....	46
Tabelle 13: Wirkungs- und Nutzungsgrade aller Konzepte (eigene Darstellung)	46
Tabelle 14: Ergebnisse der energetischen und ökologischen Analyse der Konzepte (eigene Darstellung)	48
Tabelle 15: Zinsfaktor sowie Preisänderungs- und Barwertfaktoren aller Kostenstellen (eigene Darstellung).....	50
Tabelle 16: Abschließender Vergleich der Konzepte (eigene Darstellung)	53
Tabelle 17: Vorgaben Plattenwärmetauscher - Grenzwerte Trinkwasserbeschaffenheit [43]	57
Tabelle 18: Heizgradtage Wetterstation Düsseldorf 2016 [29]	58
Tabelle 19: Heizgradtage Wetterstation Düsseldorf 2017 [29]	59
Tabelle 20: Heizgradtage Wetterstation Düsseldorf 2018 [29]	59
Tabelle 21: Heizgradtage Wetterstation Düsseldorf 2019 [29]	60
Tabelle 22: Berechnungsparameter der Annuitätsrechnung (eigene Darstellung) ..	64
Tabelle 23: Energiepreise (eigene Darstellung).....	64
Tabelle 24: Gebäudeparameter (eigene Darstellung)	65
Tabelle 25: Preise einzelner Bauteile oder Dienstleistungen (eigene Darstellung) .	65
Tabelle 26: Annuitätsrechnung - Konzept 0: Nahwärme und Durchlauferhitzer (eigene Darstellung).....	66
Tabelle 27: Annuitätsrechnung - Konzept 1: Zentrale Frischwasserstation (eigene Darstellung).....	67
Tabelle 28: Annuitätsrechnung - Konzept 2: Dezentrale Wohnungsstation (eigene Darstellung).....	68
Tabelle 29: Annuitätsrechnung - Konzept 3: Dezentrale Stockwerkstation (eigene Darstellung).....	69
Tabelle 30: Annuitätsrechnung - Konzept 4: Dezentrales Speicherladesystem mit integriertem Durchlauferhitzer (eigene Darstellung)	70

1 Einleitung

Der drohende Klimawandel sowie die soziale und wirtschaftliche Verantwortung stellt die Bundesregierung vor große Herausforderungen. Gesucht werden Maßnahmen für eine zuverlässige, bezahlbare und umweltverträgliche Energieversorgung.

Die energiepolitischen Beschlüsse der Bundesregierung, das Energiekonzept vom September 2010 und die Beschlüsse zur Energiewende vom Juni 2011 haben die Basis für diese Art der Energieversorgung in Deutschland gelegt. Dabei bildet der Ausbau erneuerbarer Energien eine der beiden wichtigsten Säulen einer umweltverträglichen Energieversorgung. Die zweite Säule bildet die Energieeffizienz. [1]

Eine sehr gängige Methode der Effizienzsteigerung in Gebäuden ist der Einsatz von Brennwertkesseln, da dabei nicht nur der Heizwert des Brennstoffes, sondern auch die Konvektionswärme des entstehenden Wasserdampfes genutzt wird [2]. Diese werden meist dezentral für ein einzelnes Gebäude ausgelegt. Im Jahr 2019 lag der Anteil der dezentral mit Wärme versorgten Wohngebäude alleine durch Erdgas und Heizöl betriebener Kessel bei 75,1%. Zentral versorgte Nah- und Fernwärmesysteme machten im Jahr 2019 lediglich einen Anteil von 14% aus [3]. Vorteile dieser Methode sind geringe Wärmeverluste aufgrund der kurzen Leitungswege bis zum Verbraucher, kombiniert mit einer hohen Effizienz des Brennwertkessels. Allerdings bringt diese Methode nicht nur Vorteile mit sich.

Die Bundesregierung sieht bereits seit 2011 großes Potenzial im Bereich innovativer neuer Wärmenetze [4]. Berechnungsbeispielen der ASUE e.V. zur Folge haben Blockheizkraftwerke (BHKWs) aufgrund der gekoppelten Produktion von Strom und Wärme eine weitaus höhere Energieeffizienz als die separate Produktion der beiden Energieformen. Vergleicht man den Energiebedarf einer Kraftwärmekopplungsanlage (KWK-Anlage) mit der separaten Produktion von Strom und Wärme mittels Heizkessel und Kraftwerk, zeigt sich, dass die getrennte Produktion 36% mehr Primärenergie-Einsatz benötigt [5]. Diese Einsparungen lassen sich jedoch nur durch KWK-Anlagen großer Leistungsklassen realisieren. Kleine BHKW-Einzelhauslösungen besitzen eine deutlich geringere Effizienz. Um die Vorteile der Kraft-Wärme-Kopplung nutzen zu können, müssen diese demnach als zentrale Wärmeversorger in Form von Nah- und Fernwärmenetzen eingesetzt werden.

Ein weiterer Nachteil dezentraler Wärmeversorgung ist die geringe Adaptierbarkeit solcher Systeme. Findet nach einigen Jahren eine Sanierung statt, wird die Wirtschaftlichkeit der Anlage stark reduziert, da nun aufgrund des reduzierten Wärmebedarfs die Anlage zu groß ausgelegt ist. Weitaus besser wäre hingegen ein Wärmenetz, welches die Möglichkeit besitzt bei reduziertem Wärmebedarf durch neue Anschlussstellen erweitert werden zu können. Darüber hinaus können Wärmenetze als thermische Pufferspeicher für die bei den erneuerbaren Quellen fluktuierend auftretende elektrische Energie dienen. [6] Solche Konzepte auf Ebene von Quartieren, bieten im

Gegensatz zu dem Austausch von älteren Heizungssystemen durch jeweils konventionelle Technologien oder auch Wärmepumpen-Einzelhausanlagen, ganzheitliche Lösungen, welche von der Fachwelt in jedem Fall als nachhaltiger angesehen werden, als die Summe aller Einzelmaßnahmen. [7]

Für einen wirtschaftlichen Betrieb benötigen KWK-Konzepte allerdings noch Abnehmerstrukturen mit hoher Anschluss- oder Wärmebezugsdichte, da ansonsten die Kosten der Verrohrung für das Wärmenetz zu hoch ausfallen. Um den wirtschaftlichen Betrieb von Nahwärmenetzen auch in einem Umfeld mit niedrigeren Anschlussdichten zu ermöglichen, müssen neue effiziente Konzepte gefunden werden.

Das Fraunhofer-Institut UMSICHT entwickelt innerhalb des Verbundvorhabens „Quartiersentwicklung auf Basis von Nahwärmeinseln mit flexiblen KWK-Systemen und Teilsanierung“ (QUENTIN) mit mehreren Kooperationspartnern flexibilisierte KWK-Nahwärmeinseln. Dabei sollen für mehrere Standorte in Oberhausen die bestehenden dezentralen Gasheizungen auf ein Niedertemperatur-Wärmenetz mit einem zentralen und mehreren dezentralen thermischen Speichern umgerüstet werden. Versorgt wird das Wärmenetz über ein zentrales Blockheizkraftwerk. [8]

Die in den Gebäuden untergebrachten dezentralen Speicher, welche die bisherigen Gasheizungen ersetzen, ermöglichen es theoretisch auch die Trinkwassererwärmung durch das Wärmenetz zu realisieren. Dadurch könnte beispielsweise der geringere Wärmebedarf bei Sanierung der Gebäude ausgeglichen werden und so die Adaptierbarkeit des Systems verbessert werden. Des Weiteren würde die Anlage auch im Sommer betrieben werden können, wodurch die Wirtschaftlichkeit der Anlage gesteigert wird.

In dieser Arbeit soll daher anhand eines realen Beispielquartiers untersucht werden, inwieweit elektrische Durchlauferhitzer, die derzeit zur Trinkwassererwärmung genutzt werden, durch wärmenetzgespeiste Trinkwasserstationen ersetzt werden können und welche Auswirkungen dieses unter anderem auf den Primärenergiebedarf sowie auf weitere energetische und ökologische Aspekte des Quartiers hat. Des Weiteren sollen die Maßnahmen erarbeitet werden, die für die Umrüstung der Trinkwarmwassererzeugung erforderlich sind und eine Abschätzung getroffen werden, ob eine solche Umrüstung auch wirtschaftlich sinnvoll ist.

2 Hintergrund

Um die vollständige Auswirkung einer Integration von Frischwasserstationen in einem Wärmenetz erfassen zu können, ist es wichtig das Energiesystem im Ganzen zu betrachten. Im Folgenden wird daher zunächst der Hintergrund und die Motivation für das Quartierskonzept „QUENTIN“ genauer erläutert. Im Anschluss folgt eine strukturelle Beschreibung des zu untersuchenden Quartiers. Des Weiteren werden die technischen Grundlagen von Trinkwassererwärmungsanlagen und die sich daraus ergebenden Forschungsfragen erläutert.

2.1 Quartierskonzept: QUENTIN

Der Begriff Quartier beschreibt ein zusammenhängendes „Baugebiet innerhalb einer Kommune mit einer weitgehend homogenen Siedlungsstruktur oder wenigen Siedlungstypen, die vom umgebenen Gemeindegebiet durch Unterschiede in der Siedlungsstruktur oder Gebietsfunktion abgegrenzt werden können“ [9, p. 259]. Die Betrachtung der Energieversorgung eines Quartiers als eine energetische Einheit, hat den Vorteil, ungenutzte Effizienzpotenziale aufzudecken. Durch eine energetische Quartiersplanung sollen diese Potenziale identifiziert und gehoben werden. [9]

Im Verbundvorhaben „Quartiersentwicklung auf Basis von Nahwärmeinseln mit flexiblen KWK-Systemen und Teilsanierung“ (QUENTIN) sollen für vier ausgewählte Quartiersbereiche der Osterfelder Wohnungsgenossenschaft und der Sterkrader Wohnungsgenossenschaft im Oberhausener Stadtteil Tackenberg flexible Nahwärmeinseln geplant und errichtet werden. Zusätzlich sollen weitere öffentliche Gebäude der Oberhausener Gebäudemanagement GmbH in das Versorgungskonzept eingebunden werden. Hierzu sollen die bestehenden dezentralen Gasheizungen auf ein Niedertemperatur-Wärmenetz mit einem zentralen und mehreren dezentralen thermischen Speichern umgerüstet werden. Versorgt wird das Wärmenetz anschließend über ein zentrales Blockheizkraftwerk. [8]

Es wird dabei auf die Erkenntnisse des Vorgängerprojektes „FlexKWK“ aufgebaut, in welchem nachgewiesen wurde, dass der wirtschaftliche Betrieb eines strommarktgeführten BHKWs in einem Nahwärmenetz möglich ist. Ein großer zentraler Wärmespeicher und eine Power-to-Heat-Anlage sorgen in FlexKWK gleichzeitig dafür, dass der Wärmebedarf der Verbraucher im Wärmenetz zeitentkoppelt vom Betrieb des BHKWs jederzeit gedeckt werden kann. [10]

Um konventionell betriebene BHKWs wirtschaftlich zu betreiben, benötigen diese mindestens 5.000 Volllaststunden pro Jahr. Das flexibilisierte BHKW im Projekt „FlexKWK“ wurde nach Angaben des Fraunhofer Instituts UMSICHT im Jahr 2018 mit etwa 2.400 Volllaststunden wirtschaftlich betrieben. Möglich wird dies durch die zeitentkoppelte Wärmelastdeckung mittels der großen Wärmespeicher. Dadurch können

die höchsten zur Verfügung stehenden Strommargen im Markt erzielt werden, da es dem Anlagenbetreiber im Wesentlichen freisteht, wann und zu welcher Auslastung das BHKW betrieben wird.

Um das Ziel einer umweltfreundlichen Energieversorgung zu erreichen, werden in Zukunft erneuerbare Energien immer weiter ausgebaut. Deren Versorgungskapazität unterliegt jedoch wetterbedingten Schwankungen. Die daraus resultierende schwankende Stromerzeugung wird voraussichtlich einen immer stärkeren Einfluss auf den Strommarkt haben. Die Preise steigen bei niedriger erneuerbarer Stromproduktion und sinken bei hohen Anteilen von Wind- und Sonnenstrom im Netz. Der Einsatz von flexibilisierten KWK-Anlagen kann die Schwankungen im Netz ausgleichen und so den weiteren Ausbau erneuerbarer Energien stützen. Im Projekt QUENTIN sollen die BHKWs ebenfalls strommarktgeführt betrieben werden. Da es bereits jetzt zu einzelnen Situationen kommt, in denen mehr Strom erzeugt als verbraucht wird, wird sich in Zukunft aufgrund der resultierenden negativen Strompreise ein konventioneller Dauerbetrieb von KWK-Anlagen nicht mehr rentieren. Die Häufigkeit dieser Ereignisse wird sich durch den weiteren Ausbau erneuerbarer Energien voraussichtlich noch verstärken. Der in QUENTIN eingesetzte flexibilisierte Betrieb des BHKWs umgeht diese negativen Strompreise und profitiert durch den wachsenden Anteil an erneuerbaren Energien im Netz. [10]

Nach Angaben von Fraunhofer UMSICHT konnte im Projekt FlexKWK allein durch die Umstellung der Wärmeversorgungstechnologie von Gaskesseln auf KWK-Anlagen der Primärenergiefaktor der Wärmeerzeugung von 1,1 auf unter 0,7 reduziert werden. Zudem hat sich gezeigt, dass systemdienliche flexible KWK-Systeme auch unter technisch anspruchsvollen Bedingungen in Bestandsquartiere mit Wärmenetzen integriert werden können.

In QUENTIN werden die flexibilisierten KWK-Anlagen in separate Technikzentralen aufgebaut, wodurch adaptive Systeme geschaffen werden, die an zukünftige Änderungen des Wärmebedarfs oder neue Wärmeerzeugungstechnologien angepasst werden können. Zur Sicherstellung der Wärmeversorgung bei Betriebsausfällen werden verschiedene Back-Up-Lösungen betrachtet, die darauf abzielen, vollständig auf eine klassische Brennwerttherme in den Energiezentralen zu verzichten.

Des Weiteren wird der Projekt- und Untersuchungsumfang in QUENTIN auf den Aufbau von Niedertemperaturwärmenetzen mit zentralen und dezentralen Wärmespeichern, der Sanierung ausgewählter Gebäude und der Einbindung öffentlicher Gebäude in das Netz erweitert. Zudem wird das Projekt mit umfassenden Analysen zum Sanierungsstand, des Primärenergieminderungspotenzials sowie mit der Entwicklung von Sanierungsstrategien, die eine Übertragung und kontinuierliche Weiterentwicklung des Konzepts ermöglichen, begleitet.

Abbildung 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau der geplanten Nahwärmenetze. Zu sehen ist hier die Energiezentrale mit BHKW, Notkessel und zentralem Speicher sowie die Netzanschlusspunkte mit den dazugehörigen dezentralen Speichern.

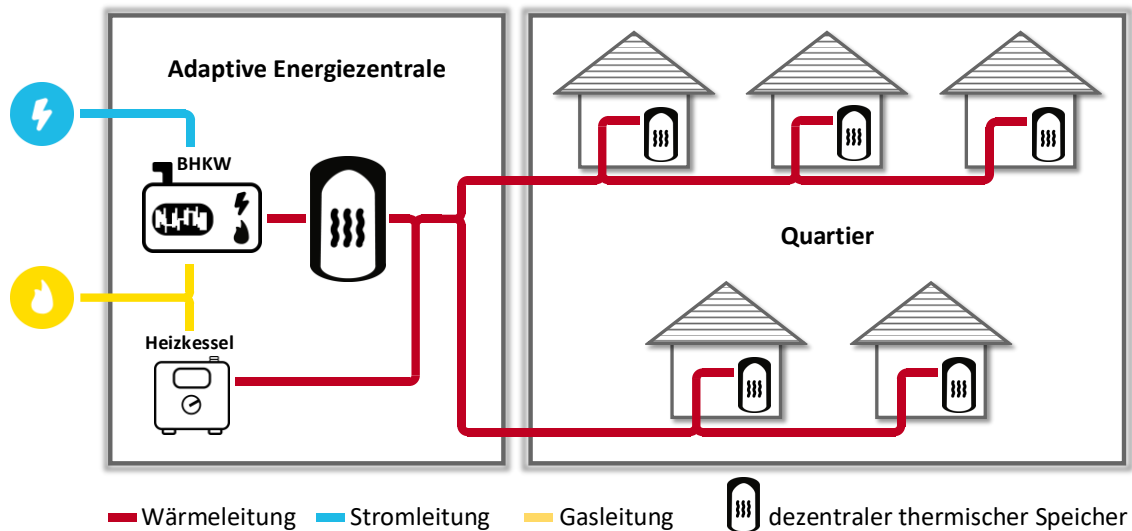


Abbildung 1: Schematische Darstellung der geplanten Energieversorgungsstruktur in QUENTIN (zur Verfügung gestellt von Fraunhofer UMSICHT)

Durch den Einsatz zusätzlicher, dezentraler Speicher im Wärmenetz werden nicht nur die Wärmeproduktion und der Wärmeverbrauch, sondern auch die Wärmeverteilung zeitlich stärker entkoppelt. Das ermöglicht sowohl eine Reduzierung der maximalen Netzanschlussleistung der Wärmeabnehmer als auch eine Reduzierung der Leitungsverluste, wie in der Masterarbeit „Entwicklung und Optimierung verschiedener Betriebskonzepte für thermische Speicher in Wärmenetzen zur Quartiersversorgung“ von Sonja Witkowski deutlich wird. [11]

In Bezug auf die Sanierungsarbeiten in den Quartiersgebäuden stellt sich die Frage, ob die Vorteile von QUENTIN auch auf die Trinkwassererwärmung ausgeweitet werden können. Die vorliegende Arbeit soll sich mit dieser Fragestellung auseinandersetzen.

2.2 Struktur der Gebäude im Quartier

Um die Frage zu klären, ob die Vorteile von QUENTIN auch auf die Trinkwassererwärmung ausgeweitet werden können, ist es zunächst wichtig die Struktur der Quartiere genauer zu analysieren.

Da jedes Gebäude seine eigenen Besonderheiten hat, passen entwickelte Konzepte mal besser, mal schlechter zu den Gegebenheiten eines Gebäudes. Aus diesem Grund ist es für die Konzeptentwicklung wichtig, die grundsätzlichen Rahmenbedingungen zu bestimmen, um eine Vergleichbarkeit der Konzepte untereinander zu schaffen. Eine Analyse der Quartiere soll dabei helfen, ein oder mehrere Standardgebäude als Grundlage für die Konzeptentwicklung zu entwerfen. Dieses Vorgehen fördert zudem die Übertragbarkeit der Konzepte auf andere Quartiere.

Da die für diese Analyse benötigte Datenlage noch nicht für jedes Quartier in QUENTIN vorliegt, wird in dieser Arbeit die Struktur der Wohneinheiten an einem Versorgungsstrang eines Quartiers betrachtet.

Folgende Tabelle 1 listet alle Gebäude des Teilquartiers mit den zugehörigen Nutzeinheiten, Stockwerken und Wohnflächen auf. Jeder Netzanschlusspunkt (NAP) kann dabei mehrere Gebäude versorgen.

Tabelle 1: Auflistung aller Gebäude des untersuchten Teilquartiers mit den zugehörigen Nutzeinheiten, Stockwerken und Wohnflächen

NAP	Gebäude	Art und Anzahl der Nutzung	Anzahl der Stockwerke	Wohnfläche [m²]
1	1	4 Wohneinheiten	2	314
	2	4 Wohneinheiten	2	314
	3	4 Wohneinheiten	2	314
2	1	4 Wohneinheiten	2	314
	2	4 Wohneinheiten	2	314
	3	4 Wohneinheiten	2	314
3	1	1 Ladenlokal	1	96
	2	3 Wohneinheiten	3	207
	3	6 Wohneinheiten	3	416
4	1	1 Ladenlokal	5	345
		8 Wohneinheiten		473
	2	1 Ladenlokal	5	60
		8 Wohneinheiten		474
	3	1 Ladenlokal	5	145
		8 Wohneinheiten		473
5	1	4 Wohneinheiten	2	262
	2	4 Wohneinheiten	2	262
6	1	4 Wohneinheiten	2	266
	2	4 Wohneinheiten	2	266
	3	4 Wohneinheiten	2	266
7	1	4 Wohneinheiten	2	266
	2	4 Wohneinheiten	2	266
	3	4 Wohneinheiten	2	266

Betrachtet man Tabelle 1, so fällt auf, dass in diesem Quartier überwiegend Mehrfamilienhäuser mit vier Wohneinheiten und zwei Stockwerken vorhanden sind (siehe Abbildung 2 rechts). Fotos der anderen Quartiere zur Folge, gibt es zudem eine erhöhte Anzahl an Mehrfamilienhäusern mit sechs Wohneinheiten und drei Stockwerken (siehe Abbildung 2 links). Vereinzelt sind in den Quartieren auch Einfamilienhäuser, Doppelhaushälften, Mehrfamilienhäuser mit mehr als sechs Wohneinheiten sowie Ladenlokale zu finden.



Abbildung 2: Überwiegend vorliegende Gebäudetypen im Quartier (zur Verfügung gestellt von Fraunhofer UMSICHT)

In den meisten Fällen sind die Gebäude zu dritt aneinandergereiht und werden von einem Netzanschlusspunkt mit einem gemeinsamen dezentralen Speicher im Keller versorgt. Nur in Ausnahmefällen versorgen die dezentralen Speicher weniger oder mehr Gebäude gleichzeitig.

Angaben der Wohngenossenschaften zur Folge ist der überwiegende Teil der Gebäude aus den 1950er bis 1970er Jahren. Betrachtet man nur die Wohneinheiten der Gebäude aus Tabelle 1, so lässt sich eine Gesamtwohnfläche von 6.045 m², aufgeteilt auf 89 Wohneinheiten, berechnen. Dies ergibt durchschnittlich eine Wohnfläche von 67,92 m² pro Wohnung.

Unklar ist bisher die bestehende Rohrleitungsstruktur der Gebäude. Grundsätzlich wird bei Heizleitungen zwischen Ein- und Zweirohrsystemen unterschieden. Bei Einrohrsystemen (siehe Abbildung 3 links) sind die Heizkörper in Reihe geschaltet, was dazu führt, dass die Vorlauftemperatur nach jedem Heizkörper abnimmt, da der Rücklauf jedes Heizkörpers wieder in die selbe Leitung zurückgeführt wird. Bei Zweirohrsystemen (siehe Abbildung 3 rechts) werden die Heizkörper parallel geschaltet. Es existiert eine Leitung für den Vorlauf und eine Leitung für den Rücklauf. Dadurch ist die Vorlauftemperatur an jedem Heizkörper gleich. Für die vorliegende Arbeit wird für die weiteren Berechnungen und Konzepte ein Zweirohrsystem angenommen. [12]

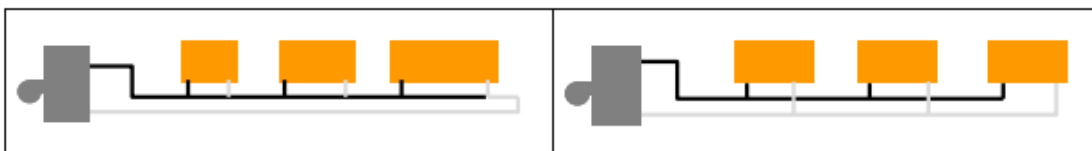


Abbildung 3: Schematische Darstellung Einrohrsystem (links) und Zweirohrsystem (rechts) [12]

Weiterhin können Heizleitungen zwischen Etagenringnetz (a), Etagenverteilnetz (b) und Steigstrangnetz (c) unterschieden werden (siehe Abbildung 4) [13]. Besonders die Steigstrangnetze sind nach Angaben von Heizungsbauern in Altbauten häufiger vorhanden [12]. Diese Arbeit betrachtet Gebäude mit Etagenringnetz und Steigstrangnetz.

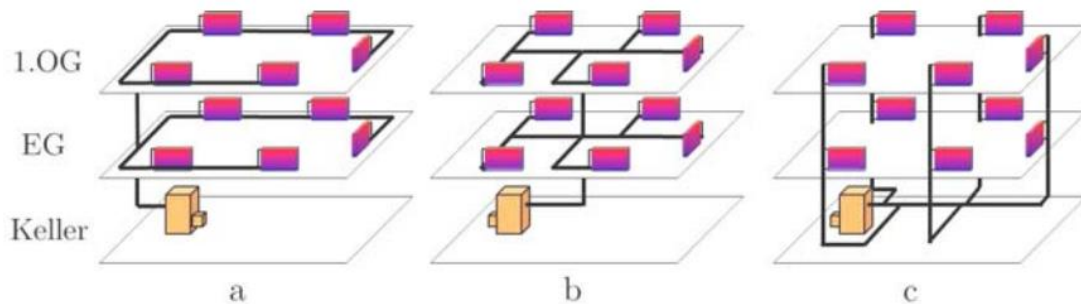


Abbildung 4: Schematische Darstellung - Etagenringnetz (a), Etagenverteilnetz (b) und Steigstrangnetz (c) [13]

2.3 Trinkwassererwärmungsanlagen

Für die Trinkwasseraufbereitung steht eine Vielzahl an möglichen Systemen zur Verfügung. Für die Auswahl der Trinkwassererwärmungsanlage wird dabei in den seltensten Fällen mit der nötigen Sorgfalt recherchiert. In den meisten Fällen wird vielmehr die Wahl der Trinkwassererwärmungsanlage anhand von Erfahrungswerten getroffen. Dabei könnten genauere Untersuchungen eine kostengünstigere Alternative hervorbringen, die unter Umständen sogar umweltfreundlicher ist. [14]

2.3.1 Anforderungen an die Trinkwassererwärmung

Um Trinkwassersysteme miteinander vergleichen und letztendlich eine Wahl treffen zu können, ist es wichtig, die Anforderungen an eine Trinkwassererwärmungsanlage zu kennen. Im Folgenden werden diese Anforderungen aufgezählt:

- Hygienisch einwandfreie Beschaffenheit des Trinkwarmwassers (PWH - potable-water heated) [14]
- Temperatur und Menge des PWH soll ohne große Verzögerung und kontinuierlich zur Verfügung stehen [14] [15]
- Betriebssicherheit und leichte Bedienung der Trinkwasser-Erwärmungsanlage [14]
- Kostengünstiger, energieeffizienter und umweltfreundlicher Betrieb [14]

Diese Kriterien sind im weiteren Verlauf der Arbeit entscheidend für die Bewertung der entwickelten Trinkwassererwärmungskonzepte. Die hygienisch einwandfreie Beschaffenheit des Trinkwassers hat eine besondere Bedeutung in der Trinkwasserversorgung. Wird dieses Kriterium nicht eingehalten, können sich Legionellen im Trinkwasser bilden. Legionellen sind Wasserbakterien, die sich besonders gut bei einer Temperatur zwischen 25 und 55 Grad Celsius vermehren. Wird etwa beim Duschen legionellenhaltiger Wasserdampf eingeatmet, kann dies zu schweren Lungenentzündungen führen, die teilweise tödlich enden können. Deshalb müssen die Schutzmaßnahmen, die in der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) festgelegt sind, in allen Fällen eingehalten werden. [16]

2.3.2 Typisierung von Trinkwassererwärmungsanlagen

Trinkwassererwärmungsanlagen lassen sich in dessen Größe, der Ausführungsart, der verschiedenen Anlagensysteme, dem Beheizungssystem und der eingesetzten Energieart unterscheiden [14]. Im Folgenden wird auf diese Unterscheidungsmerkmale weiter eingegangen.

Anlagengröße

Bei der Anlagengröße wird zwischen Groß- und Kleinanlagen unterschieden. Ursprung dieser Definition ist das DVGW-Arbeitsblatt W 551 und die dort enthaltende 3-Liter-Regel. Die Trinkwasserverordnung nimmt Bezug auf dieses Arbeitsblatt und setzt die dort enthaltenden Inhalte als allgemein anerkannte Regel der Technik fest. [17]

Definiert werden Groß- und Kleinanlagen anhand der Speichergröße und des Leitungsvolumens zwischen Trinkwassererwärmer und Entnahmestelle. Kleinanlagen besitzen ein Speichervolumen kleiner oder gleich 400 Liter und ein Leitungsvolumen zwischen Trinkwassererwärmer und Entnahmestelle kleiner oder gleich drei Liter. Ausnahme stellen Anlagen in Ein- und Zweifamilienhäusern dar, die unabhängig von dem Speicher- und Leitungsvolumen in jedem Fall als Kleinanlage gezählt werden. Beträgt das Speichervolumen mehr als 400 Liter oder das Leitungsvolumen zwischen Trinkwassererwärmer und Entnahmestelle mehr als drei Liter, so handelt es sich um eine Großanlage. [17]

Großanlagen sind im Gegensatz zu Kleinanlagen nach §14b Absatz 1 TrinkwV in Bezug auf Legionellen untersuchungspflichtig, solange das Trinkwasser im Rahmen einer gewerblichen oder öffentlichen Tätigkeit abgegeben wird und es durch die Wasserversorgungsanlage zur Vernebelung des Trinkwassers kommt. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn die Großanlage ein Mehrfamilienhaus versorgt, in dem mindestens eine Wohnung vermietet wird und durch die Anlage eine Dusche betrieben wird. Des Weiteren ist aus hygienischen Gründen der Speicherinhalt von Großanlagen einmal pro Tag auf 60°C aufzuheizen, was im Vergleich zu Kleinanlagen zu weiteren Energieverlusten führt. [14]

Um die 3-Liter-Regel richtig anzuwenden, ist es wichtig zu wissen, dass mit dem Leitungsvolumen zwischen Trinkwassererwärmer und Entnahmestelle nicht das gesamte Leitungsvolumen hinter dem Trinkwassererwärmer gemeint ist, sondern jede Entnahmearmatur für erwärmtes Trinkwasser und das Volumen jedes Fließwegs zwischen dem Trinkwassererwärmer und den einzelnen Entnahmestellen einzeln betrachtet wird (Zirkulationsleitungen ausgeschlossen) [17]. Wird das Leitungsvolumen von drei Litern überschritten, ist zudem eine Zirkulationsleitung einzubauen die dafür sorgt, dass das erwärmte Trinkwasser nicht abkühlt [17]. Dabei ist darauf zu achten, dass die Austrittstemperatur des Trinkwassererwärmers mindestens 60°C und am Wiedereintritt der Zirkulation in den Trinkwassererwärmer mindestens 55°C beträgt [14]. Dies soll die Bildung von Legionellen verhindern.

Ausführungsarten

Die Ausführungsart unterteilt Trinkwassererwärmungsanlagen in zentrale und dezentrale Systeme. Zentrale Trinkwassererwärmungsanlagen versorgen sämtliche Entnahmestellen eines oder mehrerer Gebäude von einem zentralen Trinkwassererwärmer mit Warmwasser. Vorteile dieser Ausführungsart sind der geringe Platzbedarf, niedrige Wartungs- und Instandhaltungskosten sowie geringe Investitionskosten. Der Nachteil ist jedoch, dass in den meisten Fällen aus hygienischen Gründen ein Zirkulationsbetrieb notwendig ist. Dies führt zu einem höheren Energieaufwand verglichen mit einem System ohne Zirkulationsbetrieb. Des Weiteren können bei falscher Auslegung oder nicht bestimmungsmäßigem Betrieb in einigen Fällen hygienisch kritische Zustände eintreten. [14]

Bei dezentralen Trinkwassererwärmungsanlagen erfolgt die Erwärmung des Trinkwassers direkt an der Entnahmestelle oder in deren unmittelbarer Umgebung. Dabei wird zwischen Einzel- und Gruppenversorgung unterschieden. Wie bereits der Name vermuten lässt, wird bei der Einzelversorgung nur eine Entnahmearmatur und bei der Gruppenversorgung mehrere nahe beieinanderliegende Entnahmearmaturen mit Warmwasser versorgt. Dezentrale Trinkwassererwärmungsanlagen benötigen aufgrund des geringen Leitungsvolumens zwischen der Trinkwassererwärmungsanlage und der Entnahmearmatur i.d.R. keine Zirkulationsleitungen. Dies ist erst dann erforderlich wenn ein nachgeschaltetes Leitungsvolumen von drei Liter überschritten wird. Dadurch besitzen dezentrale Trinkwassererwärmungsanlagen den Vorteil, dass keine zusätzlichen Kosten für den Energieaufwand des Zirkulationsbetriebes zu leisten sind. Sie haben gegenüber zentralen Trinkwassererwärmungsanlagen jedoch den Nachteil, dass für die gleiche Menge an PWH höhere Investitionskosten sowie höhere Wartungs- und Instandhaltungskosten anfallen und zudem mehr Platz für die Installation der Anlagen notwendig ist. [14]

Anlagensysteme

Anlagensysteme unterteilen sich in Speicher-, Speicherlade- und Durchflusssysteme. Bei einem Speichersystem (in der Praxis häufig unter der Bezeichnung Warmwasser- oder Trinkwasserspeicher bekannt) wird kaltes Trinkwasser (PWC - potable-water cold) erwärmt und in einem Speicherbehälter bis zur Entnahme bevorratet. Zur Erwärmung des Trinkwassers ist in dem Speicherbehälter ein Wärmeübertrager oder ein Elektroheizelement verbaut. Die Erwärmung des Speicherinhaltes erfolgt dabei gleichmäßig. Eine Form des Warmwasserspeichers ist z.B. das Untertischgerät, welches oft für Küchenspülen verwendet wird. [14]

Ähnlich zu dem Speichersystem ist das Speicherladesystem. Es unterscheidet sich allerdings durch die externe Anordnung des Wärmeübertragers. Dadurch ist eine sogenannte Schichtspeicherung des Trinkwassers möglich. Das warme Trinkwasser befindet sich in den oberen Schichten des Speicherbehälters und das kalte Trinkwasser in den unteren Schichten. Der Wärmetauscher entnimmt das PWC im unteren Bereich des Speicherbehälters und lässt es nach der Erwärmung in den oberen Bereich des

Speicherbehälters wieder zurückfließen. Dadurch, dass warme Flüssigkeiten und Gase nach oben steigen, wird die Vermischung von kaltem und warmen Wasser verhindert. Durch die Schichtspeicherung können weniger Wärmeverluste erzielt werden. [14]

Durchflusssysteme hingegen unterscheiden sich zu Speicher- und Speicherladesystemen grundlegend. Hier wird auf die Bevorratung von warmen Trinkwasser verzichtet. Das kalte Trinkwasser wird beim Durchfließen mittels Wärmetauscher, Brenner oder Elektro-Heizelementen erwärmt. [14]

Beheizungssysteme und einsetzbare Energiearten

Durch die Wahl des Beheizungssystems werden Trinkwassererwärmungsanlagen in direkte (unmittelbar) und indirekte (mittelbar) beheizte Systeme eingeteilt. [14]

Bei der direkt beheizten Trinkwassererwärmung wird die Wärmeenergie unmittelbar durch einen Brennstoff oder eine andere Energiequelle wie z.B. Strom an das Trinkwasser übergeben. [14]

Bei indirekt beheizten Trinkwassererwärmungssystemen wird die Wärme unter Verwendung eines Zwischenmediums übertragen. Meistens dient dabei Heizungswasser als Zwischenmedium. In seltenen Fällen wird aber auch Dampf oder Thermoöl als Zwischenmedium verwendet. Die Wärmeübertragung erfolgt dabei mittels Wärmetauscher durch Konvektion. Die Erwärmung des Zwischenmediums kann durch sämtliche feste, flüssige oder gasförmige Brennstoffe, durch Solarenergie, Fernwärme, Abwärme oder Wärmepumpen erfolgen. [14]

2.3.3 Auswahl und Beschreibung des Trinkwassererwärmungssystems

Für Durchflusssysteme gibt es eine Vielzahl an Auslegungsmöglichkeiten. Sie können sowohl zentral als auch dezentral verwendet werden. Ebenso gibt es direkt als auch indirekt beheizte Durchflusssysteme.

Direkt beheizte Durchflusssysteme (auch bekannt unter dem Begriff „Durchlauferhitzer“) werden oft mit Strom oder Gas betrieben. Indirekt beheizte Durchflusssysteme können mit Fernwärme, Heizkesseln, Wärmepumpen oder Solarenergie betrieben werden. Sie sind häufig unter den Begriffen „Trinkwasserstation“, „Frischwasserstation“ oder auch „Frischwassermodul“ bekannt. [14]

Durchlaufsysteme wie Frischwasserstationen oder Durchlauferhitzer, bieten im Vergleich zu den anderen Anlagensystemen, die größte hygienische Sicherheit vor Legionellen. So ist die Umstellung des Trinkwassersystems in den Gebäuden der Quartiere in QUENTIN auf Frischwasserstationen, welche dezentral durch das geplante Nahwärmenetz versorgt werden würden, für die Wohnungsgenossenschaften eine interessante Option. Die hygienische Sicherheit des Trinkwarmwasser ist weiterhin gewährleistet und durch den Einsatz von Kleinanlagen ist weiterhin keine Legionellen-Prüfung analog zu den aktuell verbauten Elektro-Durchlauferhitzern notwendig.

In der vorliegenden Arbeit soll daher geprüft werden, welche grundsätzlichen Optionen bestehen, die existierenden strombetriebenen Durchlauferhitzer durch Frischwasserstationen zu ersetzen. Im Folgenden wird die Funktionsweise einer Frischwasserstation genauer beschrieben.

Frischwasserstationen

Frischwasserstationen (auch Frischwassermodule genannt) werden sowohl zur dezentralen als auch zur zentralen Trinkwassererwärmung verwendet und gehören zu den indirekt beheizten Durchflusssystemen.

Die Hauptkomponente einer Frischwasserstation ist ein Plattenwärmetauscher, welcher oftmals aus Edelstahl oder Kupfer besteht. Wie bereits zuvor erwähnt, gehören die Frischwasserstation zu den indirekt beheizten Durchflusssystemen. Dies bedeutet, dass die Frischwasserstation die benötigte Energie aus einer externen Wärmequelle bezieht, welches über ein Heizmedium, meist Heizwasser übertragen wird [18]. Das benötigte Heizungswasser kann entweder in einem Pufferspeicher bis zur Entnahme gelagert oder im selben Moment bereitgestellt werden, in dem Warmwasser bezogen wird (beispielsweise durch einen Heizkessel) [18].

Eine Frischwasserstation besitzt mindestens vier Anschlüsse, einen Vor- und Rücklauf für das Heizmedium (meistens Wasser), sowie einen Vor- und Rücklauf für das Brauchwasser.

Abbildung 5 zeigt das Schema einer Frischwasserstation. Hierbei wird mittels einer Pumpe warmes Heizungswasser aus einem Pufferspeicher durch einen Plattenwärmetauscher geleitet. Zur selben Zeit wird kaltes Trinkwasser in den Plattenwärmetauscher geleitet. Das Trinkwasser wird nun im Wärmetauscher mittels Gegenstromverfahren durch das Heizungswasser erwärmt, ohne dass das Trinkwasser mit dem Heizungswasser vermischt wird. Das eingeleitete Heizungswasser wird dabei abgekühlt und in den Pufferspeicher zurückgeleitet.

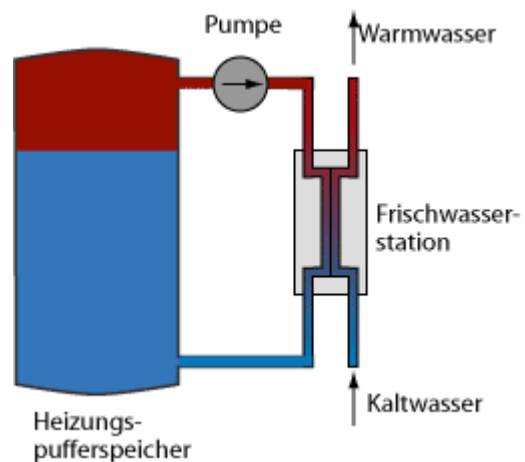


Abbildung 5: Schematische Darstellung einer Frischwasserstation [19]

Je nach Einsatzzweck kann eine Frischwasserstation weitere Funktionen, wie zum Beispiel die Versorgung von Heizkörpern übernehmen. In diesem Fall sind weitere Komponenten in einer Frischwasserstation enthalten. Darunter zählen beispielsweise eine Regelung, eine Pumpe, ein Mischer und ein Wärmemengenzähler für Abrechnungszwecke. Die Frischwasserstation besitzt dann weitere Anschlüsse wie z.B. Vor- und Rücklauf für die Heizkörperversorgung oder einen Anschluss für eine Zirkulationsleitung. Sollten Pumpe oder Wärmemengenzähler verbaut sein, ist

gegebenenfalls auch eine Stromversorgung notwendig, welche bei den einfachsten Modellen nicht erforderlich ist. [18]

Abbildung 6 zeigt einen Beispiel für die Funktion einer Frischwasserstation. Wird an der Entnahmestelle das Wasser aufgedreht, so aktiviert das strömende Kaltwasser (Abbildung 6, links (1)) den Strömungsschalter (Abbildung 6, links (2)). Der Strömungsschalter aktiviert anschließend eine Pumpe (Abbildung 6, links (3)), welche das Heizwasser über den Pufferverlauf (Abbildung 6, links (4)) durch den Wärmetauscher pumpt. Im Wärmetauscher gibt das Heizwasser die Wärme an das im Gegenstrom fließende Trinkwasser ab. Das abgekühlte Heizwasser wird über ein Thermoventil (Abbildung 6, rechts (1)), mit dem Puffervorlauf (Abbildung 6, rechts (2)), wodurch der Pufferrücklauf so weit wie möglich auf eine konstante Temperatur abgekühlt werden kann. [19]

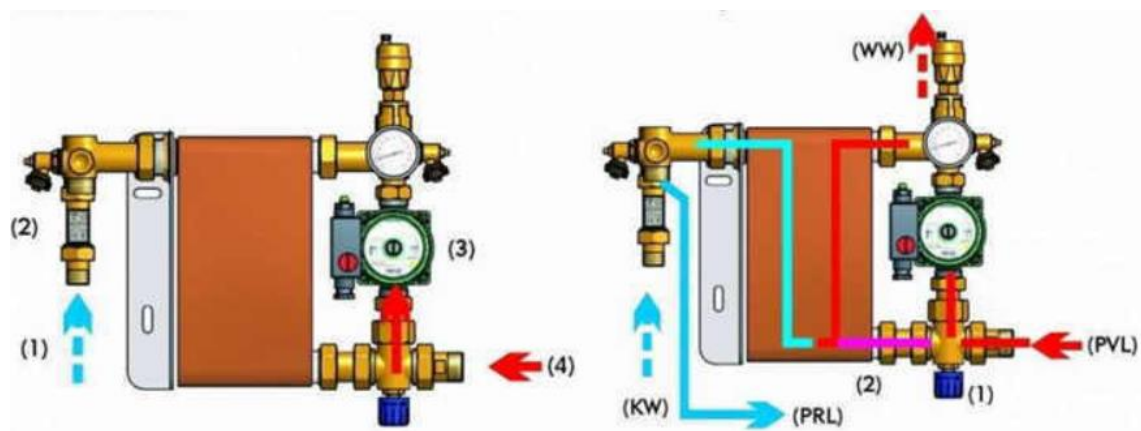


Abbildung 6: Funktion einer Frischwasserstation - Start der Frischwasserstation (links) - Frischwasserproduktion (rechts) [19]

Frishwasserstationen besitzen den Vorteil, dass sich nur eine geringe Menge an Trinkwasser im Wärmeübertrager befindet, wenn sich die Anlage im Ruhezustand befindet. Dadurch wird nur eine kleine Menge des aufgewärmten Trinkwassers vorgehalten, welches bei erneutem Betrieb schnell durch frisches Wasser ausgetauscht wird. Dadurch ist die Gefahr der Legionellen-Bildung wesentlich geringer als die eines Warmwasserspeichers, in dessen meist mehrere hundert Liter Warmwasser gelagert werden. [18]

Sollte es in einer Frishwasserstation dennoch zur Legionellen-Bildung kommen, ist eine thermische Desinfektion durchzuführen. Dabei wird die Leitung mit 70°C heißem Trinkwasser durchspült, was aufgrund des geringen Volumens in der Frishwasserstation mit wenig Energieaufwand erfolgen kann. [18]

2.4 Forschungsfragen

Im Folgenden werden die Fragen, die in dieser Arbeit untersucht werden sollen, festgelegt. Es fällt auf, dass das vorgestellte Quartierskonzept einige Besonderheiten gegenüber konventionellen Wärmenetzen aufweist. Diese Besonderheiten wie z.B. der

flexibilisierte Betrieb des BHKWs, das Niedertemperaturnetz oder die Adaptierbarkeit der Anlage werfen die Frage auf:

Welche technischen Bedingungen müssen erfüllt sein, damit ein Einbau von Frischwasserstationen möglich ist und welche Möglichkeiten der Konzeptionierung sind vorhanden?

Des Weiteren wird das Nahwärmenetz durch die zusätzliche Versorgung mit Warmwasser anderen Wärmelasten ausgesetzt. Es stellt sich demnach die Frage:

Welche energetischen Auswirkungen hat eine mögliche Umrüstung von E-Durchlauferhitzern auf Frischwasserstationen auf das Quartier?

Zudem ist eine Analyse der Vor- und Nachteile der zu entwickelnden Konzepte im Vergleich zur bisherigen Versorgung sinnvoll. Hierrunter fallen beispielsweise die Aspekte der hygienischen Beschaffenheit, Komfort, sowie Umweltverträglichkeit. Es sind demnach die folgenden Fragen zu klären:

Wie stellt sich die Umrüstung hinsichtlich weiterer Aspekte der Quartiersentwicklung dar und welche Vor- und Nachteile sind daraus für die einzelnen Konzepte abzuleiten?

Letztendlich sollte die Umstellung des Trinkwassersystems nicht eine größere finanzielle Belastung darstellen, wie zuvor. Die letzte Frage lautet demnach:

Ist eine Umrüstung auf Frischwasserstationen wirtschaftlich sinnvoll?

3 Konzeptentwicklung zur Umrüstung der Trinkwarmwassererzeugung im Quartier

Im Folgenden werden zunächst die technischen Gegebenheiten erläutert, die für den Einbau von Frischwasserstationen erforderlich sind. Es ist zu betonen, dass sich diese technischen Maßnahmen auf die in Kapitel 2.2 beschriebene Quartiersstruktur beziehen und für andere Gegebenheiten leicht abweichen können. Im Anschluss werden daraus konzeptionelle Möglichkeiten zum Einbau solcher Frischwasserstationen erarbeitet.

3.1 Technische Anforderungen an die Konzepte

Für den Einbau einer Frischwasserstation müssen einige Punkte beachtet werden. Wichtig ist vor allem der Schutz vor Legionellen und der Schutz vor Verkalkung der Geräte. Beide Punkte sind unter anderem von der Temperatur des erwärmten Trinkwassers abhängig. Zudem müssen weitere Aspekte wie der Korrosionsschutz, die verwendeten Materialien (Wärmetauscher und Leitungen) und das ordnungsgemäße Anschließen einer Frischwasserstation beachtet werden.

Schutz vor Legionellen

In den Frischwasserstationen, werden bis auf das Wasser im Wärmetauscher, keine größeren Mengen an warmen Trinkwasser gespeichert. Demnach ist eine hygienische Verunreinigung in der Frischwasserstation selbst unwahrscheinlich. Jedoch können sich in den Warmwasserleitungen bei Stagnation Legionellen bilden. Aus diesem Grund sollten, wie bereits in Kapitel 2.3.2 beschrieben, das Leitungsvolumen in den einzelnen Warmwasserleitungssträngen vom Erzeuger bis zur Armatur nicht mehr als drei Liter betragen [17]. Sollte das Leitungsvolumen größer als drei Liter sein, so gilt der Trinkwassererwärmer als Großanlage [17]. Dadurch besteht eine Legionellen-Prüfpflicht des Trinkwassers, welche alle drei Jahre durchzuführen ist [20]. Des Weiteren müssen die Warmwasserleitungen, welche die drei Liter überschreiten, über Zirkulationsleitungen verfügen [17]. Hierfür muss aufgrund von Wärmeverlusten hinzukommenden Zirkulationspumpen, zusätzliche Energie aufgewendet werden [17]. Auch die Austrittstemperatur des erwärmten Trinkwassers und die Rücklauftemperatur der Zirkulationsleitung ist bei Großanlagen klar definiert [17]. So muss die Austrittstemperatur des erwärmten Trinkwassers mindestens 60°C betragen und die Rücklauftemperatur der Zirkulationsleitung darf nicht mehr als 5°C unter der Austrittstemperatur des erwärmten Trinkwassers liegen [14]. Für Kleinanlagen ist keine eindeutige Warmwassertemperatur festgelegt, allerdings sollte die Warmwassertemperatur mindestens 50°C betragen, wenn die Küchenspüle mitversorgt wird [14]. Zudem ist wie zuvor erwähnt, im Fall eines Legionellenbefalls, eine thermische Desinfektion des gesamten Netzes möglich [21]. Dazu muss das Trinkwasser allerdings auf 70°C erwärmt werden [21].

Schutz vor Verkalkung

Wie alle anderen Warmwasserbereiter auch, können die Wärmetauscher von Frischwasserstationen über die Zeit verkalken. Um einer Verkalkung entgegenzuwirken, muss bei der Frischwasserstation nach einer gewissen Zeit eine chemische Entkalkung durchgeführt werden. Der Aufwand hierfür fällt allerdings gering aus, da der Wärmetauscher, verglichen zu einem Warmwasserspeicher, einen deutlich niedrigeren Wasserinhalt aufweist. [18]

Wie schnell dieser Verkalkungsprozess stattfindet, ist maßgeblich von dem Härtegrad des zu erwärmenden Trinkwassers und der Regeltemperatur des Warmwassers bzw. der Vorlauftemperatur des Heizwassers abhängig. Es sollte daher, um den Härtegrad zu bestimmen, eine Analyse des Trinkwassers vorgenommen werden.

Ab einer Temperatur von mehr als 55°C beginnt der Kalkausfall im Wasser stark zu steigen [21]. Nach DIN 1988-200 ist deshalb bei einer Regeltemperatur des Warmwassers von mehr als 60°C und einem Härtegrad des Trinkwassers von 14°dH oder höher eine zusätzliche Wasserenthärtung erforderlich [22]. Empfohlen wird der Einsatz einer Wasserenthärtungsanlage bei Regeltemperaturen über 60°C bereits ab einem Härtegrad von 8,4°dH [22]. Bei Regeltemperaturen unter oder gleich 60°C ist keine Wasserenthärtung erforderlich [22]. Jedoch wird auch hier ab einem Härtegrad von 14°dH der Einsatz einer Wasserenthärtungsanlage empfohlen (siehe Tabelle 2) [22].

Tabelle 2: Grenzwerte der Trinkwasserhärte in Abhängigkeit der Temperatur

Härtegrad des Trinkwassers [°dH]	Enthärtungsmaßnahmen	
	Regeltemperatur ≤ 60°C	Regeltemperatur > 60°C
< 8,4	Keine	Keine
≥ 8,4 bis < 14	Keine	Empfohlen
≥ 14	Empfohlen	Erforderlich

Korrosionsschutz

Doch nicht nur der Härtegrad des Trinkwassers hat Einfluss auf eine Frischwasserstation. Werte wie z.B. die Chlorid-, Sulfat- und Nitratkonzentration oder der pH-Wert haben Einfluss auf die Korrosionsbeständigkeit des Wärmetauschers und entscheiden darüber, ob ein kupfergelöteter Wärmetauscher verwendet werden kann oder ein Wärmetauscher aus Volledelstahl verwendet werden muss [21]. Somit ist auch in Bezug auf den Korrosionsschutz eine genauere Trinkwasseranalyse notwendig.

Im Anhang A sind die genauen Grenzwerte für kupfergelötete und Edelstahl-Wärmetauscher zu finden. Können diese Grenzwerte nicht eingehalten werden, so ist der Einsatz von Frischwasserstationen nicht gestattet.

Besondere Vorsicht ist zudem bei kupfergelöteten Wärmetauschern in Bezug auf die Warmwasserleitungen geboten. Bestehen die Warmwasserleitungen aus verzinkten Eisenwerkstoffen ohne Schutzschichtbildung, so kann sogenannter „Lochfraß“ an den Leitungen entstehen. Aus diesem Grund ist bei Mischinstallation mit verzinkten

Eisenwerkstoffen die Verwendung von Wärmetauschern aus Volledelstahl erforderlich. [21]

Wärmemengenabrechnung

Die Wärmemengenermittlung, welche für die Heizkosten- und Warmwasserkostenabrechnung benötigt wird, ist in der Heizkosten-Verordnung (HeizkostenV) klar geregelt. Nach HeizkostenV §5 sind zur Erfassung des anteiligen Wärmeverbrauchs nur Wärmemengenzähler und Heizkostenverteiler zulässig. Zur Erfassung des anteiligen Warmwasserverbrauchs sind auch Warmwasserzähler gestattet. [23]

Seit dem 31.12.2013 muss zudem in Anlagen in denen die Heizwärme- und Warmwasserversorgung verbunden sind, die Wärmemenge der zentralen Warmwasserversorgungsanlage mit einem Wärmemengenzähler gemessen werden. [23]

Bei Verwendung von Frischwasserstationen ist es wichtig, dass die Wärmemengenzähler eine hohe Abtastrate besitzen. Da 85% aller Wasserentnahmen Kleinentnahmen unter 15 Sekunden sind, würden bei zu hohen Abtastraten sonst ein Großteil der Energieströme nicht erfasst werden. Die Abtastrate sollte deshalb nicht mehr als vier Sekunden betragen. Es wird empfohlen ein Ultraschallzähler zu verwenden. [24]

Witterungsgeführte Regelung

In dem GEG 2020 §61 (1) wird gefordert, dass Gebäude mit Zentralheizung mit zentralen, selbsttätig wirkenden Einrichtungen zur Verringerung und Abschaltung der Wärmezufuhr sowie zur Ein- und Ausschaltung elektrischer Antriebe auszustatten sind. Die Regelung der Wärmezufuhr sowie der elektrischen Antriebe soll in Abhängigkeit der Außentemperatur oder einer anderen geeigneten Führungsgröße sowie in Abhängigkeit der Zeit erfolgen.

Wird ein Wohngebäude mit mehr als fünf Wohneinheiten durch eine Zentralheizung versorgt, welche jede einzelne Wohnung mit Heizwärme und Wärme für die Warmwasserbereitung mittels Wärmetauscher versorgt, so kann nach GEG §61 (3) jede einzelne Wohnung separat mit den Einrichtungen nach GEG 2020 §61 (1) ausgestattet werden.

Die genaue Definition einer Zentralheizung ist im GEG nicht beschrieben, allerdings wird in GEG § 62 impliziert, dass auch die Nah- und Fernwärmeversorgung unter diesem Begriff gefasst wird, wenn die Nah- oder Fernwärme mittels Wärmetauscher im Gebäude auf einen sekundären Heizkreislauf übertragen wird. Sollten die mit Wärme versorgten Gebäude ohne Wärmeübertrager an eine Nah- oder Fernwärmeversorgung angeschlossen sein, so kann nach GEG § 62 die Pflicht nach GEG § 61 auch innerhalb der zentralen Erzeugungsanlage des Nah- oder Fernwärmenetzes erfolgen.

Sollten die Frischwasserstationen über dieselben Leitungen mit Wärme versorgt werden wie die Heizkörper, so ist bei der Konzeptionierung darauf zu achten, dass die Verringerung und Abschaltung der Wärmezufuhr sowie das Ein- und Ausschalten

elektrischer Antriebe nicht zu Wärmeversorgungsproblemen der Frischwasserstationen führt.

Anschluss der Frischwasserstation

Vor dem Anschluss einer Frischwasserstation an ein bestehendes Rohrnetz, ist zu prüfen ob die Rohrdimensionierung ausreichend ist. In einigen Fällen ist der Einbau einer Vorrangschaltung möglich, welche dafür sorgt, dass der Heizbetrieb während der Warmwasserbereitung eingestellt oder reduziert wird. Dies könnte dafür sorgen, dass ein für den Einbau der Frischwasserstation nicht ausreichend dimensioniertes Rohrnetz kompensiert werden kann. Sollte der Einbau einer Vorrangschaltung nicht möglich sein oder nicht ausreichen, so muss die zu geringe Dimensionierung anderweitig kompensiert werden. Dies kann beispielsweise durch einen zusätzlichen Durchlauferhitzer zur Spitzenlastdeckung erfolgen. Im äußersten Fall müssen die Leitungen im Gebäude neu verlegt oder zusätzliche Leitungen in das bestehende Netz integriert werden.

3.2 Konzepte zur Trinkwassererwärmung

Im Folgenden werden die entwickelten Konzepte zur Trinkwassererwärmung vorgestellt. Dabei wird in Konzept 0 zunächst das bestehende Trinkwassererwärmungssystem beschrieben. In diesem Konzept werden demnach die bestehenden Durchlauferhitzer weiterverwendet. Anschließend werden nacheinander insgesamt vier verschiedene Konzepte mit Frischwasserstation beschrieben, die über das Nahwärmenetz des Quartiers versorgt werden. Da jedes Gebäude unterschiedliche Bedingungen mit sich bringt und somit für jedes Gebäude andere Konzepte entwickelt werden könnten, beschränkt sich diese Konzeptentwicklung auf die zuvor beschriebenen Eingrenzungen in Kapitel 2.2. Betrachtet werden Lösungen für Mehrfamilienhäuser mit vier oder sechs Wohneinheiten aus den 1950er bis 1970er Jahren. Zudem wird davon ausgegangen, dass es sich bei dem Hausleitungsnetz entweder um ein Etagenringtyp oder ein Steigstrangtyp mit Zweirohrsystem handelt.

3.2.1 Konzept 0: Verwendung der bestehenden Durchlauferhitzer

Wie bereits in Kapitel 2.1 erwähnt, werden in den Gebäuden mehrere in Reihe geschaltete Pufferspeicher (1) eingesetzt, welche von dem Nahwärmenetz mit 80°C warmen Heizwasser gespeist werden (siehe Abbildung 7 u. 8). Im bisherigen Konzept wird lediglich der Heizwärmebedarf durch die nahwärmegespeisten Pufferspeicher im Keller versorgt. Hinter den Pufferspeichern wird eine Fernwärmeübergabestation (2) geschaltet, welche mittels Wärmetauscher den Heizkreislauf des Gebäudes von dem Heizkreislauf des Nahwärmenetzes hydraulisch trennt. Zudem besitzt die Fernwärmeübergabestation einen Wärmemengenzähler, welcher den gesamten Nahwärmebedarf des Gebäudes misst, als auch einen Regler, welcher den nach GEG 2020 §61 geforderten witterungsgeführten Betrieb der Heizungsanlage gewährleistet. Der Wärmetauscher der Fernwärmeübergabestation regelt die Vorlauftemperatur (Hzg_VL)

der Heizkörper (4) auf 70°C. Die Rücklauftemperatur (Hzg_RL) der Heizkörper soll 50°C betragen. Bisherigen Planungen im Projekt zur Folge wird davon ausgegangen, dass die Rücklauftemperatur des Nahwärmenetzes in etwa 55°C betragen wird.

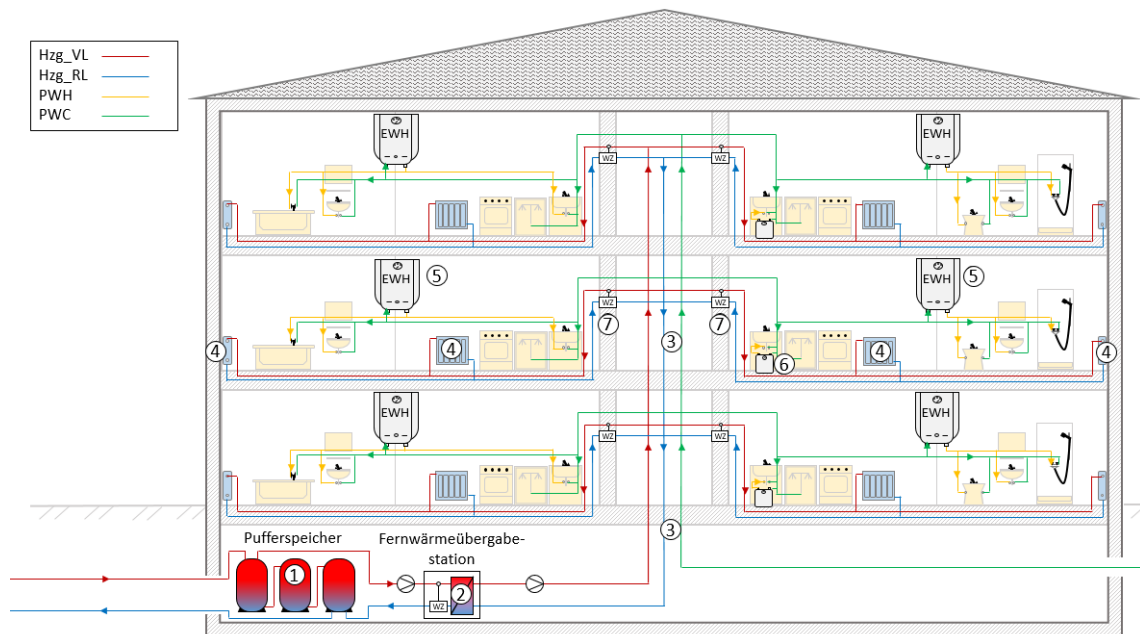


Abbildung 7: Konzept 0 - Trinkwassererwärmung mit Durchlauferhitzer und Wärmeversorgung über Nahwärmenetz – Etagenringesystem (eigene Darstellung)

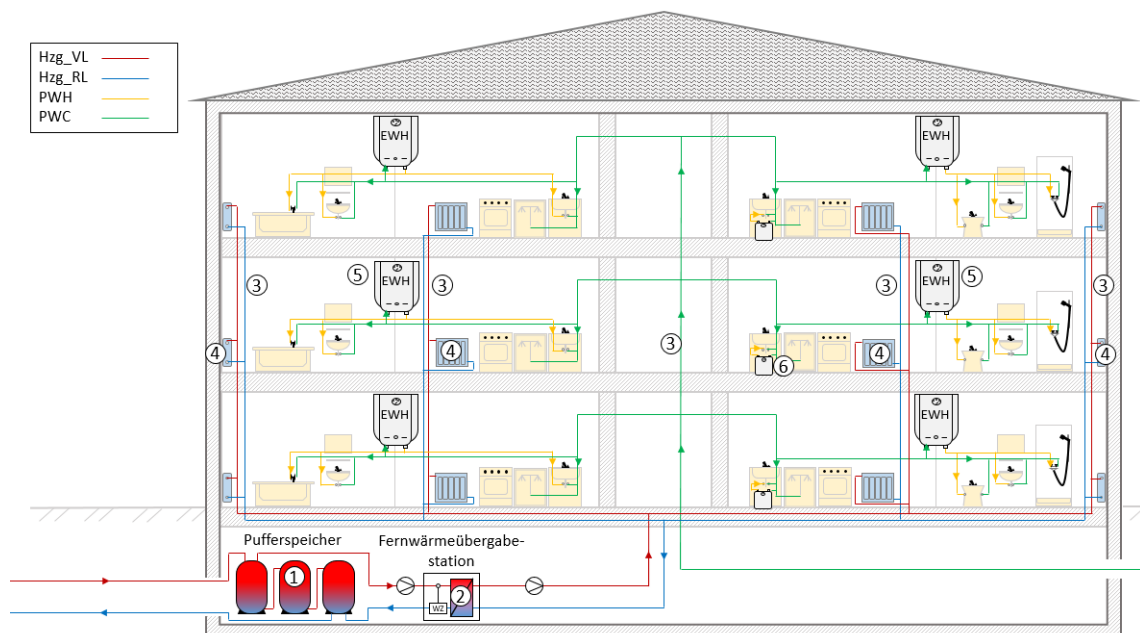


Abbildung 8: Konzept 0 - Trinkwassererwärmung mit Durchlauferhitzer und Wärmeversorgung über Nahwärmenetz – Steigstrangesystem (eigene Darstellung)

Die Trinkwassererwärmung wird weiterhin vollständig oder größtenteils durch die bestehenden elektrisch betriebenen Durchlauferhitzer (5) oder auch „electric water heater“ (EWH) gewährleistet. Jede Wohneinheit besitzt dabei einen eigenen dezentralen

Durchlauferhitzer, welcher entweder die Trinkwassererwärmung von Küche und Bad (siehe Abbildung 7 u. 8 linke Seite) oder lediglich die Trinkwassererwärmung des Badezimmers übernimmt (siehe Abbildung 7 u. 8 rechte Seite). Im zweiten Fall wird die Küchenspüle dann von einem kleinen separaten Warmwasserspeicher (6) versorgt, welcher auch unter dem Begriff „Untertischgerät“ bekannt ist. Da sowohl der Durchlauferhitzer, als auch das Untertischgerät strombetrieben ist, kann der Energieverbrauch zur Erwärmung des Trinkwassers über den Stromzähler abgerechnet werden.

Da die Wärmeversorgung bisher nur für die Heizwärme über einen Kessel bereitgestellt wurde und das Warmwasser elektrisch aufgeheizt wurde, ist davon auszugehen, dass die Gebäude nur über drei verschiedene Steigleitungen verfügen (Heizungs-Vorlauf, Heizungs-Rücklauf und die Trinkwasserleitung kalt).

Im Optimalfall liegen diese drei Steigleitungen als ein einziger Steigstrang (3) vor (Etagenringtyp), welcher für jede Wohneinheit eine eigene Abzweigung besitzt (siehe Abbildung 7). Der anteilige Wärmeverbrauch der Wohneinheiten kann so über einen einzelnen Wärmemengenzähler (7) pro Wohnung ermittelt werden. Alternativ ist zudem der Einsatz von Heizkostenverteilern möglich.

Oftmals wurden Wohngebäude aus den 50er und 60er Jahren jedoch mit mehreren Steigsträngen (3) ausgestattet (siehe Abbildung 8), welche einen Teil von mehreren Wohnungen gleichzeitig versorgen (Steigstrangtyp) [12]. Dies hat zum einen Auswirkungen auf die Abrechnungsmöglichkeiten des anteiligen Wärmeverbrauchs, als auch auf die Möglichkeiten der Verwendung von Frischwasserstationen. Der Einsatz eines einzelnen Wärmemengenzählers pro Wohneinheit ist dann nicht mehr möglich. Hier empfiehlt sich der Einsatz der kostengünstigeren Heizkostenverteiler an jedem Heizkörper. Der Nachteil dieser Heizkostenverteiler ist jedoch, dass diese den Wärmeverbrauch ungenauer ermitteln als Wärmemengenzähler.

3.2.2 Konzept 1: Zentrale Frischwasserstation

In diesem Konzept wird der Heizwärmebedarf und der Trinkwarmwasserbedarf durch den Nahwärmenetz gespeisten Pufferspeicher (1) im Keller versorgt (siehe Abbildung 9 u. 10).

Die Trinkwassererwärmung erfolgt ebenfalls im Keller über die zentrale Frischwasserstation (9), welche alle Wohneinheiten des Gebäudes versorgt. Im Gegensatz zum bestehenden Leitungssystem, ist bei einer zentralen Frischwasserstation neben den bestehenden Steigleitungen (3) für das kalte Trinkwasser (PWC), dem Heizungsvorlauf und dem Heizungsrücklauf, eine weitere Steigleitung (3) für das warme Trinkwasser (PWH) notwendig. Des Weiteren kann mit einer fünften Steigleitung (3) für die Warmwasserzirkulation (PWHC) gerechnet werden, da mit großer Wahrscheinlichkeit das Leitungsvolumen der Warmwasserleitungen über drei Liter betragen wird.

Die Frischwasserstation muss somit über fünf Anschlüsse verfügen: Heizungsvorlauf und Heizungsrücklauf für die Wärmeversorgung, ein Anschluss für das zu erwärmende Trinkwasser, der Austritt für das erwärmte Wasser und ein Anschluss für die Zirkulation des Warmwassers.

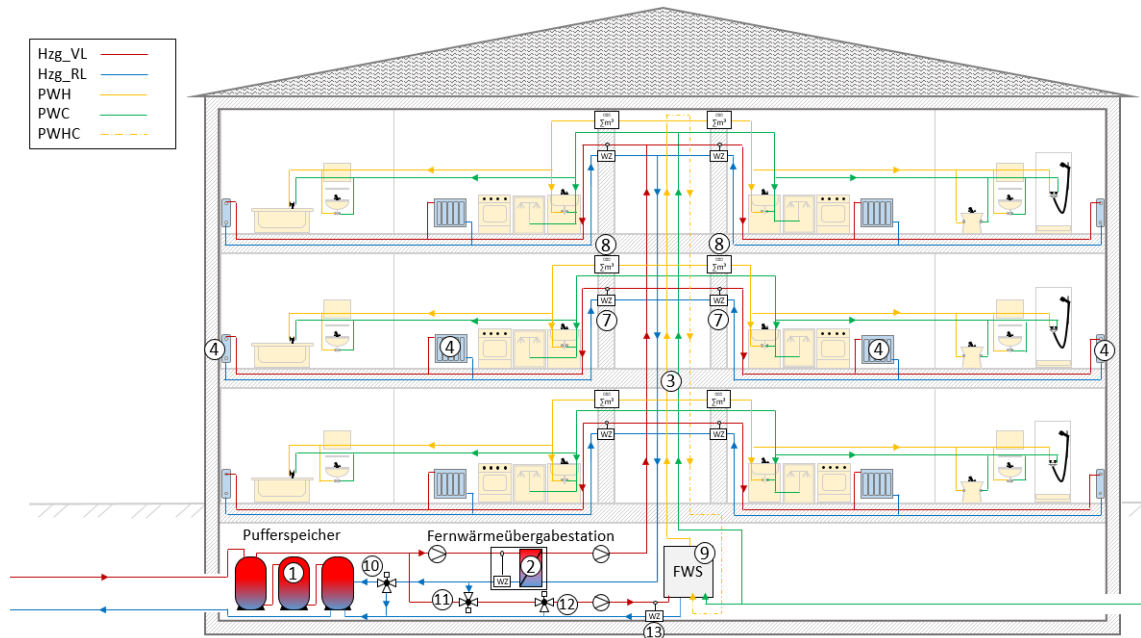


Abbildung 9: Konzept 1 – Heizung und Trinkwassererwärmung über Nahwärmenetz – zentrale Frischwasserstation – Etagenringssystem (eigene Darstellung)

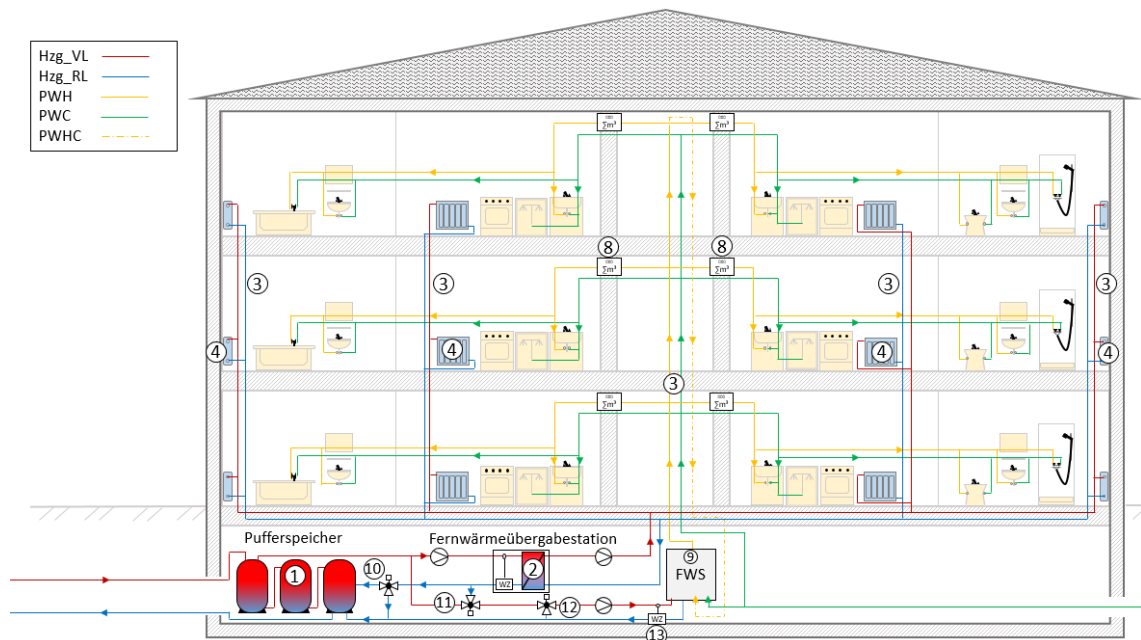


Abbildung 10: Konzept 1 – Heizung und Trinkwassererwärmung über Nahwärmenetz – zentrale Frischwasserstation – Steigstrangsystem (eigene Darstellung)

Da die Frischwasserstation in diesem Konzept sehr wahrscheinlich als Großanlage gilt, unterliegt sie einer Legionellen-Prüfpflicht. Diese Prüfung muss alle drei Jahre von einem Fachmann durchgeführt werden. Versorgt wird die Frischwasserstation über eine

separate Pumpe, welche ausschließlich das benötigte Heizwasser für die Trinkwassererwärmung fördert.

Über eine separate Leitungsabzweigung versorgt eine weitere Pumpe, wie in Konzept 0, die Fernwärmeübergabestation (2) mit Heizwasser, welche das Gebäudenetz hydraulisch vom Nahwärmenetz entkoppelt. Eine weitere Heizungspumpe versorgt im Anschluss die Heizkörper (4) der einzelnen Wohnungen. Auch in diesem Konzept besitzt die Fernwärmeübergabestation einen Regler, der einen witterungsgeführten Betrieb nach GEG 2020 §61 ermöglicht.

Der Vorteil einer zentralen Frischwasserstation ist, dass die Installation dieser Anlage größtenteils unabhängig vom bestehenden Heizleitungsnetz durchgeführt werden kann (Etagenringtyp: Abbildung 9 - Steigstrangtyp Abbildung 10). Allerdings ist damit zu rechnen, dass der Großteil der Warmwasserleitungen sowie Leitungen für die Zirkulation neu verlegt werden müssen.

Systemtemperaturen:

Im Folgenden werden die Systemtemperaturen im Gebäude abgeschätzt, um einen ungefähren Eindruck über die unterschiedlichen Energieverluste der einzelnen Konzepte zu gewinnen. Eine genaue Bestimmung der Temperaturen ist im Allgemeinen nicht möglich, da jedes Gebäude durch sein spezifisches Leitungsnetz, dem Nutzerverhalten etc. Unterschiede aufweist.

Wie gehabt werden die Pufferspeicher (1) mit 80°C warmen Heizwasser gespeist. Die Vorlauftemperatur der Fernwärmeübergabestation im Primärkreislauf beträgt demnach auch 80°C. Mit dieser Vorlauftemperatur kann die Fernwärmeübergabestation die maximale Systemtemperatur der Heizkörper von 70°C im Vorlauf und 50°C im Rücklauf im sekundären Heizkreislauf gewährleisten. Somit sollte die Rücklauftemperatur der Fernwärmeübergabestation im Primärkreislauf in etwa 55°C betragen.

Wie zuvor erwähnt handelt es sich bei der zentralen Frischwasserstation in den meisten Fällen um eine Großanlage. Dies bedeutet, dass das erwärmte Trinkwasser aus hygienischen Gründen eine Temperatur von mindestens 60°C aufweisen muss. Da der Verkalkungsprozess mit Anstieg der Temperatur zunimmt, sollte die Temperatur des PWH die 60°C nicht überschreiten. Die Rücklauftemperatur der Zirkulationsleitung muss demnach mindestens 55°C betragen.

Da die Vorlauftemperatur des Heizungskreislaufes einer Frischwasserstation immer 5 bis 10 K über der Warmwassertemperatur (PWH) liegen sollte, muss diese in etwa 65°C bis 70°C betragen. Die Vorlauftemperatur des Heizungskreislaufes liegt somit 10 bis 15 K unter der Heizwassertemperatur des Pufferspeichers. Eine höhere Temperatur fördert wieder den Kalkausfall im Wärmetauscher und ist somit zu vermeiden.

Die Senkung der Heizwassertemperatur kann einerseits durch Vermischung des Rücklaufes der Frischwasserstation (siehe Mischventil (12)), oder durch Vermischung des Rücklaufes der Fernwärmeübergabestation (siehe Mischventil (11)) erreicht werden.

Das Vermischen des 80°C warmen Heizwassers des Pufferspeichers mit dem 55°C warmen Rücklauf der Fernwärmeübergabestation, hätte den Vorteil, dass ein beträchtlicher Teil der Energie, die noch im Rücklauf vorhanden ist genutzt werden kann. Dieser Rücklauf kann jedoch nur genutzt werden, wenn der Heizbetrieb und die Trinkwassererwärmung gleichzeitig stattfinden.

Die Rücklauftemperatur des Heizungskreislaufes einer Frischwasserstation liegt im Durchschnitt bei etwa 25°C [25]. Die Rücklauftemperaturen der Frischwasserstation und der heizkörperversorgenden Fernwärmeübergabestation sind somit sehr unterschiedlich. Dies stellt für Pufferspeicher mit Schichtladung oftmals ein Problem dar, da die Rücklauftemperatur in den Pufferspeichern immer in etwa dieselbe sein sollte, wie die Temperatur der Schichtung am Rücklaufstutzen. Wird der Rücklauf in eine Pufferschicht mit unterschiedlichen Temperaturen eingeleitet, so entstehen Verwirbelungen im Wasser, was dazu führen kann, dass die unterschiedlich temperierten Pufferschichten durchmischt werden. Dies kann dazu führen, dass die benötigte Systemtemperatur nicht mehr gewährleistet wird. Um diese Vermischung zu reduzieren, sollte ein Ventil (10) die Eintrittsstelle des Rücklaufes in den Pufferspeicher regeln. Diese Art der Pufferspeicherführung ist an dem sogenannten „Ziegler-System“ angelehnt [26].

Letztendlich hat die niedrige Rücklauftemperatur der Frischwasserstation auch Einfluss auf den Rücklauf des Nahwärmenetzes und sollte die Temperatur von zuvor 55°C deutlich absenken, was wiederum die Wärmeverluste im Nahwärmenetz reduzieren sollte. Schätzungsweise kann in etwa mit Rücklauftemperaturen von 35°C bis 50°C im Nahwärmenetz gerechnet werden [25].

Schutz vor Verkalkung

Laut RWW beträgt die ungefähre Wasserhärte in Oberhausen Tackenberg zwischen 11,9°dH und 13,3°dH [27]. Das Trinkwasser wird in diesem Konzept wie zuvor erwähnt auf 60°C erwärmt und stellt somit einen Grenzfall in Bezug auf den Einsatz einer Wasserenthärtungsanlage dar. Zwar wird der Einsatz einer Wasserenthärtungsanlage in Verbindung mit dieser Wasserhärte erst ab einer Warmwassertemperatur über 60°C empfohlen, jedoch ist es fraglich wie exakt die Temperatur von 60°C eingehalten werden kann. Sollte die Warmwassertemperatur schwanken, so kann bereits über den Einsatz einer Wasserenthärtungsanlage nachgedacht werden.

Wärmemengenabrechnung

Die Wärmemengenermittlung, welche für die Heizkosten- und Warmwasserkostenabrechnung benötigt wird, erfolgt in diesem Konzept für die Heizung und die Warmwasserbereitung getrennt.

Dabei wird der gesamte Wärmeverbrauch der Heizung zentral an der Fernwärmeübergabestation (2) und der gesamte Wärmeverbrauch der Warmwasserbereitung zentral an der Frischwasserstation (13) mittels Wärmemengenzähler ermittelt. Der anteilige Heizwärmeverbrauch der Wohneinheiten kann je nach Leitungsnetz im Haus über einen Wärmemengenzähler pro Wohneinheit (7) oder über Heizkostenverteiler an

jedem Heizkörper ermittelt werden. Der anteilige Wärmeverbrauch für die Warmwasserbereitung kann wiederum mittels Warmwasserzähler (8) für jede Wohneinheit gemessen werden.

3.2.3 Konzept 2: Dezentrale Wohnungsstation

Auch in diesem Konzept wird der Heizwärmebedarf und der Trinkwarmwasserbedarf durch den Nahwärmenetz gespeisten Pufferspeicher (1) im Keller versorgt (siehe Abbildung 11).

Allerdings erfolgt die Trinkwassererwärmung in diesem Konzept dezentral für jede Wohnung einzeln über eine sogenannte Wohnungsstation (9). Das Besondere einer solchen Wohnungsstation ist, dass diese nicht nur das Trinkwasser über einen Wärmetauscher erhitzt, sondern weitere Aufgaben je nach Bedarf übernehmen kann. Eine Wohnungsstation nimmt die Schnittstelle zwischen Wohnung und Heizzentrale ein und sorgt neben der Trinkwassererwärmung, mittels Regelungstechnik, auch für eine individuell einstellbare Versorgung der Heizkörper (4).

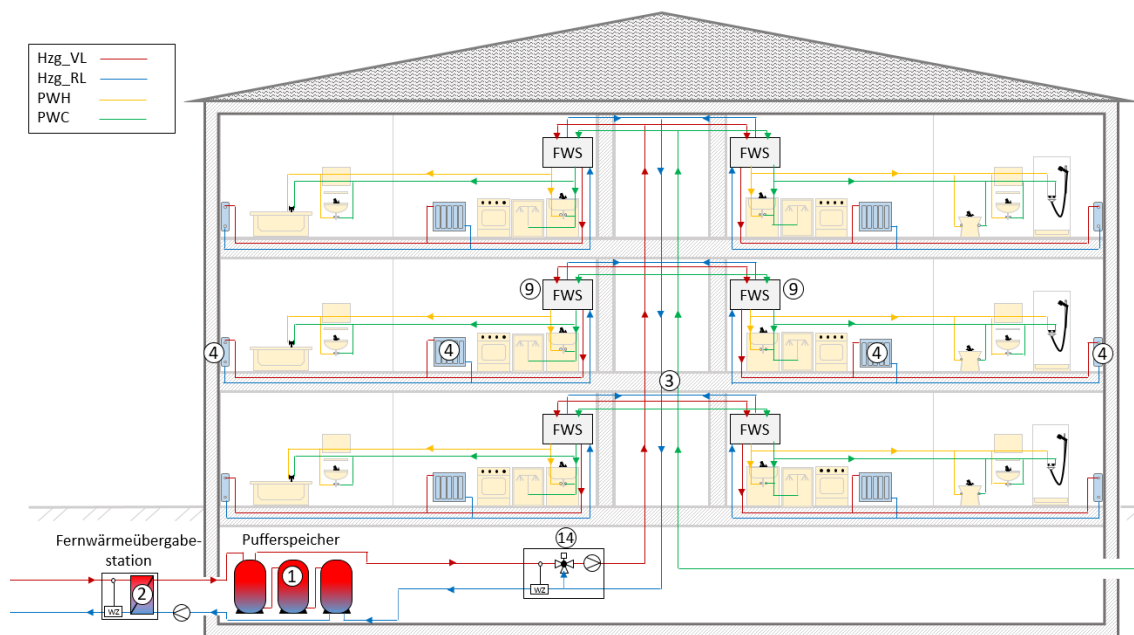


Abbildung 11: Konzept 2 – Heizung und Trinkwassererwärmung über Nahwärmenetz – dezentrale Wohnungsstation – Etagenringsystem (eigene Darstellung)

Das Grundmodell einer Wohnungsstation verfügt über sechs Anschlüsse: Zum einen die Anschlüsse für das eingehende kalte Trinkwasser, den primären Heizungsanlauf und den primären Heizungsrücklauf, welche für die Versorgung der Wohnungsstation notwendig sind, und zum anderen die Anschlüsse für das ausgehende warme Trinkwasser, den sekundären Heizungsanlauf und den sekundären Heizungsrücklauf, welche die Heizkörper (4) der Wohnung versorgen. Ein Anschluss für die Warmwasserzirkulation ist in der Regel nicht notwendig, da die wohnungsnahe Wassererwärmung in den meisten Fällen dafür sorgt, dass das nachgeschaltete Leitungsvolumen der Warmwasserleitung (PWH) nicht die drei Liter überschreitet. Eine

Wohnungsstation gilt damit als Kleinanlage und unterliegt somit auch keiner Legionellen-Prüfpflicht, was ein Kostenvorteil gegenüber Konzept 1 ist.

Je nach Einbausituation können weitere Anschlüsse hinzukommen. Im Beispiel von Abbildung 11 besitzt die Wohnungsstation einen weiteren ausgehenden Kaltwasseranschluss, welcher von der Wohnungsstation ausgehend, die Zapfstellen der Wohnung versorgt. In diesem Fall verläuft auch die gesamte Kaltwasserversorgung der einzelnen Wohnungen über die Wohnungsstation, was die Möglichkeit eröffnet, dass auch der anteilige Kaltwasserverbrauch einer Wohnung in der Wohnungsstation mittels Kaltwasserzähler ermittelt werden kann. Des Weiteren können Wohnungsstationen auch einen zweiten sekundären Heizungsvorlauf und Heizungsrücklauf besitzen, wenn beispielsweise zusätzlich eine Fußbodenheizung versorgt werden soll.

Ein weiterer Vorteil einer Wohnungsstation kann sein, dass wie bereits erwähnt, nur drei Anschlüsse für die Versorgung dieser Station benötigt werden. Es werden somit auch nur die drei Steigleitungen (3) im Gebäude benötigt, welche im Bestandsgebäude bereits existieren (Kaltwasserleitung, Heizungsvorlauf und Heizungsrücklauf). Je nach Verlauf der Hausleitungen besteht die Möglichkeit, dass beim Einbau der Wohnungsstation keine neuen Steigleitungen verlegt werden müssen, was einen beträchtlichen Kostenunterschied bedeuten würde. Der Einbau einer Wohnungsstation benötigt einen gebündelten Punkt an dem alle sechs Leitungen zusammenlaufen und einen separaten Heizkreislauf in der Wohnung, der nicht mit Heizkörpern anderer Wohneinheiten verbunden ist. Die Wohnungsstation benötigt somit beispielsweise ein Etagenringnetz und ist für ein Steigstrangnetz eher ungeeignet. Sollte ein Steigstrangnetz im Gebäude vorliegen, so ist ein erheblicher Aufwand für den Einbau einer Wohnungsstation nötig, da die Leitungen neu verlegen werden müssen.

Einige Wohnungsstationen sind in der Lage eine witterungsgeführte Regelung der Heizung in der Station selbst zu gewährleisten. Die Anforderungen, die durch das GEG 2020 § 61 gestellt werden, werden bei einer solchen dezentralen Witterungsführung jedoch nur für Heizsysteme erfüllt, die mehr als fünf Wohneinheiten versorgen.

Eine weitere Möglichkeit eine geforderte Regelung nach GEG 2020 § 61 zu gewährleisten, wäre eine Regelung an der Pumpengruppe (14) selbst. Diese arbeitet mit einer so genannten Delta-T-Schaltung. Dabei wird die Pumpe so geregelt, dass eine eingestellte Temperaturspreizung eingehalten wird. Da der Pufferspeicher eine konstante Vorlauftemperatur liefert, ist bei dieser Regelung nicht die Außentemperatur, sondern die Rücklauftemperatur die Führungsgröße. Da die Rücklauftemperatur maßgeblich von der Außentemperatur bestimmt wird, kann diese Führungsgröße die Forderungen nach GEG 2020 § 61 ebenfalls erfüllen. Weiterhin kann die Temperaturspreizung zeitabhängig geändert werden, was einer Nachtabsenkung oder einem Sommer-/ Winterbetrieb gleichkommt [24].

Systemtemperaturen:

Unter der Annahme, dass die Vorlauftemperatur des Nahwärmenetzes 80°C beträgt, sinkt die Pufferspeichertemperatur auf etwa 70°C bis 75°C, da in diesem Konzept die Fernwärmeübergabestation vor dem Pufferspeicher liegt.

Da es sich bei Wohnungsstationen in den meisten Fällen um Kleinanlagen handelt, ist ein Erwärmen des Trinkwassers auf 60°C nicht notwendig. Unter der Annahme dass die Wohnungsstation auch die Küchenspüle versorgt, sollte aus Komfortgründen die Warmwassertemperatur 50°C betragen. Die Heizkörper in den Wohnungen sollten, wenn möglich mit 65°C Vorlauftemperatur versorgt werden, um die Versorgungstemperatur der Wohnungsstation so gering wie möglich zu halten. Die Wohnungsstation könnte dann auch mit einer Vorlauftemperatur von etwa 65°C versorgt werden. Der Vorlauf der Pufferspeichertemperatur kann durch ein in der Pumpengruppe integriertes Mischventil auf die gewünschte Temperatur von 65°C runtergeregelt werden. Technisch gesehen können viele Wohnungsstationen auch mit höheren Vorlauftemperaturen versorgt werden, da diese die benötigte Temperatur intern durch Mischventile regeln können. Allerdings sollte die Heizwassertemperatur immer so niedrig wie möglich gehalten werden, um Leitungsverluste zu minimieren.

Die Rücklauftemperatur der Wohnungsstationen beträgt in der Regel zwischen 30°C und 45°C [28]. Somit liegt die Rücklauftemperatur des Nahwärmenetzes zwischen 35°C und 50°C, da die Fernwärmeübergabestation den Rücklauf um etwa 5 K erhöht.

Auch bei diesem Konzept sei gesagt, dass die angegebenen Temperaturen (ausgenommen Warmwassertemperaturen (PWH)) lediglich Schätzungen entsprechen.

Schutz vor Verkalkung

Unter der zuvor getroffenen Annahme, dass die Wasserhärte zwischen 11,9°dH und 13,3°dH beträgt, ist eine Wasserenthärtungsanlage nicht notwendig, da die Warmwassertemperatur (PWH) lediglich 50°C beträgt.

Wärmemengenabrechnung

Da die Pufferspeicher in QUENTIN durch den Energieversorger betrieben werden, erfolgt die Wärmemengenermittlung, welche für die Heizkosten- und Warmwasserkostenabrechnung benötigt wird, hinter den Pufferspeichern. Aus diesem Grund wird der gesamte Wärmeverbrauch der Heizung und der Trinkwassererwärmung zentral an der Pumpengruppe (14) mittels Wärmemengenzähler ermittelt.

Da die Trinkwassererwärmung für jede Wohnung separat erfolgt, reicht ein in jeder Wohnungsstation verbauter Wärmemengenzähler (7) aus, um den anteiligen Wärmeverbrauch der Wohneinheiten zu ermitteln. In diesem Fall ist eine getrennte Ermittlung für die Heizung und die Trinkwassererwärmung nicht notwendig.

3.2.4 Konzept 3: Dezentrale Stockwerkstation

Das folgende Konzept weist Ähnlichkeiten zu Konzept 2 auf (siehe Abbildung 12). Auch in diesem Fall erfolgt die Trinkwassererwärmung dezentral, jedoch mit dem Unterschied, dass eine einzelne Frischwasserstation (9) ein gesamtes Stockwerk versorgt.

Bei einer solchen „Stockwerkstation“ könnte wie bei der Wohnungsstation nicht nur das Trinkwasser über einen Wärmetauscher erhitzt werden, sondern weitere Aufgaben je nach Bedarf übernommen werden. Sämtliche Funktionen der Wohnungsstation, wie z.B. die individuell einstellbare Versorgung der Heizkörper (4), könnten auch bei der Stockwerkstation übernommen werden. Allerdings würde eine Stockwerkstation einen größeren Wärmetauscher benötigen um die höhere Trinkwassermenge zu erhitzen.

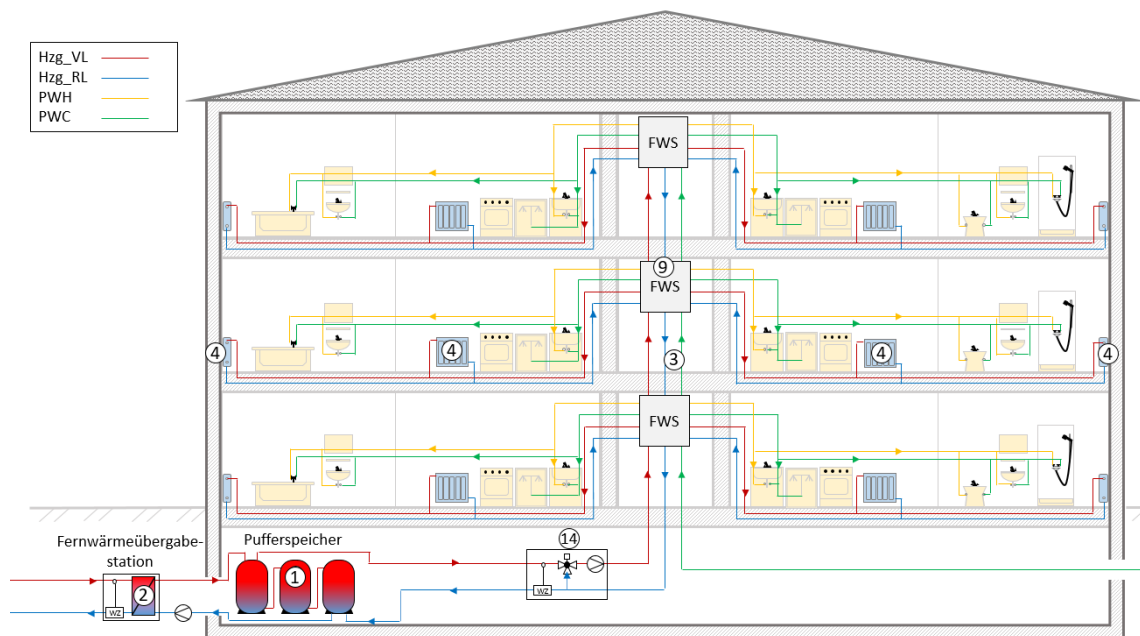


Abbildung 12: Konzept 3 – Heizung und Trinkwassererwärmung über Nahwärmenetz – dezentrale Stockwerkstation – Etagenringssystem (eigene Darstellung)

Die Idee dahinter ist es, die Kosten von Bauteilen einer Wohnungsstation auf mehrere Wohnungen aufzuteilen. Dazu zählt beispielsweise der Wärmetauscher und die Regelungstechnik.

Im Gegensatz dazu wären jedoch zusätzliche Wärmemengenzähler und Warmwasserzähler nötig, welche zusätzliche Kosten verursachen. Zudem sind die Ansprüche an das existierende Hausleitungsnetz noch höher als bei einer Wohnungsstation, da es nötig ist, dass ein einzelner Steigstrang (3) das gesamte Gebäude versorgt. Der Einbau einer Stockwerkstation ist somit für ein Steigstrangleitungssystem ungeeignet.

Wie bei der Wohnungsstation werden drei Anschlüsse für die Versorgung der Stockwerkstation benötigt (Anschlüsse für das eingehende kalte Trinkwasser, den primären Heizungsvorlauf und den primären Heizungsrücklauf). Für jede Wohneinheit die von der Stockwerkstation versorgt wird, kommen jeweils Anschlüsse für das

ausgehende warme Trinkwasser, den sekundären Heizungsvorlauf und den sekundären Heizungsrücklauf hinzu. Gegebenenfalls kommen auch hierbei weitere Anschlüsse wie z.B. ein Anschluss für das ausgehende kalte Trinkwasser hinzu.

Auch in diesem Konzept kann davon ausgegangen werden, dass das nachgeschaltete Leitungsvolumen der Warmwasserleitung (PWH) nicht die drei Liter überschreitet. Eine Zirkulation des Warmwassers oder eine Legionellen-Prüfung ist somit nicht notwendig.

Wie auch bei der Wohnungsstation kann die witterungsgeführte Regelung nach GEG 2020 § 61 entweder an der Station selbst oder zentral an der Pumpengruppe (14) mittels Delta-T-Schaltung stattfinden.

Systemtemperaturen:

Für die Systemtemperaturen können die gleichen Annahmen wie in Konzept 2 getroffen werden (siehe Kapitel 3.2.4).

Schutz vor Verkalkung

Die Wasserhärte in Oberhausen Tackenberg beträgt 11,9°dH bis 13,3°dH. Eine Wasserenthärtungsanlage ist demnach nicht notwendig, da die Warmwassertemperatur (PWH) lediglich 50°C beträgt.

Wärmemengenabrechnung

Da die Pufferspeicher in QUENTIN in den Händen der Energieversorger sind, erfolgt die Wärmemengenermittlung, welche für die Heizkosten- und Warmwasserkostenabrechnung benötigt wird, hinter den Pufferspeichern. Aus diesem Grund wird der gesamte Wärmeverbrauch der Heizung und der Trinkwassererwärmung zentral an der Pumpengruppe (14) mittels Wärmemengenzähler ermittelt.

Die Ermittlung des anteiligen Wärmeverbrauchs für Heizung und Trinkwassererwärmung ist im Gegensatz zur Wohnungsstation etwas komplexer. Da die Stockwerkstation mehrere Wohneinheiten gleichzeitig versorgt, reicht ein Wärmemengenzähler in der Station am primären Heizkreis nicht mehr aus. Hier ist es notwendig für jede Wohnung am Ausgang der Stockwerkstation einen Wärmemengenzähler (b) für den sekundären Heizkreis und einen Warmwasserzähler (c) für die Warmwasserleitung sowie ein Wärmemengenzähler (a) vor dem Wärmetauscher zu installieren (siehe Abbildung 13).

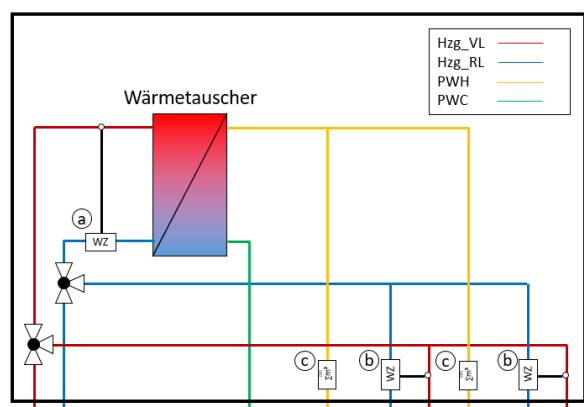


Abbildung 13: Schematische Darstellung – Stockwerkstation (eigene Darstellung)

3.2.5 Konzept 4: Dezentrales Speicherladesystem mit integriertem Durchlauferhitzer

Seitens der Wohnungsgenossenschaften kam die Frage auf, ob Frischwasserstationen nicht einfach an das bestehende Leitungsnetz in den einzelnen Wohnungen angeschlossen werden können. Auf diese Frage soll im Folgenden eingegangen werden. Dazu werden, nach einer genauen Beschreibung des Konzeptes, zunächst die Hürden einer solchen Installation erläutert und im Anschluss Ansätze identifiziert, wie diese Hürden umgangen werden können.

Auch in diesem Konzept soll der Heizwärmebedarf und der Trinkwarmwasserbedarf durch den Nahwärmenetz gespeisten Pufferspeicher (1) im Keller versorgt werden (siehe Abbildung 14 (Etagenringleitung) u. Abbildung 15 (Steigstrangleitung)).

Die Trinkwassererwärmung erfolgt auch hierbei dezentral für jede Wohnung einzeln über Frischwasserstationen (9), jedoch mit dem Unterschied, dass diese Frischwasserstation durch die Heizleitungen der Wohnung versorgt werden soll. Sie soll somit zwischen den Heizkörpern (4) als zusätzlicher Verbraucher eingebunden werden, was bedeutet, dass im Gegensatz zu einer Wohnungsstation keine getrennte Heizwasserregulierung für Heizung und Trinkwassererwärmung stattfinden kann.

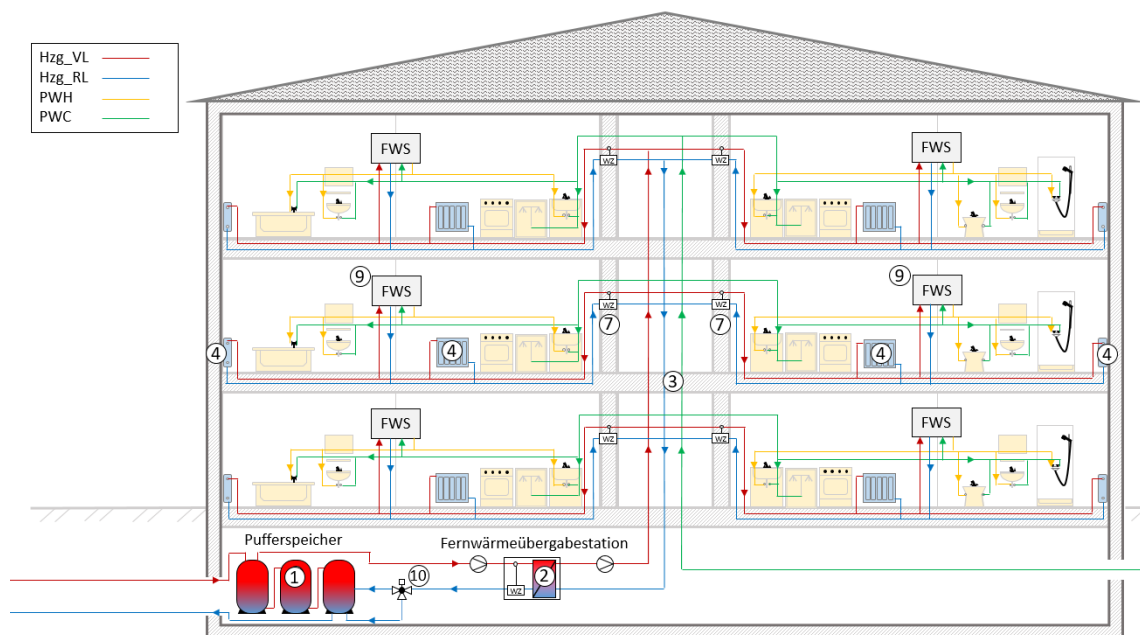


Abbildung 14: Konzept 4 – Heizung und teilweise Trinkwassererwärmung über Nahwärmenetz – dezentrales Speicherladesystem mit integriertem Durchlauferhitzer – Etagenringssystem (eigene Darstellung)

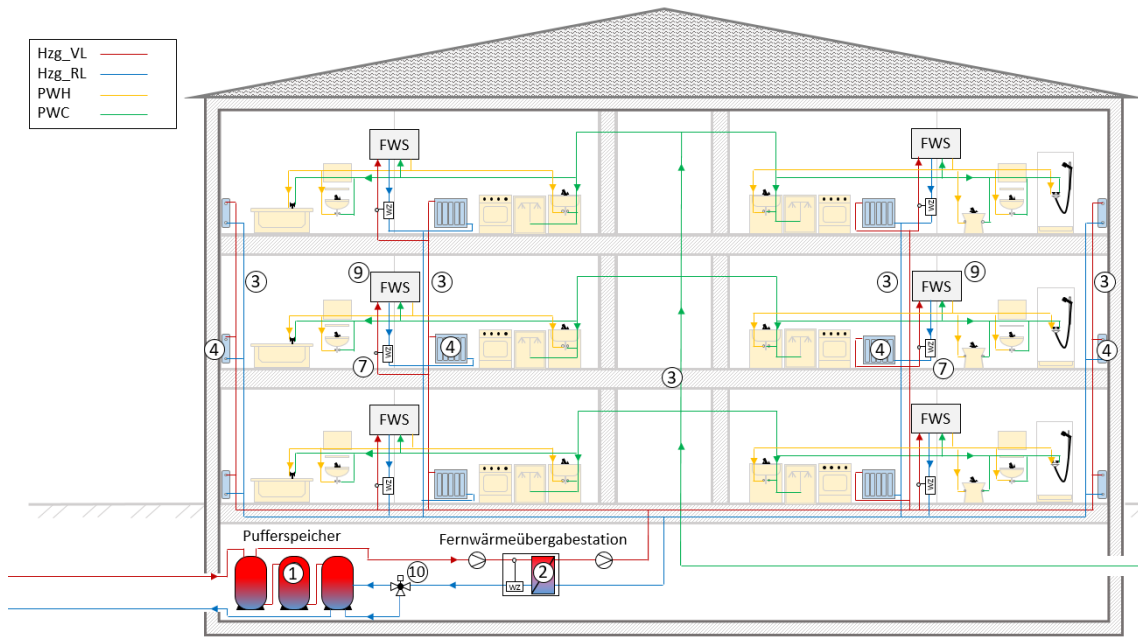


Abbildung 15: Konzept 4 – Heizung und teilweise Trinkwassererwärmung über Nahwärmenetz – dezentrales Speicherladesystem mit integriertem Durchlauferhitzer – Steigstrangsystem (eigene Darstellung)

Dies bringt einige Nachteile mit sich, denn das Heizwasser des gesamten Leitungsnetzes vor der Frischwasserstation müsste permanent auf Temperatur gehalten werden, damit ein schnelles Abrufen von warmen Trinkwasser möglich ist. Dieses schnelle Abrufen ist nötig, da ein Großteil der Wasserentnahmen Kleinentnahmen unter 15 Sekunden sind. Würde neues warmes Heizwasser erst bei Wasserentnahme vom Pufferspeicher bis zur Frischwasserstation nachgepumpt werden müssen, so wäre in den meisten Fällen die Wasserentnahme beendet, bevor das Trinkwasser an der Entnahmearmatur warm wird.

Bei der Wohnungsstation und der Stockwerksstation wird das Heizwasser vor den Stationen zwar auch auf einer gewissen Temperatur gehalten, allerdings sind dabei nur die isolierten Leitungen bis zur Wohnung betroffen. In diesem Konzept würde jedoch auch das Heizwasser in den Leitungen der Wohneinheiten auf Temperatur gehalten werden müssen. Diese Leitungen sind oftmals gar nicht oder sehr schlecht isoliert, was zu erheblichen Wärmeverlusten führt.

Eine Lösung für dieses Problem könnte eine Kombination aus einem Speicherladesystem (Verbundsystem aus Frischwasserstation und Trinkwasserspeicher) und einem Durchlauferhitzer sein (siehe Abbildung 16). Dadurch könnte genügend Pufferzeit gewonnen werden, bis das Heizungswasser vom Pufferspeicher bis zur Frischwasserstation gepumpt wurde. Ein Halten der

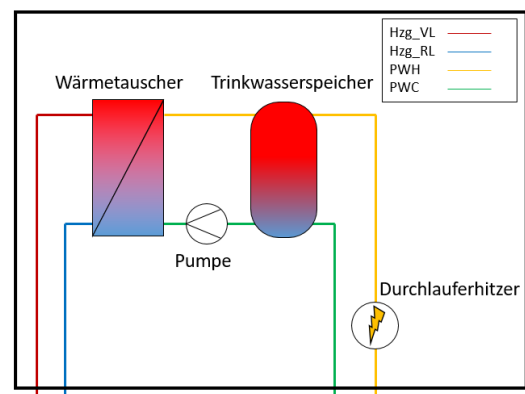


Abbildung 16: Schematische Darstellung - dezentrales Speicherladesystem mit integriertem Durchlauferhitzer

Temperatur im Leitungsnetz wäre somit nicht mehr zwingend notwendig. Man könnte auch darüber nachdenken, dass das Trinkwasser lediglich im Winter durch das Heizwasser im Nahwärmenetz erwärmt wird und im Sommer eine reine Versorgung durch den Durchlauferhitzer gewährleistet wird.

Die Trinkwasserstation würde über vier Leitungsanschlüsse verfügen (siehe Abbildung 16): Zum einen die Anschlüsse für das eingehende kalte Trinkwasser, den primären Heizungsanlauf und den primären Heizungsrücklauf und zum anderen einen Anschluss für das ausgehende warme Trinkwasser. Hinter dem Wärmetauscher ist ein kleiner Trinkwasserspeicher geschaltet, welcher im Optimalfall dann geladen wird, wenn die Heizkörper (4) ebenfalls versorgt werden. Bei größeren Entnahmen würden die ersten Sekunden der Trinkwasserspeicher für die Warmwasserversorgung dienen. Anschließend übernimmt mit Hilfe einer zusätzlichen Pumpe der Wärmetauscher die Trinkwassererwärmung, sobald neues warmes Heizwasser vom Pufferspeicher bis zur Frischwasserstation gepumpt wurde. In Notfällen oder im Sommerbetrieb könnte ebenfalls der zusätzliche Durchlauferhitzer eine komfortable Trinkwarmwasserversorgung gewährleisten.

Mit diesem Lösungsansatz wäre letztendlich eine witterungsgeführte Regelung über die Fernwärmeübergabestation (2) möglich. Hierzu sei jedoch gesagt, dass der Betrieb einer solchen Anlage vermutlich mit erhöhtem Regelungsaufwand verbunden ist. Zudem besitzt der Rücklauf der Heizleitung, je nach Abnahme, unterschiedliche Temperaturen. Der Rücklauf sollte demnach über ein Mischventil (10) kontrolliert in den Pufferspeicher eingeleitet werden.

Systemtemperaturen:

Die Pufferspeicher (1) werden in diesem Konzept mit 80°C warmen Heizwasser gespeist. Die Vorlauftemperatur der Fernwärmeübergabestation im Primärkreislauf beträgt demnach auch 80°C. Durch die dezentrale Trinkwassererwärmung kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei den Trinkwassererwärmern um Kleinanlagen handelt. Somit ist ein Erwärmen des Trinkwassers auf 60°C nicht notwendig. Die Warmwassertemperatur sollte deshalb 50°C betragen.

Durch die zusätzliche Trinkwassererwärmung kann es zu deutlich geringeren Rücklauftemperaturen im sekundären Heizkreislauf kommen. Wie auch in den anderen Konzepten, werden bei der Kombination von Heizbetrieb und Trinkwassererwärmung Rücklauftemperaturen zwischen 30°C und 45°C geschätzt, was letztendlich dazu führt, dass durch den Wärmetauscher der Fernwärmeübergabestation Rücklauftemperaturen von 35°C bis 50°C in den Pufferspeicher und somit auch im Nahwärmenetz zu erwarten sind.

Schutz vor Verkalkung

Die Wasserhärte in Oberhausen Tackenberg beträgt 11,9°dH bis 13,3°dH. Eine Wasserenthärtungsanlage ist demnach nicht notwendig, da die Warmwassertemperatur (PWH) lediglich 50°C beträgt.

Wärmemengenabrechnung

Die Wärmemengenermittlung, welche für die Heizkosten- und Warmwasserkostenabrechnung benötigt wird, erfolgt für den gesamten Wärmeverbrauch der Heizung und der Trinkwassererwärmung zentral an der Fernwärmeübergabestation (14) mittels Wärmemengenzähler.

Die Ermittlung des anteiligen Wärmeverbrauchs für Heizung und Trinkwassererwärmung erfolgt im Falle des Etagenringsystems mittels Wärmemengenzähler (7) an der Wohnungsgrenze für Heizung und Trinkwassererwärmung zusammen (siehe Abbildung 14). Bei einem Steigstrangsystem wird der anteilige Wärmebedarf der Heizung über Heizkostenverteiler und der anteilige Wärmebedarf für die Trinkwassererwärmung über einen Wärmemengenzähler (7) vor der Frischwasserstation ermittelt (siehe Abbildung 15).

3.2.6 Übersicht der Konzepte

Tabelle 3 fasst noch einmal die wichtigsten Unterschiede der Konzepte zusammen.

Tabelle 3: Vergleich der Trinkwassererwärmungskonzepte (eigene Darstellung)

	Konzept 0	Konzept 1	Konzept 2	Konzept 3	Konzept 4
Trinkwassererwärmung:	Durchlauferhitzer	Zentrale Frischwasserstation	Dezentrale Wohnungstation	Dezentrale Stockwerkstation	Dezentrales Speicherladesystem + Durchlauferhitzer
Trinkwassertemperatur:	50°C	60°C	50°C	50°C	50°C
Dezentrale Puffertemperatur_VL	80°C	80°C	75°C	75°C	80°C
Dezentrale Puffertemperatur_RL	55°C	35 - 50°C	30 - 45°C	30 - 45°C	35 - 50°C
Nahwärmenetztemperatur_VL	80°C	80°C	80°C	80°C	80°C
Nahwärmenetztemperatur_RL	55°C	35 - 50°C	35 - 50°C	35 - 50°C	35 - 50°C
Zirkulationsleitung:	Nein	ja	nein	nein	nein
Steigstrangleitung:	Möglich	möglich	nicht möglich	nicht möglich	möglich
Etagenringleitung:	Möglich	möglich	möglich	möglich	möglich
Entkalkung:	Nein	eventuell	nein	nein	nein

4 Energetische und ökologische Analyse der Konzepte

Um die Trinkwasserkonzepte energetisch bewerten zu können, werden alle Konzepte auf ein Teilnetz von QUENTIN bezogen. Dazu wird anhand von Wärmeabrechnungen zunächst der gesamte Nutzwärmebedarf sowie der Nutzwärmebedarf pro Quadratmeter für Heizung und Trinkwarmwasser der Wohngebäude bestimmt. Anschließend werden die Wirkungsgrade des Wärmenetzes, der zentralen und dezentralen Wärmespeicher sowie der Hausleitungen bestimmt. Mit Hilfe dieser Wirkungsgrade wird im Folgenden ein Energieflussdiagramm erstellt, welches dazu dienen soll, die einzelnen Konzepte in den Punkten Energieeffizienz und Klimafreundlichkeit zu bewerten. Um die Ergebnisse vergleichbar zu machen, werden die Berechnungen auf ein Mehrfamilienhaus mit Etagenringnetz bezogen.

4.1 Energiebedarf

Zunächst wird der Energieverbrauch des Quartiers betrachtet. Die Gebäude des Quartiers wurden zuvor mit gebäudezentralen Niedertemperaturkesseln erwärmt. Tabelle 4 zeigt die Gasverbräuche zwischen 2016 und 2019 der Netzanschlusspunkte (NAP) im untersuchten Teilquartier, die vorhandene Anzahl der Wohneinheiten der einzelnen NAPs, die Wohnfläche, die daraus berechneten Nutzflächen nach EnEV 2014 §19 (siehe Gleichung 1) sowie die genauen Messintervalle der Gasverbräuche.

$$A_N = A_W * 1,2$$

Gl. 1

A_N	Nutzfläche	[m ²]
A_W	Wohnfläche	[m ²]

Tabelle 4: Gasverbräuche der Netzanschlusspunkte des untersuchten Teilquartiers (eigene Darstellung)

NAP	Anzahl der Wohnungen	Wohnfläche [m ²]	Nutzfläche [m ²]	Zeitraum der Messung		Gasverbrauch (H _i) [kWh]
				von	bis	
1	12	941	1.129	29.09.2016	30.09.2019	211.569
2	12	941	1.129	29.09.2016	30.09.2019	238.330
3	9	623	748	29.09.2016	10.10.2019	307.496
4	24	1.420	1.704	29.09.2016	10.10.2019	557.561
5	8	524	629	29.09.2016	30.09.2019	176.008
6	12	798	958	29.09.2016	30.09.2019	198.966
7	12	798	958	29.09.2016	30.09.2019	205.078

Da das Trinkwasser bisher über elektrische Durchlauferhitzer erwärmt wurde, lassen sich die Gasverbräuche lediglich auf die benötigte Heizenergie der Gebäude zurückführen. Aufgrund der Tatsache, dass nicht jedes Jahr dieselben Temperaturen herrschen, sind die Gasverbräuche zwischen 2016 und 2019 alleine noch nicht aussagekräftig. Der Gasverbrauch muss zunächst witterungsbereinigt werden, wodurch

man den jährlichen Gasverbrauch erhält, welcher entstehen würde, wenn in dem Jahr ortstypische Klimabedingungen geherrscht hätten.

Um eine Witterungsbereinigung durchzuführen, werden zunächst die im betrachteten Zeitraum gegebenen Gradtagszahlen oder Heizgradtage, sowie das ortstypische langjährige Mittel der Gradtagszahlen oder Heizgradtage benötigt. Zur Berechnung der Gradtagszahlen, werden an jedem Heiztag „[...] die Differenzen zwischen der Außentemperatur und der Raumtemperatur erfasst und zu einem Monatswert aufsummiert“ [29]. Zur Berechnung der Heizgradtage, werden an jedem Heiztag „[...] die Differenzen zwischen der Außentemperatur und der Heizgrenztemperatur erfasst und zu einem Monatswert aufsummiert“ [29]. Ein Heiztag ist als solcher definiert, wenn die durchschnittliche Außentemperatur an einem Tag niedriger ist, als die festgelegte Heizgrenztemperatur [29]. Die Heizgrenztemperatur wird für Bestandsgebäude standartmäßig mit 15°C angenommen [29].

Laut des IWU sind „Heizgradtage [...] der geeignete Vergleichswert, um für gemessene Verbräuche eine Klimabereinigung vorzunehmen“ [29]. Da der Gasverbrauch im Rahmen der Kostenabrechnungen messtechnisch bestimmt wurde, werden in dieser Arbeit für die Klimabereinigung die Heizgradtage verwendet.

Für die vollen Monate liefert eine von dem IWU zur Verfügung gestellte Tabelle Daten über die benötigten Heizgradtage (siehe Anhang B1). Dazu wird der Standort des Gebäudes sowie die Innen- und die Heizgrenztemperatur benötigt. Für das betrachtete Gebäude wird nun die am nächsten gelegene Wetterstation genutzt. Dies ist für den Standort Oberhausen die Wetterstation in Düsseldorf. Die Innentemperatur wird hierzu standardmäßig mit 20°C angenommen. Die Heizgrenztemperatur wird, wie zuvor erwähnt, für Bestandsgebäude standartmäßig mit 15°C angenommen.

Für den 29.9.2016 bis 30.9.2016 sowie für den 1.10.2019 bis 10.10.2019 müssen die Heizgradtage mit Hilfe der Wetterdaten der Wetterstation Düsseldorf einzeln berechnet werden (siehe Anhang B2). Dazu werden zunächst die in den Zeiträumen liegenden Heiztage ermittelt. Wie zuvor beschrieben werden die Tage als Heiztage gewertet, an denen das Tagesmittel der Außentemperatur unter der festgelegten Heizgrenztemperatur liegt [29].

Im Zeitraum vom 29.9.2016 bis zum 30.9.2016 liegen laut Wetterdaten keine Heiztage vor. Somit beträgt der Wert der Heizgradtage für diesen Zeitraum 0 Kd (siehe Anhang B2). Im Zeitraum vom 1.10.2019 bis zum 10.10.2019 liegen hingegen neun Heiztage. Wenn man an jedem Heiztag die Differenzen zwischen der Außentemperatur und der Heizgrenztemperatur erfasst und zu einem Wert aufaddiert, so ergibt sich ein Wert von 34,4 Kd (siehe Anhang B2).

Mit folgender Gleichung kann nun der absolute witterungsbereinigte Wärmeverbrauch berechnet werden (Gleichung 2):

$$\dot{Q}_{Tb,V,Heizung} = Q_{real} * \frac{G15_{LM}}{G15_{real}} \quad Gl. 2 [30]$$

$\dot{Q}_{Tb,V,Heizung}$	absoluter temperaturbereinigter Wärmeverbrauch der Heizung pro Jahr	[kWh/a]
Q_{real}	gemessener Wärmeverbrauch	[kWh]
$G15_{LM}$	Heizgradtage langjähriges Mittel	[Kd/a]
$G15_{real}$	Heizgradtage im Verlauf der Messung	[Kd]

Anschließend kann über den Nutzungsgrad des Wärmeerzeugers der Endenergiebedarf für die Heizwärme berechnet werden (siehe Gleichung 3):

$$\dot{Q}_{TB,E,Heizung} = \dot{Q}_{Tb,V,Heizung} * \eta_{Kessel} \quad Gl. 3 [30]$$

$\dot{Q}_{TB,E,Heizung}$	absoluter temperaturbereinigter Endenergiebedarf der Heizung pro Jahr	[kWh/a]
$\dot{Q}_{Tb,V,Heizung}$	absoluter temperaturbereinigter Wärmeverbrauch der Heizung pro Jahr	[kWh/a]
η_{Kessel}	Nutzungsgrad des Wärmeerzeugers	[-]

Nach DIN EN 12831 Beiblatt 2 kann für einen Niedertemperaturkessel aus dem Jahr 1980 bis 1995 ein Nutzungsgrad von 83% angenommen werden. [30]

Tabelle 5 zeigt die berechneten Heizgradtage, die langjährig gemittelten Heizgradtage pro Jahr in Oberhausen, den klimabereinigten Heizwärmeverbrauch sowie den jährlichen Endenergiebedarf für die Heizung aller betrachteten Netzanschlusspunkte.

Tabelle 5: Gasverbrauch, Ermittelte Heizgradtage, langjährig gemittelte Heizgradtage, bereinigter Heizwärmeverbrauch sowie Endenergiebedarf der Heizung aller Netzanschlusspunkte des untersuchten Teilquartiers (eigene Darstellung)

NAP	Gasverbrauch (H _i) [kWh]	Heizgrad- tage [Kd]	langj. Mittel Heizgradtage [Kd]	bereinigter Heizwärmeverbrauch [kWh/a]	Endenergiebedarf für Heizung [kWh/a]
1	211.569	5.339,8	1.948,4	77.198	64.074
2	238.330	5.339,8	1.948,4	86.962	72.179
3	307.496	5.374,2	1.948,4	111.482	92.530
4	557.561	5.374,2	1.948,4	202.142	167.778
5	176.008	5.339,8	1.948,4	64.222	53.304
6	198.966	5.339,8	1.948,4	72.599	60.257
7	205.078	5.339,8	1.948,4	74.829	62.108

Zusammengerechnet ergibt sich ein Endenergiebedarf von 572.231 kWh/a für das untersuchte Teilquartier. Dies wiederum ergibt, bezogen auf die Wohnfläche, einen spezifischen Endenergiebedarf von 94,7 kWh/m²a (siehe Gleichung 4).

$$\dot{q}_{TB,E,Heizung} = \frac{\dot{Q}_{Tb,E,Heizung}}{A_W} \quad Gl. 4$$

$\dot{q}_{TB,E,Heizung}$	spezifischer temperaturbereinigter Endenergiebedarf der Heizung pro Jahr	[kWh/m²a]
$\dot{Q}_{Tb,E,Heizung}$	absoluter temperaturbereinigter Endenergiebedarf der Heizung pro Jahr	[kWh/a]
A_W	Wohnfläche	[m²]

Um nun den Nutzwärmebedarf für die Heizung zu berechnen, muss der Endenergiebedarf der Heizung mit dem Nutzungsgrad der Heizleitung im Gebäude multipliziert werden (siehe Gleichung 5). Der Nutzungsgrad der Heizleitungen wird in Kapitel 4.2 ermittelt und beträgt 94,9%.

$$\dot{Q}_{TB,N,Heizung} = \dot{Q}_{TB,E,Heizung} * \eta_{Heizleitung} \quad Gl. 5$$

$\dot{Q}_{TB,N,Heizung}$	absoluter temperaturbereinigter Nutzwärmebedarf der Heizung pro Jahr	[kWh/a]
$\dot{Q}_{TB,E,Heizung}$	absoluter temperaturbereinigter Endenergiebedarf der Heizung pro Jahr	[kWh/a]
$\eta_{Heizleitung}$	Nutzungsgrad der Heizleitungen	[-]

Für den Nutzwärmebedarf der Trinkwassererwärmung kann eine Abschätzung über die Nutzfläche getroffen werden. Nach DIN V 4701-10 kann in Wohngebäuden ein Wärmebedarf für Warmwasser von 12,5 kWh/m²a angenommen werden [31]. Es ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass das Verfahren dieser Norm für die Bestimmung des Energiebedarfs für einem frühen Planungsstand gedacht ist [31]. Es kann nicht für eine genaue Vorausberechnung des Energieverbrauchs verwendet werden [31]. Da die energetische Analyse jedoch nicht auf ein spezielles Gebäude, sondern vielmehr auf ein Durchschnittsgebäude Beziehung nimmt und sich das Projekt QUENTIN in einer frühen Planungsphase befindet, kann diese Annahme als ausreichend betrachtet werden.

Folgende Tabelle zeigt den berechneten Nutzwärmebedarf für Heizung und Trinkwassererwärmung (TWW) der Netzanschlusspunkte (siehe Tabelle 6):

Tabelle 6: Anzahl der Wohneinheiten, Wohnfläche, und Nutzwärmebedarf für Heizung und Trinkwassererwärmung aller Netzanschlusspunkte im untersuchten Teilquartier (eigene Darstellung)

NAP	Anzahl der Wohnungen	Wohnfläche [m ²]	Nutzwärmebedarf Heizung [kWh/a]	Nutzwärmebedarf TWW [kWh/a]
1	12	941	60.806	14.115
2	12	941	68.498	14.115
2	9	623	87.811	9.345
4	24	1.420	159.221	21.300
5	8	524	50.586	7.860
6	12	798	57.184	11.970
7	12	798	58.941	11.970

Für das gesamte Teilquartier ergibt sich ein Nutzwärmebedarf von 552.203 kWh/a für die Heizung und 75.563 kWh/a für die Trinkwassererwärmung. Dies ergibt mit einer Gesamtwohnfläche von 6.045 m², auf einen Quadratmeter Wohnfläche gerechnet, einen Nutzwärmebedarf von 89,83 kWh/m²a für die Heizung und 15 kWh/m²a für die Trinkwassererwärmung.

4.2 Wirkungs- und Nutzungsgrade

Um eine genaue Betrachtung der Energieflüsse vornehmen zu können, müssen im Folgenden die Wirkungs- und Nutzungsgrade des BHKWs, der einzelnen Teilstrecken des Nahwärmenetzes sowie der Gebäude ermittelt werden.

Da das genaue Betriebsverhalten des flexibilisierten BHKWs noch nicht bekannt ist, wird für die weiteren Berechnungen, der Wirkungsgrad unter Volllast verwendet. Nach Angaben des Fraunhofer Instituts UMSICHT beträgt der auf den Heizwert bezogene thermische Wirkungsgrad 50,3% und der elektrische Wirkungsgrad 39,9%. Dies ergibt einen Gesamtwirkungsgrad von 92,2%. Mit einem Umrechnungsfaktor von 1,11 für Erdgas ergibt sich somit ein auf den Brennwert bezogener thermischer Wirkungsgrad von 45,3% und ein elektrischer Wirkungsgrad von 35,9%, was insgesamt einem Wirkungsgrad von 83,1% entspricht (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Wirkungsgrad des BHKWs unter Volllast (eigene Darstellung)

Bezugsgröße	Wirkungsgrad		
	thermisch	elektrisch	gesamt
Heizwert	50,3%	39,9%	92,2%
Brennwert	45,3%	35,9%	83,1%

Anhand eines Netzoptimierungstools konnten für das untersuchte Teilquartier durch das Fraunhofer Institut UMSICHT drei verschiedene Szenarien anhand der Wetterdaten des Jahres 2017 modelliert werden.

Tabelle 8 listet die Systemvariablen der drei Szenarien auf. Im ersten Szenario wird die reine Heizwärmeversorgung betrachtet. Es wird angenommen, dass sowohl in den Pufferspeichern als auch im Wärmenetz eine Vorlauftemperatur von 80°C und eine Rücklauftemperatur von 55°C erzielt wird. Im zweiten und dritten Szenario versorgt das Wärmenetz die Gebäude mit Wärme für die Heizung und die Trinkwassererwärmung. Dabei wird angenommen, dass in beiden Szenarien der zentrale Speicher und das Nahwärmenetz mit einer Vorlauftemperatur von 80°C und einer Rücklauftemperatur von 42,5°C betrieben wird. Der dezentrale Speicher wird in Szenario 2 ebenfalls mit den Temperaturen 80/42,5°C betrieben, in Szenario 3 jedoch mit den Temperaturen 75/37,5°C. Die aufgelisteten Parameter, basieren auf den Systemtemperaturen, die für die einzelnen Konzepte ermittelt wurden. In einigen Fällen wurden Temperaturbereiche angegeben. In diesem Fall wurde der Mittelwert verwendet.

Tabelle 8: Systemvariablen der Pufferspeicher sowie der Nahwärmeleitungen (eigene Darstellung)

Szenario	Versorgung	Vor- und Rücklauftemperatur		
		zentraler Speicher [°C]	Nahwärmenetz [°C]	dezentrale Speicher [°C]
1	Heizung	80/55	80/55	80/55
2	Heizung + TWW	80/42,5	80/42,5	80/42,5
3	Heizung + TWW	80/42,5	80/42,5	75/37,5

Folgende Tabelle zeigt die durch die Optimierungsrechnung ermittelten Wirkungsgrade sowie die zugeordneten Konzepte der drei Szenarien (siehe Tabelle 9). Es wird deutlich, dass der Wirkungsgrad der Speicher und des Nahwärmenetzes durch die zusätzliche Trinkwassererwärmung verbessert wird.

Tabelle 9: Wirkungsgrad – zentraler und dezentrale Pufferspeicher sowie Nahwärmeleitung aller Konzepte (eigene Darstellung)

Szenario	Nutzungsgrad			Konzept
	zentraler Speicher	Nahwärmenetz	dezentrale Speicher	
1	98,47%	95,89%	99,83%	0
2	98,94%	96,60%	99,90%	1 u. 4
3	98,93%	96,60%	99,91%	2 u. 3

Zuletzt werden noch die Wirkungsgrade der Leitungen im Gebäude bestimmt. Dabei wird erneut zwischen drei Szenarien unterschieden (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Szenario-Bildung zur Ermittlung der Nutzungsgrade der Gebäudeleitungen (eigene Darstellung)

Szenario	Versorgung	Trinkwassererwärmung	Konzept
1	Heizung	-	0
2	Heizung + TWW	Zentral	1
3	Heizung + TWW	dezentral	2/3/4

Eine genaue Berechnung der Leitungsverluste und die daraus resultierenden Nutzungsgrade kann beispielsweise über die Norm DIN V 18599 durchgeführt werden. Diese ist jedoch so umfassend, dass der Rahmen dieser Arbeit eine solche Berechnung für alle Szenarien nicht zulässt.

Daher werden die Wirkungsgrade für Szenario 2 und 3 über annähernd vergleichbare Fallbeispiele aus dem Projektbericht von D. Wolff, und D. von Krosigk zum Thema „Einfluss der Verteilungsverluste bei der energetischen Modernisierung von Mehrfamilienhäusern - Analyse und Ableitung von Optimierungsmaßnahmen“ abgeschätzt. [12]

Für Szenario 2 kann für Gebäude aus den 70er Jahren oder älter, mit einem Rohrdämmungsstandard nach EnEV und einer Etagenringleitung, ein Gesamtnutzungsgrad der Leitungen von etwa 55,1% angenommen werden. Für Szenario 3 ergibt sich aus drei Projekten mit Wohnungsstation ein durchschnittlicher Nutzungsgrad von 65,7% für Heizung und Trinkwassererwärmung. [12]

Für Szenario 1 kann der Nutzungsgrad über ein vereinfachtes Verfahren ermittelt werden, welches ebenfalls im Bericht „Einfluss der Verteilungsverluste bei der energetischen Modernisierung von Mehrfamilienhäusern - Analyse und Ableitung von Optimierungsmaßnahmen“ beschrieben wird. Dazu müssen zunächst die Rohrleitungslängen der Heizung sowie der Durchmesser der Rohre ermittelt werden. Der Rohrdurchmesser kann anhand von Erfahrungswerten abgeschätzt werden. Im

beheizten Bereich beträgt der Rohrdurchmesser in der Regel DN 15 bis 25, in unbeheizten Bereichen DN 25 bis 50 [12].

Gleichung 6 ermöglicht eine vereinfachte Berechnung der Rohrleitungslänge für Etagenringleitungen angelehnt an DIN V 18599. [12]

$$L_{Rohr} = 1,57m * \left(\frac{A_{NGF}}{m^2} \right)^{0,9} \quad Gl. 6$$

L_{Rohr}	Leitungslänge	[m]
A_{NGF}	Nettogrundfläche	[m ²]

Diese Leitungslänge teilt sich zu 57% in Verteilleitungen, 3% in Steigleitungen und 40% in Anbindungsleitungen auf [12]. Da die Nettogrundfläche (NGF) der Gebäude nicht bekannt ist, wird für ein Mehrfamilienhaus mit vier Wohnungen eine Nettogrundfläche von 300m² und für ein Mehrfamilienhaus mit sechs Wohnungen eine Nettogrundfläche von 450m² geschätzt. Tabelle 11 enthält die berechneten Leitungslängen sowie die geschätzten Rohrdurchmesser. Für die Verteilleitungen wird bei dem Durchmesser zwischen beheizt (DN 20) und unbeheizt (DN 30) unterschieden.

Tabelle 11: Heizleitungslängen und Durchmesser für ein Mehrfamilienhaus mit vier und sechs Wohneinheiten (eigene Darstellung)

MFH	NGF [m ²]	Verteilleitung		Steigleitung		Anbindungsleitung	
		Leitungslänge [m]	DN [mm]	Leitungslänge [m]	DN [mm]	Leitungslänge [m]	DN [mm]
2x2	300	151,77	30/20	7,99	20	106,50	15
2x3	450	218,61	30/20	11,51	20	153,41	15

Nach DIN V 18599 können Steigleitungen sowie Anbindungsleitungen als beheizte Rohrabschnitte gewertet werden. Verteilleitungen sind auf die einzelnen Geschosse samt Keller aufzuteilen. Nur die Rohrleitungen im Keller werden als unbeheizte Leitungen gesehen. [32]

Demnach sind bei dem Mehrfamilienhaus mit vier Wohneinheiten ein Drittel aller Verteilleitungen und bei Mehrfamilien mit sechs Wohneinheiten ein Viertel aller Verteilleitungen unbeheizt. In dem Verfahren werden nur die Heizleitungsverluste im unbeheizten Bereich gewertet. Alle Verluste im beheizten Bereich werden der Deckung der Heizwärmebedarfs gutgeschrieben. Über die mittlere Auslegungstemperatur der Heizung, welche in diesem Fall 60°C (70/50°C) beträgt und den geschätzten Rohrdurchmesser kann über einem Graphen ein Leitungslängen bezogener jährlicher Leitungswärmeverlust ermittelt werden (siehe Anhang C). Dieser beträgt in diesem Fall 30 kWh/m a.

Tabelle 12 zeigt die für beide Mehrfamilienhäuser spezifischen sowie absoluten Verteilverluste der Heizleitungen, den Endenergiebedarf bei einer mittleren Wohnfläche von 67,92 m² pro Wohneinheit sowie den nach Abzug der Verteilverluste berechneten Nutzwärmebedarf und den daraus berechneten Nutzungsgrad.

Tabelle 12: Spezifische und absolute Verteilverluste der Heizleitungen, Endenergiebedarf, Nutzwärmebedarf sowie Nutzungsgrad für Mehrfamilienhäuser mit vier und sechs Wohneinheiten (eigene Darstellung)

MFH	spezifische Verteilverluste [kWh/m a]	Verteilverluste [kWh/a]	Endenergiebedarf Heizung [kWh/a]	Nutzwärme- bedarf [kWh/a]	Nutzungs- grad [-]
2x2	30	1.517,7	25.718,0	24.200,3	94,1%
2x3	30	1.639,6	38.577,0	36.937,4	95,7%

Im Durchschnitt ergibt sich so ein Nutzungsgrad von 94,9%. Tabelle 13 gibt die Wirkungs- und Nutzungsgrade für jedes Konzept noch einmal in zusammengefasster Form wieder.

Tabelle 13. Wirkungs- und Nutzungsgrade aller Konzepte (eigene Darstellung)

Konzept		0	1	2	3	4
Wirkungs- / Nutzungsgrad	BHKW elektrisch (H _s)	35,9%	35,9%	35,9%	35,9%	35,9%
	BHKW thermisch (H _s)	45,3%	45,3%	45,3%	45,3%	45,3%
	zentraler Pufferspeicher	98,47%	98,94%	98,93%	98,93%	98,94%
	Leitungen Nahwärmenetz	95,89%	96,60%	96,60%	96,60%	96,60%
	dezentraler Pufferspeicher	99,83%	99,90%	99,91%	99,91%	99,90%
	Leitungen Gebäude	94,9%	55,1%	65,7%	65,7%	65,7%

4.3 Energieflussanalyse und ökologische Bewertung

Im Folgenden werden die ermittelten Wirkungs- und Nutzungsgrade dazu genutzt, für jedes Konzept ein Energieflussdiagramm zu erstellen. Dabei wird ausgehend vom Nutzenergiebedarf für die Heizung und der Trinkwassererwärmung pro Quadratmeter Wohnfläche im Jahr, der Energieverbrauch bis zur Primärenergieebene des Nahwärmenetzes berechnet. Für die elektrische Trinkwassererwärmung wird ein Nutzungsgrad von 100% angenommen. Der Hilfsenergieeinsatz für Pumpen und Regeleinheiten wird in diesem Modell vernachlässigt. Das Energieflussdiagramm von Konzept 0 wird als Beispiel in Abbildung 17 dargestellt. Die restlichen Energieflussdiagramme befinden sich in Anhang D.

Auf Basis der Energieflüsse wird im Anschluss eine ökologische Bewertung der Konzepte anhand der CO₂-Emissionen durchgeführt. „Bei KWK-Anlagen stellt sich grundsätzlich das Problem der Aufteilung der verursachten Emissionen auf die beiden Koppelprodukte elektrische Arbeit und Nutzwärme. Hierbei gibt es keine standardisierte Berechnungsvorschrift, sondern unterschiedliche nebeneinander gültige Berechnungsarten“ [33].

In diesem Modell wird eine Stromgutschriftmethode angewendet. Dazu werden zunächst die Emissionen der eingesetzten Primärenergie berechnet (siehe Abbildung 17) [33]. Für das BHKW wird dabei der spezifische Emissionsfaktor für Erdgas verwendet (brennwertbezogen - 182 g/kWh) [34]. Für die elektrische Trinkwassererwärmung wird der spezifische Emissionsfaktor des deutschen Strommixes aus dem Jahr 2018 verwendet

(neuere Werte sind noch nicht gesichert, tendenziell jedoch geringer) [35]. Anschließend wird der gesamten Stromproduktion des BHKWs der spezifische Emissionsfaktor des deutschen Strommixes zugeschrieben (siehe Abbildung 17). Die Emissionen des eingesetzten Brennstoffes des BHKWs, abzüglich der zugeschriebenen Emissionen der elektrischen Energieerzeugung, bilden die Emissionen der thermischen Energie des BHKWs (siehe Abbildung 17). Dies bewirkt, dass der gesamte Effizienzvorteil des BHKWs der thermischen Energie zugerechnet wird, wodurch eine bessere Vergleichbarkeit der einzelnen Konzepte gewährleistet werden kann.

Addiert man die Emissionen der thermischen Energie des BHKWs mit den Emissionen für die elektrische Trinkwassererwärmung, so erhält man die Emissionen, die einem Quadratmeter Wohnfläche über ein Jahr zugerechnet werden können. Teilt man diese Emissionen durch die benötigte Nutzwärme pro Quadratmeter ($104,83 \text{ kWh/m}^2\text{a}$), so erhält man die Emission pro Kilowattstunde thermischer Energie des Gesamtsystems. Beide Werte sind in jedem Energieflussdiagramm in der oberen rechten Ecke zu finden (Abbildung 17 u. Anhang D). Zudem wird an selber Stelle zum einem der Gesamtwirkungsgrad des Konzeptes sowie der Wirkungsgrad des Nahwärmenetzes angegeben. Der Wirkungsgrad des Nahwärmenetzes betrachtet die elektrische Energieerzeugung des BHKWs sowie die thermische Energie bis zur Gebäudegrenze (Endenergie) und kann als Bewertungskriterium für die Energieversorger verwendet werden.

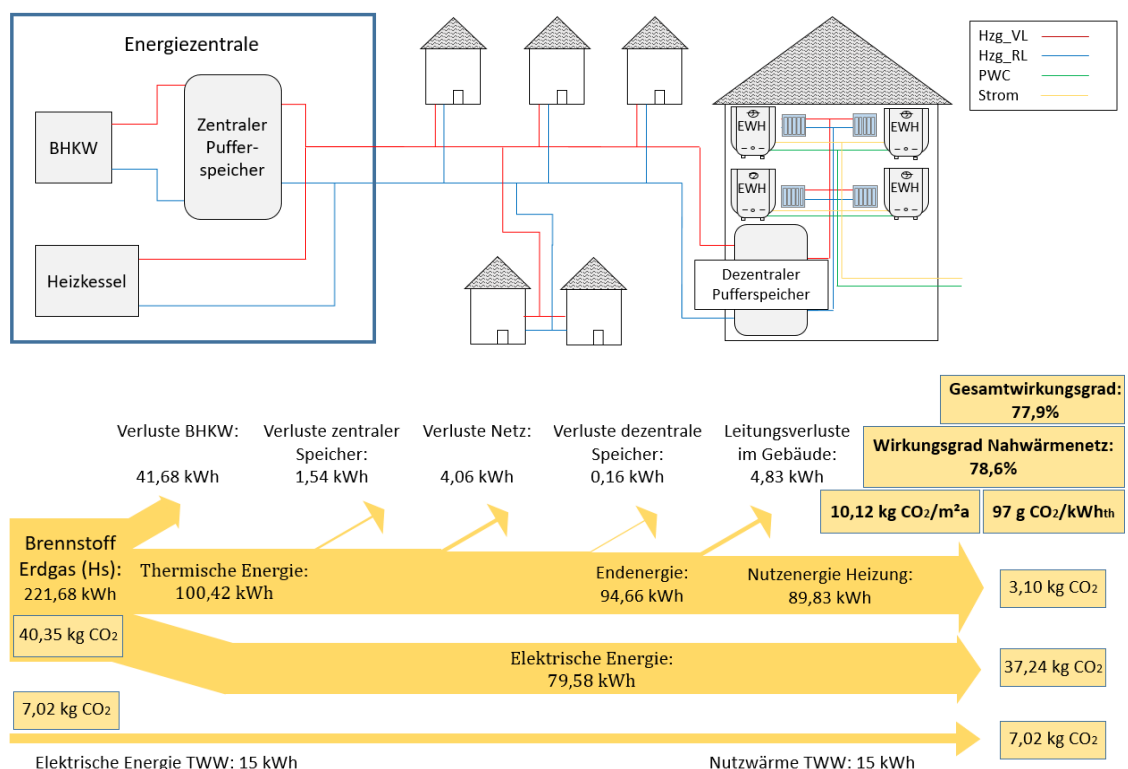


Abbildung 17: Energieflussdiagramm Konzept 0: Nahwärme und Durchlauferhitzer (eigene Darstellung)

Folgende Tabelle fasst noch einmal alle wichtigsten Ergebnisse der energetischen und ökologischen Analyse zusammen (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14: Ergebnisse der energetischen und ökologischen Analyse der Konzepte (eigene Darstellung)

	Konzept 0	Konzept 1	Konzept 2	Konzept 3	Konzept 4
Trinkwasser- erwärmung	Durchlauf- erhitzer	Zentrale Frisch- wasserstation	Dezentrale Wohnungs- station	Dezentrale Stockwerk- station	Dezentrales Speicherladesystem + Durchlauferhitzer
Wirkungsgrad des Gesamtsystems	77,9%	59,7%	64,3	64,3	64,8
Wirkungsgrad Nahwärmenetz	78,6%	79,2%	79,2%	79,2%	79,2%
kg CO₂/m²a	10,12	6,15	5,16	5,16	7,04
g CO₂/kWh_{th}	97	59	49	49	65

Es fällt auf, dass durch die Einbindung der Trinkwassererwärmung in die Nahwärmeversorgung der Wirkungsgrad des Gesamtsystems deutlich verringert wird. Während für Konzept 0 einen Gesamtwirkungsgrad von 77,9% berechnet wurde, liegen die Wirkungsgrade der Trinkwassererwärmungskonzepte mit reiner Nahwärmeversorgung zwischen 59,7% bis 64,3%. Dies liegt größtenteils an den hohen Wärmeverlusten im Gebäude, die dadurch entstehen, dass entweder das Trinkwarmwasser (Konzept 1) oder das Heizwasser (Konzept 2 u. 3) in den Rohren zirkulieren muss. Für Konzept 4 gab es keinen klaren Nutzungsgrad für die Gebäudeleitungen. Es wurde allerdings der gleiche Nutzungsgrad wie in Konzept 2 und 3 angenommen, da auch hier ein erhöhter Wärmeverlust durch die zusätzlichen unisolierten Leitungen zu erwarten ist. Durch die teilweise elektrisch versorgte Trinkwassererwärmung ergibt sich hier ein Gesamtwirkungsgrad von 64,8%.

Der Wirkungsgrad des Nahwärmenetzes fällt für Konzepte mit integrierter Trinkwassererwärmung (Konzept 1 bis 4 – 79,2%) höher aus, als für Konzepte in denen das Trinkwasser anderweitig erwärmt wird (Konzept 0 – 78,6%). Für das Energieversorgungsunternehmen ist demnach eine Einbindung der Trinkwassererwärmung in das Nahwärmekonzept durch die höhere Effizienz und der zusätzlich benötigten Energie wirtschaftlich sinnvoll.

Weiterhin fällt auf, dass der Emissionsausstoß der Konzepte mit Frischwasserstationen geringer ist, als der Emissionsausstoß bei Einsatz von Durchlauferhitzern. Dies ist wohl der erhöhten Effizienz des BHKWs zuzurechnen, da die Emission der thermischen Energieerzeugung hierbei stark von der gekoppelten Erzeugung der elektrischen Energie profitiert. Die Beste Ökobilanz besitzt in diesem Fall Konzept 2 und 3, mit einem CO₂-Ausstoß von 49 g CO₂/kWh_{th} und 5,16 kg CO₂/m²a. Eine Heizversorgung über das Nahwärmenetz in Kombination mit einer reinen elektrischen Trinkwassererwärmung verursacht hingegen einen CO₂-Ausstoß von 97 g CO₂/kWh_{th} und 10,12 kg CO₂/m²a.

5 Ökonomische Bewertung der Konzepte

Im Folgenden werden überschlägig die jährlichen Annuitäten der einzelnen Konzepte ermittelt, um diese wirtschaftlich vergleichen zu können. Dazu wird die VDI 2067 verwendet.

Bei dieser Methode werden die Gesamtkosten in kapitalgebundenen Kosten (einschließlich Erneuerung), bedarfsgebundene Kosten, betriebsgebundene Kosten (einschließlich Instandsetzung) sowie sonstige Kosten unterteilt [36]. Die Annuität der kapitalgebundenen Kosten errechnet sich dabei durch Gleichung 7:

$$A_{N,K} = (A_0 + A_1 + A_2 + \dots A_n - R_W) \cdot a \quad \text{Gl. 7 [36]}$$

$A_{N,K}$	Annuität der kapitalgebundenen Kosten
A_0	Investitionsbetrag
A_{1-n}	Barwert der ersten bis n-ten Ersatzbeschaffung
R_W	Restwert
a	Annuitätsfaktor

Für den Investitionsbetrag wurde ein Kostenvoranschlag von KaMo GmbH für eine zentrale Frischwasserstation sowie eine Wohnungsstation in zwei verschiedenen Größen (für Wohnungsstation und Stockwerkstation) beantragt (siehe Anhang E3). Zudem wurde der Preis einer dezentralen Frischwasserstation angefragt. Die Preise der Heizungspumpe, der Wärmemengen- und Warmwasserzähler, des Durchlauferhitzers, des Trinkwasserspeichers sowie der Legionellen-Prüfung wurde anhand einer Internetrecherche abgeschätzt (siehe Anhang E1). Die Kosten der Pufferspeicher und der Fernwärmeübergabestation werden in diesem Modell vernachlässigt, da sich diese in der Hand der Energieversorger befindet. Zudem werden zur Vereinfachung und aus Mangel an Vergleichbarkeit die Versicherungskosten sowie die Kosten für Leitungen und Inbetriebnahme nicht berücksichtigt.

Der Barwert der Ersatzbeschaffungen A_n , der Restwert R_W und der Annuitätsfaktor a berechnen sich mit folgenden Gleichungen (Gl. 8-10):

$$A_n = A_0 * \frac{r^{n \cdot T_N}}{q^{n \cdot T_N}} \quad \text{Gl. 8 [36]}$$

$$R_W = A_0 * r^{n \cdot T_N} * \frac{(n+1) * T_N - T}{T_N} * \frac{1}{q^T} \quad \text{Gl. 9 [36]}$$

$$a = \frac{q - 1}{1 - q^{-T}} \quad \text{Gl. 10 [36]}$$

r	Preisänderungsfaktor
q	Zinsfaktor
n	Anzahl der Ersatzbeschaffungen innerhalb des Betrachtungszeitraums
T	Zahl der Jahre des Betrachtungszeitraums
T_N	Zahl der Jahre der Nutzungsdauer der Anlagenkomponente

Der Betrachtungszeitraum T wurde mit 20 Jahren angesetzt. Die Nutzungsdauer der Anlagenkomponenten T_N ist je nach Baugruppe unterschiedlich und ist in den Berechnungen im Anhang E2 aufgeführt. Der Zinsfaktor wird für einen Kredit über 20 Jahre mit 1,0116 angenommen [37].

Der Preisänderungsfaktor r wird für jede Kostenstelle (kapital-, bedarfs- und betriebsgebundene sowie Instandhaltungs- und sonstige Kosten) einzeln ermittelt. Für den Preisveränderungsfaktor der kapitalgebundenen und bedarfsgebundenen Kosten wurde dafür der Mittelwert der prozentualen jährlichen Preisänderungen von 2017 bis 2020 mit eins addiert. Die restlichen Preisänderungsfaktoren wurden mit 1,03 geschätzt.

Mittels der jeweiligen Preisveränderungsfaktoren, dem Zinsfaktor und der Anzahl der Jahre des Betrachtungszeitraums lassen sich die Barwertfaktoren b jeder Kostenstelle berechnen (siehe Gleichung 11). Diese werden benötigt um die Annuitäten der weiteren Kostenstellen zu berechnen.

$$b = \frac{1 - \left(\frac{r}{q}\right)^T}{q - r} \quad \text{Gl. 11 [36]}$$

b Barwertfaktor

Tabelle 15 listet die verwendeten Preisänderungsfaktoren und Barwertfaktoren sowie den Zinsfaktor auf:

Tabelle 15: Zinsfaktor sowie Preisänderungs- und Barwertfaktoren aller Kostenstellen (eigene Darstellung)

	Preisänderungsfaktor		Barwertfaktor	
Kapitalgebundene Kosten [38]	r_K	1,0363	b_K	25,112
Bedarfsgebundene Kosten (Strom) [39]	$r_{v,Strom}$	1,0120	$b_{v,Strom}$	19,845
Bedarfsgebundene Kosten (Fernwärme) [39]	$r_{v,Fernwärme}$	1,0157	$b_{v,Fernwärme}$	20,544
Betriebsgebundene Kosten	r_B	1,0300	b_B	23,590
Kosten für Instandhaltung und Inspektion	r_I	1,0300	b_I	23,590
Sonstige Kosten	r_S	1,0300	b_S	23,590
Zinsfaktor: [37]	q	1,0116		

Die Annuität der bedarfsgebundenen Kosten $A_{N,V}$ ergibt sich aus dem Produkt der bedarfsgebundenen Kosten im ersten Jahr A_{V1} , dem Annuitätsfaktor a und dem Barwertfaktor der bedarfsgebundenen Kosten b_V (siehe Gleichung 12).

$$A_{N,V} = A_{V1} * a * b_V \quad \text{Gl. 12 [36]}$$

$A_{N,V}$ Annuität der bedarfsgebundenen Kosten
 A_{V1} bedarfsgebundenen Kosten im ersten Jahr
 a Annuitätsfaktor
 b_V Barwertfaktor der bedarfsgebundenen Kosten

Die bedarfsgebundenen Kosten berechnen sich aus den Energieverbräuchen und den spezifischen Energiepreisen. Für Strom werden Kosten von 30,43 Cent/kWh

angenommen [40]. Für Fernwärme werden Kosten von 7,904 Cent/kWh angenommen (siehe Anhang E1) [41].

Die Annuität der betriebsgebundenen Kosten setzen sich aus Bedienung und Instandhaltung zusammen (siehe Gleichung 13). Da jedoch in den Konzepten kein Bedienungsaufwand notwendig ist, kann dieser Punkt vernachlässigt werden. Die betriebsgebundenen Kosten der Instandhaltung können anhand des Investitionsbetrags und den in VDI 2067 enthaltenen Faktoren f_{Inst} und f_{W+Insp} , berechnet werden (siehe Gleichung 14 u. Anhang E2). Für Frischwasserstationen werden mangels Daten die Werte eines Wärmetauschers verwendet. Allerdings wird für f_{W+Insp} nicht 10% sondern 4% angenommen. Diese Annahme wurde getroffen, da eine Frischwasserstation nicht nur aus Wärmetauscher besteht und die Wartungs- und Inspektionskosten sonst überbewertet werden.

$$A_{N,B} = A_{B1} * a * b_B + A_{IN} * a * b_{IN} \quad Gl. 13 [36]$$

$$A_{IN} = A_0 * (f_{Inst} + f_{W+Insp}) \quad Gl. 14 [36]$$

$A_{N,B}$	Annuität der betriebsgebundenen Kosten
A_{B1}	betriebsgebundene Kosten im ersten Jahr für Bedienung
A_{IN}	betriebsgebundene Kosten im ersten Jahr für Instandhaltung
b_B	Barwertfaktor der betriebsgebundenen Kosten (Bedienung)
b_{IN}	Barwertfaktor der betriebsgebundenen Kosten (Instandhaltung)
f_{Inst}	Faktor für den Aufwand der Instandhaltung
f_{W+Insp}	Faktor für den Aufwand der Wartung und Inspektion

Ähnlich der Annuität der bedarfsgebundenen Kosten, ergibt sich die Annuität der sonstigen Kosten $A_{N,S}$ aus dem Produkt der sonstigen Kosten im ersten Jahr A_{S1} , dem Annuitätsfaktor a und dem Barwertfaktor der sonstigen Kosten b_S (siehe Gleichung 15). In diesem Fall wird unter den sonstigen Kosten nur die Legionellen-Prüfung gezählt.

$$A_{N,S} = A_{S1} * a * b_S \quad Gl. 15 [36]$$

$A_{N,S}$	Annuität der sonstigen Kosten
A_{S1}	sonstige Kosten im ersten Jahr
b_S	Barwertfaktor der sonstigen Kosten

Die Berechnungen für jedes Konzept befinden sich in Anhang E2. Abbildung 18 zeigt die Ergebnisse dieser Berechnungen.

Die Berechnungen ergeben, dass die jährliche Annuität von Durchlauferhitzern (Konzept 0) wesentlich geringer ist, als die der Konzepte mit Trinkwasserstation (Konzept 1 bis 4). Dabei fällt auf, dass nicht nur wie zu erwarten die Annuität der kapital- und betriebsgebundenen Kosten für Trinkwasserstationen höher sind als die der Durchlauferhitzer, sondern auch die Annuität der bedarfsgebundenen Kosten der Trinkwasserstationen die des Durchlauferhitzers deutlich übersteigen (siehe Abbildung 18). Grund dafür ist der geringe Wirkungsgrad der Hausleitungen bei den Konzepten mit Trinkwasserstation. Da die bedarfsgebundenen Kosten den dominierenden Teil der

Gesamtkosten bilden, ist davon auszugehen, dass eine Verbesserung der Rohrdämmung über EnEV-Standards hinaus die bedarfsgebundenen Kosten der Konzepte 1 bis 4 wesentlich reduziert. Am höchsten fallen die Kosten für dezentrales Speicherladesystem mit integriertem Durchlauferhitzer aus (Konzept 4). Hier liegt die Annuität bei 8.054,10 €/a. Würden weiterhin Durchlauferhitzer zu Trinkwassererwärmung verwendet werden, beträgt die Annuität lediglich 5.841,02 €/a. Das kostengünstigste Konzept mit Nahwärme versorgten Frischwasserstationen ist die Stockwerkstation (Konzept 3) mit einer Annuität von 7.340,71 €/a. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass in den Konzepten 1 bis 3 unter Umständen noch zusätzliche Kosten für neue Rohrleitungen hinzukommen.

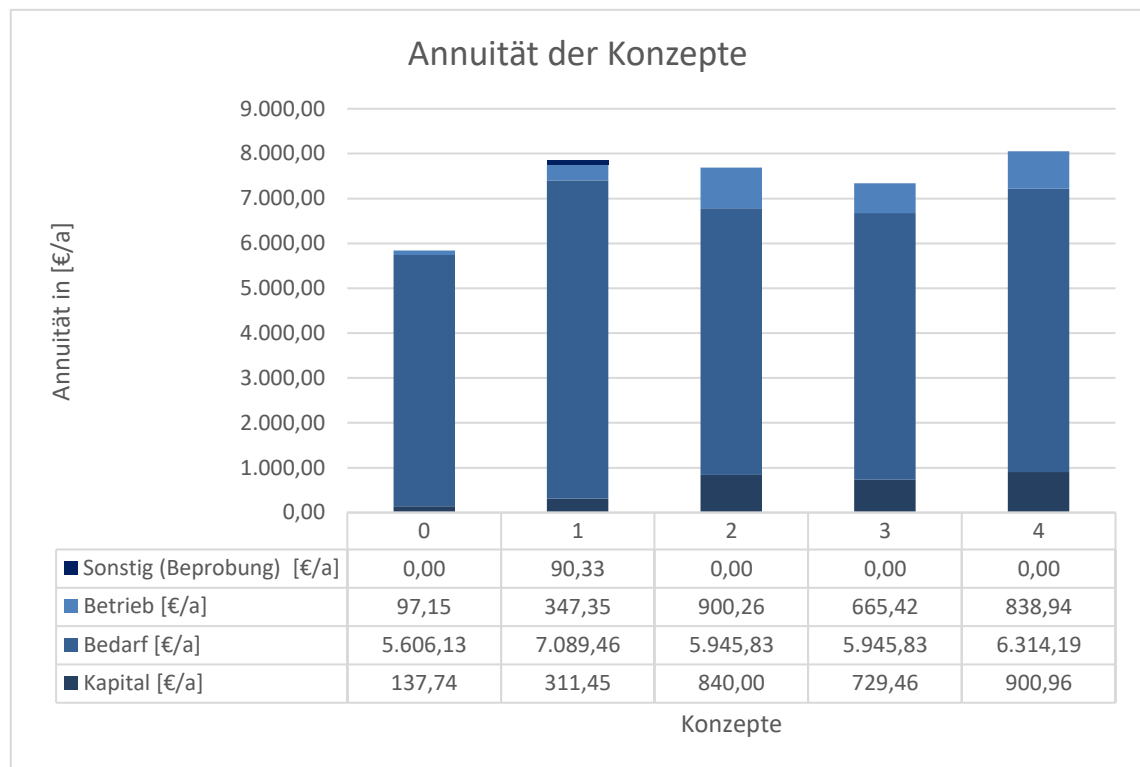


Abbildung 18: Ergebnisse der Annuitätsberechnung (eigene Darstellung)

6 Abschließende Diskussion und Fazit

Im Folgenden werden die einzelnen Konzepte noch einmal genauer betrachtet und dessen Vor- und Nachteile miteinander verglichen. Tabelle 16 gibt einen Überblick über die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale.

Tabelle 16: Abschließender Vergleich der Konzepte (eigene Darstellung)

	Konzept 0	Konzept 1	Konzept 2	Konzept 3	Konzept 4
Trinkwasser-erwärmung	Durchlauf-erhitzer	Zentrale Frischwasser-station	Dezentrale Wohnungs-station	Dezentrale Stockwerk-station	Dezentrales Speicherladesystem + Durchlauferhitzer
Trinkwasserqualität	sehr hoch	Hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch
Versorgungssicherheit	mäßig/ gut	mäßig/ gut	mäßig/ gut	mäßig/ gut	nicht bekannt
Wartungsaufwand	gering	Mäßig	hoch	hoch	hoch
Starkstromanschluss	nötig	nicht nötig	nicht nötig	nicht nötig	nötig
Steigstrangleitung	möglich	Möglich	nicht möglich	nicht möglich	möglich
Etagenringleitung	möglich	Möglich	möglich	möglich	möglich
Warmwasserleitung	dezentral	Zentral	dezentral	dezentral	dezentral
Zirkulationsleitungen	nein	Ja	nein	nein	nein
Legionellen-Prüfung	nein	alle 3 Jahre	nein	nein	nein
Gesamtwirkungsgrad	77,9%	59,7%	64,3	64,3	64,8
Wirkungsgrad des Nahwärmenetzes	78,6%	79,2%	79,2%	79,2%	79,2%
kg CO₂/m²a	10,12	6,15	5,16	5,16	7,04
g CO₂/kWh_{th}	97	59	49	49	65
Annuitätskosten [€/a]	5.841,02	7.838,59	7.686,08	7.340,71	8.054,10

Trinkwasserqualität

Vergleicht man die Konzepte untereinander, so wird deutlich, dass die Systeme im Punkt Trinkwasserqualität keine größeren Unterschiede aufweisen. Sowohl der Durchlauf-erhitzer als auch eine Trinkwasserstation erwärmt das Wasser nach dem Durchflussprinzip, wodurch keine größeren Mengen an Warmwasser bevorratet werden müssen. Die Trinkwasserqualität kann demnach als sehr hoch eingestuft werden. Lediglich die Trinkwasserqualität der zentralen Frischwasserstation (Konzept 1) kann als etwas schlechter eingestuft werden, da in diesem Konzept eine Zirkulation des erwärmten Trinkwassers notwendig ist um eine Legionellenbildung in den Leitungen zu vermeiden. Dennoch ist die Trinkwasserqualität zentraler Frischwasserstationen auf einem hohen Niveau.

Versorgungssicherheit

Im Punkt Versorgungssicherheit kommt es in jedem Konzept stark auf die Ausführung an. Bei hydraulisch gesteuerten Durchlauferhitzern können bei schlagartig ändernden

Entnahmemengen Temperaturschwankungen auftreten [42]. Bei elektronisch gesteuerten und elektronisch geregelten Durchlauferhitzern können wesentlich konstantere Temperaturen des Trinkwassers erzielt werden [42]. Auch bei den Frischwasserstationen können Temperaturschwankungen auftreten und den Komfort beeinträchtigen. Es muss darauf geachtet werden, dass die Frischwasserstation hydraulisch sinnvoll eingebunden wird. Nach Angaben von KaMo können größere Temperaturschwankungen durch ein hydraulisches Proportionalventil verhindert werden [25]. Über die Versorgungssicherheit von Konzept 4 (dezentrales Speicherladesystem mit integriertem Durchlauferhitzer) kann bisher noch keine Aussage getroffen werden. Es sollte darauf geachtet werden, dass die Versorgungstemperatur bei ändernden Entnahmemengen keinen Schwankungen unterliegt. Hier ist ein besonderer regelungstechnischer Aufwand notwendig.

Betriebsaufwand

Der Wartungsaufwand fällt für Durchlauferhitzer (Konzept 0) am geringsten aus, gefolgt von einer zentralen Frischwasserstation mit mäßigen Wartungsaufwand. Der höchste Wartungsaufwand ist für dezentrale Frischwasserstationen notwendig, da hierbei jede Wohneinheit/ jedes Stockwerk eine eigene Station besitzt, die instand gehalten werden muss. Für eine zentrale Frischwasserstation kommen zu den mäßigen Wartungsaufwand jedoch noch die Kosten der Legionellen-Prüfung hinzu.

Kompatibilität und Effizienz

Die Kompatibilität eines Konzeptes kann auf unterschiedliche Weise betrachtet werden. Zum einen sollte der Einbauaufwand eines neuen Trinkwassererwärmungssystems betrachtet werden, zum anderen sollten die entwickelten Konzepte mit dem bisherigen Nahwärmenetz harmonisieren.

Während in Etagenringleitungssystemen jedes betrachtete Konzept eingebunden werden kann, ist der Einbau in ein Steigstrangleitungssystem mit einer Wohnungs- oder Stockwerkstation nicht möglich. Für Konzepte mit Durchlauferhitzer (Konzept 0 u. 4) ist für den Betrieb ein Starkstromanschluss notwendig. Dezentrale Frischwasserstationen benötigen zudem neben den Steigleitungen für das kalte Trinkwasser, dem Heizungs- vorlauf und dem Heizungsrücklauf weitere Steigleitungen für das erwärmte Trinkwasser und für die Zirkulation. Je nach vorhandenem Leitungsnetz passen die entwickelten Konzepte besser oder schlechter zu einem Gebäude.

Die Effizienz des Nahwärmenetzes nimmt mit Einbindung der Trinkwassererwärmung von 78,6% auf 79,2% zu. Die Integration von Trinkwasserstationen in das Wärmenetz ist demnach für das Projekt QUENTIN vorteilhaft. Der Gesamtwirkungsgrad sinkt jedoch mit einer Integration von Trinkwasserstationen. Dies liegt an den hohen zu erwartenden Leitungsverlusten im Gebäude. Diese entstehen dadurch, dass in den Konzepten Heizwasser oder erwärmtes Trinkwasser in Zirkulation gebracht werden muss (Ausnahme Konzept 4 – hier entstehen die Verluste durch nicht isolierte Leitungen in den Wohnungen).

Emissionen

Die ökologische Analyse ergibt, dass eine Einbindung von Trinkwasserstationen in das Wärmenetz die CO₂-Emissionen der thermischen Nutzenergie deutlich reduziert. Eine Wohnungsstation oder eine Stockwerkstation kann die CO₂-Emission für Trinkwassererwärmung und Heizung um fast 50% gegenüber der Verwendung eines Durchlauferhitzers reduzieren. Dies ist wohl der erhöhten Effizienz des BHKWs zuzurechnen, da die Emission der thermischen Energieerzeugung hierbei stark von der gekoppelten Erzeugung der elektrischen Energie profitiert.

Kosten

Die Annuitätsberechnungen ergeben, dass die jährlichen Kosten von Durchlauferhitzern wesentlich geringer sind, als die der Konzepte mit Trinkwasserstation (Konzept 1 bis 4). Dabei fällt auf, dass nicht nur wie zu erwarten die Annuität der kapital- und betriebsgebundenen Kosten für Trinkwasserstationen höher sind als die der Durchlauferhitzer, sondern auch die Annuität der bedarfsgebundenen Kosten der Trinkwasserstationen die des Durchlauferhitzers deutlich übersteigen. Grund dafür ist der geringe Wirkungsgrad der Hausleitungen bei den Konzepten mit Trinkwasserstation. Da die bedarfsgebundenen Kosten den dominierenden Teil der Gesamtkosten bilden, ist davon auszugehen, dass eine Verbesserung der Rohrdämmung über EnEV-Standards hinaus die bedarfsgebundenen Kosten der Konzepte 1 bis 4 wesentlich reduzieren.

Angewandte Methoden und Einschränkungen

Die vorliegenden Ergebnisse beziehen sich auf Mehrfamilienhäuser mit vier bis sechs Wohneinheiten aus den 50er bis 70er Jahren. Für die energetische Analyse wurden gebäudetypische Verluste angenommen. In Einzelfällen können diese Gebäudeverluste jedoch stark variieren. Aus diesem Grund dient diese Arbeit als erste Orientierung und Entscheidungshilfe. Um die Entscheidung für die Umrüstung auf eines der hier vorgestellten Konzepte einzelfallbezogen zu validieren, benötigt es weitere Analysen der Gebäude- und Leitungsbeschaffenheit. Zudem wurden für die überschlägige Annuitätsrechnung die Kosten einer möglichen Neuverlegung der Leitungen, der Pufferspeicher, der Fernwärmeübergabestation sowie der Einsatz von Hilfsenergie vernachlässigt. Die errechneten Annuitäten dienen somit lediglich dem wirtschaftlichen Vergleich untereinander und repräsentieren nicht die tatsächlichen Annuitäten der einzelnen Konzepte.

Konklusion und Ausblick

Abschließend lässt sich sagen, dass unter den angenommenen Voraussetzungen eine Umrüstung von elektrischen Durchlauferhitzern auf wärmenetzgespeiste Trinkwasserstationen für die Wohngenossenschaften als unwirtschaftlich betrachtet werden kann. Ökologisch betrachtet haben wärmenetzgespeiste Trinkwasserstationen jedoch durchaus Vorteile gegenüber dem elektrischen Durchlauferhitzer. Zudem erhöht die

Einbindung der Trinkwasserstationen die Effizienz des Nahwärmenetzes, was in Kombination mit dem zusätzlichen Wärmebedarf des Quartiers, die Wirtschaftlichkeit des flexibilisierten BHKWs deutlich steigert.

Bis auf die wirtschaftlichen Hürden für die Wohngenossenschaften ist es demnach aus ökologischer Sicht sowie aus Sicht der Energieversorger durchaus erstrebenswert, die vorhandenen elektrischen Durchlauferhitzer durch eine Trinkwasserstation zu ersetzen. Es sollte daher in Zukunft untersucht werden, ob eine Sanierung der Gebäude die Wirtschaftlichkeit von wärmenetzgespeisten Trinkwasserstationen verbessern kann. Hierbei sollten vor allem die Rohrleitungen im unbeheizten Bereich besser isoliert werden.

Im Falle eines Austausches der elektrischen Durchlauferhitzer, empfiehlt sich die Verwendung einer Stockwerkstation (Konzept3). Diese besitzt die geringsten Emissionen und ist auch die wirtschaftlichste Variante der entwickelten Konzepte mit Trinkwasserstation.

Anhang A: Vorgaben Plattenwärmetauscher - Grenzwerte Trinkwasserbeschaffenheit

Die in Tabelle 17 angegebenen Grenzwerte für Plattenwärmeübertrager entstammen Informations-blättern von KaMo GmbH.

Tabelle 17: Vorgaben Plattenwärmetauscher - Grenzwerte Trinkwasserbeschaffenheit [43]

Wasserinhaltsstoff + Kennwerte	Einheit	Plattenwärmeübertrager kupfergelötet	Plattenwärmeübertrager Vacinox gelötet	Plattenwärmeübertrager Edelstahl geschraubt
pH-Wert		* 7-9 (unter Beachtung SI Index)	6 - 10	6 - 10
Sättigungs-Index SI (delta pH-Wert)		-0,2 < 0 < +0,2	Keine Festlegung	Keine Festlegung
Gesamthärte Total	°dH	6 - 15	6 - 15	6 - 15
Leitfähigkeit	µS/cm	10...500	Keine Festlegung	Keine Festlegung
Abfilterbare Stoffe	mg/l	< 30	< 30	< 30
** Chloride	mg/l	oberhalb 100 °C keine Chloride zulässig		
Freies Chlor	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	mg/l	< 0,05	Keine Festlegung	Keine Festlegung
Ammoniak (NH ₃ /NH ₄ ⁺)	mg/l	< 2	Keine Festlegung	Keine Festlegung
Sulfat	mg/l	< 100	< 400	Keine Festlegung
Hydrogenkarbonat	mg/l	< 300	Keine Festlegung	Keine Festlegung
Hydrogenkarbonat / Sulfat	mg/l	< 1,0	Keine Festlegung	Keine Festlegung
Sulfid	mg/l	< 1	< 7	Keine Festlegung
Nitrat	mg/l	< 100	Keine Festlegung	Keine Festlegung
Nitrit	mg/l	< 0,1	Keine Festlegung	Keine Festlegung
Eisen, gelöst	mg/l	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Mangan	mg/l	< 0,1	Keine Festlegung	Keine Festlegung
Freie aggressive Kohlensäure	mg/l	< 20	Keine Festlegung	Keine Festlegung
** Bei 20 °C max. 800 mg/l Bei 25 °C max. 600 mg/l Bei 50 °C max. 200 mg/l Bei 100 °C max. 0 mg/l * Der pH-Wert muss größer als 7,4 sein. Liegt der pH-Wert zwischen 7,0 und 7,4, muss der TOC-Wert kleiner 1,5 g/m³ bzw. kleiner 1,5 mg/l sein. Die genannten Werte sind Richtwerte, die unter bestimmten Betriebsbedingungen abweichen können. Sollten Sie Fragen haben, rufen Sie uns bitte an.				

Anhang B: Heizgradtage

Der folgende Anhang zeigt in Abschnitt B1 die monatlich aufsummierten Heizgradtage für die Jahre 2016 bis 2019 in Düsseldorf. Abschnitt B2 enthält die Temperaturdaten vom 18.9.2016 bis 1.10.2016 und die Temperaturdaten vom 27.9.2019 bis 10.10.2019. Diese werden benötigt um die tagesgenauen Heizgradtage zum Anfang und zum Ende der Energieverbrauchsmessung zu ermitteln.

Anhang B1: Heizgradtage IWU

Die folgenden Heizgradtage in Tabelle 18 bis 21 wurden über das von der IWU (Institut Wohnen und Umwelt) zur Verfügung gestellte Excel-Tool generiert. Dabei wurde für Oberhausen Tackenberg die angrenzende Wetterstation in Düsseldorf verwendet. [29]

Tabelle 18: Heizgradtage Wetterstation Düsseldorf 2016 [29]

Postleitzahl

46119

Wetterstation

Düsseldorf

Jahr

2016

Start

Januar

ausgewählte Station: Düsseldorf

Klimazone 7 nach DIN V 4108-6:2003

Innentemperatur

20,0 °C

Ausgabegröße

Heizgradtage

Heizgrenztemperatur

15

zur Berechnung der Heizgradtage nach VDI 3807

2016

Monat	Heizgradtage		Außen-	Außentemp.
	G15	Heiztage	temperatur	an Heiztagen
	[Kd]	[d]	[°C]	[°C]
Januar 2016	318,0	31	4,7	4,7
Februar 2016	301,9	29	4,6	4,6
März 2016	301,3	31	5,3	5,3
April 2016	170,4	29	9,3	9,1
Mai 2016	50,5	15	15,1	11,6
Juni 2016	2,0	6	17,5	14,7
Juli 2016	0,4	2	19,5	14,8
August 2016	4,8	3	18,9	13,4
September 2016	0,6	3	18,4	14,8
Oktober 2016	154,0	31	10,0	10,0
November 2016	267,4	30	6,1	6,1
Dezember 2016	325,7	31	4,5	4,5
Jahr	1897,0	241	11,2	7,1

langjähriges Mittel *

	Heizgradtage		Außen-	Außentemp.
	G15	Heiztage	temperatur	an Heiztagen
	[Kd]	[d]	[°C]	[°C]
	368,0	31	3,1	3,1
	323,1	28	3,6	3,5
	264,3	31	6,5	6,4
	162,9	27	9,8	9,0
	63,6	19	14,1	11,6
	18,3	10	16,9	13,1
	3,6	4	19,0	14,0
	4,2	4	18,5	13,9
	34,6	15	15,1	12,7
	126,5	27	11,2	10,2
	244,7	30	6,8	6,8
	334,5	31	4,2	4,2
	1948,4	255	10,8	7,4

* von 1970 - 2019

* von 1970 - 2019

Tabelle 19: Heizgradtage Wetterstation Düsseldorf 2017 [29]

Postleitzahl

46119

Wetterstation

Düsseldorf

Jahr

2017

Start

Januar

ausgewählte Station: Düsseldorf

Klimazone 7 nach DIN V 4108-6:2003

Innentemperatur

20,0 °C

Ausgabegröße

Heizgradtage

Heizgrenztemperatur

15

zur Berechnung der Heizgradtage nach VDI 3807

Monat	2017			
	Heizgradtage		Außen-temperatur	Außentemp. an Heiztagen
	G15 [Kd]	Heiztage [d]	[°C]	[°C]
Januar 2017	442,9	31	0,7	0,7
Februar 2017	256,9	28	5,8	5,8
März 2017	173,8	29	9,5	9,0
April 2017	195,3	30	8,5	8,5
Mai 2017	48,2	12	16,0	11,0
Juni 2017	0,7	1	19,5	14,3
Juli 2017	0,0	0	19,4	
August 2017	0,0	0	18,4	
September 2017	35,0	20	14,4	13,3
Oktober 2017	65,3	23	13,2	12,2
November 2017	243,0	30	6,9	6,9
Dezember 2017	321,0	31	4,6	4,6
Jahr	1782,1	235	11,5	7,4

Monat	langjähriges Mittel *			
	Heizgradtage		Außen-temperatur	Außentemp. an Heiztagen
	G15 [Kd]	Heiztage [d]	[°C]	[°C]
Januar	368,0	31	3,1	3,1
Februar	323,1	28	3,6	3,5
März	264,3	31	6,5	6,4
April	162,9	27	9,8	9,0
Mai	63,6	19	14,1	11,6
Juni	18,3	10	16,9	13,1
Juli	3,6	4	19,0	14,0
August	4,2	4	18,5	13,9
September	34,6	15	15,1	12,7
Oktober	126,5	27	11,2	10,2
November	244,7	30	6,8	6,8
Dezember	334,5	31	4,2	4,2
Jahr	1948,4	255	10,8	7,4

* von 1970 - 2019

Tabelle 20: Heizgradtage Wetterstation Düsseldorf 2018 [29]

Postleitzahl

46119

Wetterstation

Düsseldorf

Jahr

2018

Start

Januar

ausgewählte Station: Düsseldorf

Klimazone 7 nach DIN V 4108-6:2003

Innentemperatur

20,0 °C

Ausgabegröße

Heizgradtage

Heizgrenztemperatur

15

zur Berechnung der Heizgradtage nach VDI 3807

Monat	2018			
	Heizgradtage		Außen-temperatur	Außentemp. an Heiztagen
	G15	Heiztage		
	[Kd]	[d]	[°C]	[°C]
Januar 2018	282,6	31	5,9	5,9
Februar 2018	414,0	28	0,2	0,2
März 2018	302,7	31	5,2	5,2
April 2018	65,7	21	13,7	11,9
Mai 2018	23,9	10	17,2	12,6
Juni 2018	3,5	3	18,5	13,8
Juli 2018	0,0	0	22,5	
August 2018	1,2	2	20,5	14,4
September 2018	38,1	13	15,8	12,1
Oktober 2018	104,5	21	12,7	10,0
November 2018	232,5	30	7,3	7,3
Dezember 2018	278,6	31	6,0	6,0
Jahr	1747,3	221	12,2	7,1

	langjähriges Mittel *			
	Heizgradtage		Außen-temperatur	Außentemp. an Heiztagen
	G15	Heiztage		
	[Kd]	[d]	[°C]	[°C]
	368,0	31	3,1	3,1
	323,1	28	3,6	3,5
	264,3	31	6,5	6,4
	162,9	27	9,8	9,0
	63,6	19	14,1	11,6
	18,3	10	16,9	13,1
	3,6	4	19,0	14,0
	4,2	4	18,5	13,9
	34,6	15	15,1	12,7
	126,5	27	11,2	10,2
	244,7	30	6,8	6,8
	334,5	31	4,2	4,2
	1948,4	255	10,8	7,4

* von 1970 - 2019

Anhang C: Abschätzung von längenbezogenen Wärmeabgaben von Heizleitungen

Im folgenden Graphen kann für Heizleitungen mit Zweirohrsystem durch Angabe der mittleren Außentemperatur, der mittleren Rohrnetztemperatur, der Temperaturdifferenz zwischen Rohr und Umgebung sowie dem Rohrdurchmesser und dessen Wärmedämmung (U-Wert), der längenbezogene Wärmeverlust über ein Jahr abgeschätzt werden (Abbildung 21). Die blaue Linie gibt ein Ablesebeispiel unterhalb des Diagramms wieder. Die orangene Linie wurde für die Abschätzung in der Arbeit hinzugefügt. Für die mittlere Rohrnetztemperatur wurde der mittlere Bereich zwischen üblich und optimal gewählt. Für die Temperaturdifferenz zwischen Rohr und Umgebung wurde ebenfalls die Mitte zwischen warm und kalt angenommen. Zudem wurde ein Dämmstandard nach EnEV (100%) vorausgesetzt.

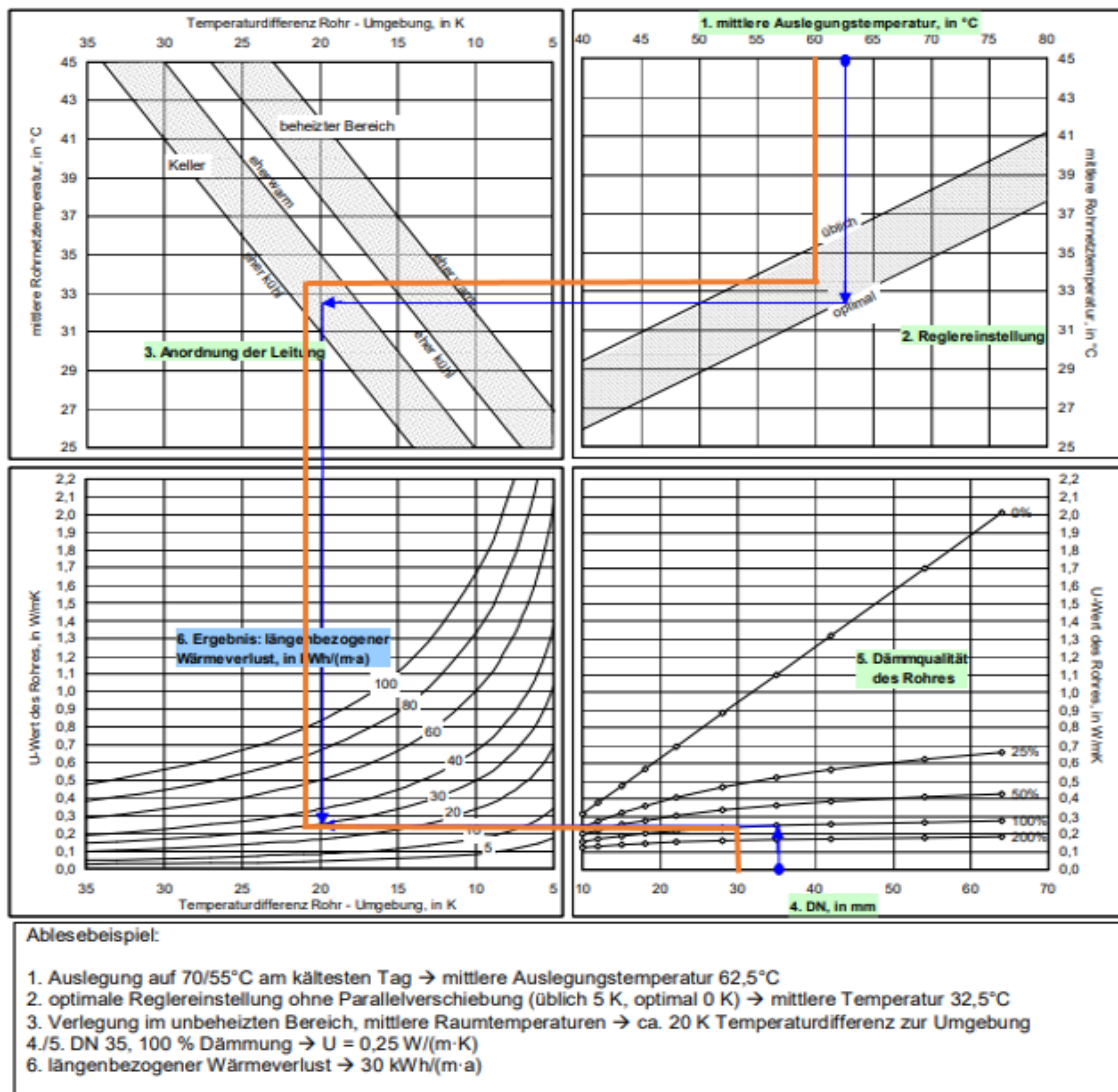


Abbildung 21: Abschätzung von längenbezogenen Wärmeabgaben von Heizleitungen - Zweirohrsystem [12]

Anhang D: Energieflussdiagramme der Konzepte 1-4

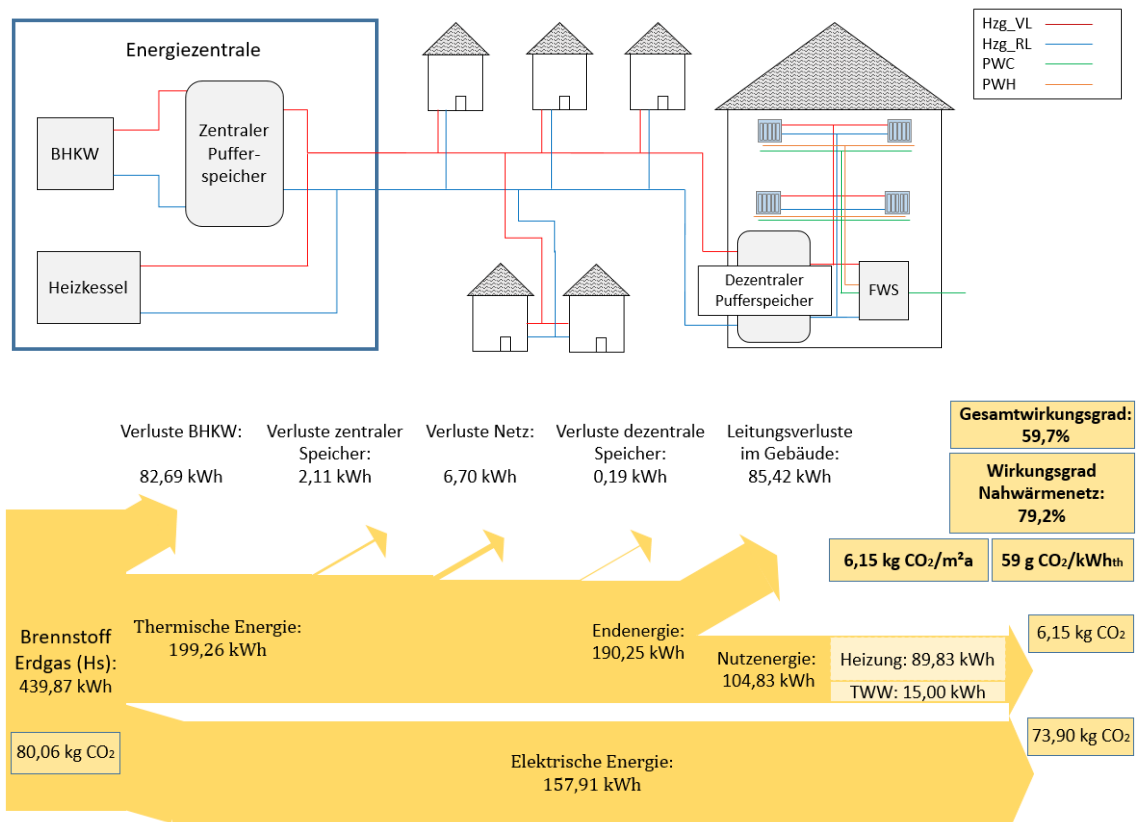


Abbildung 22: Energieflussdiagramm Konzept 1: Zentrale Frischwasserstation (eigene Darstellung)

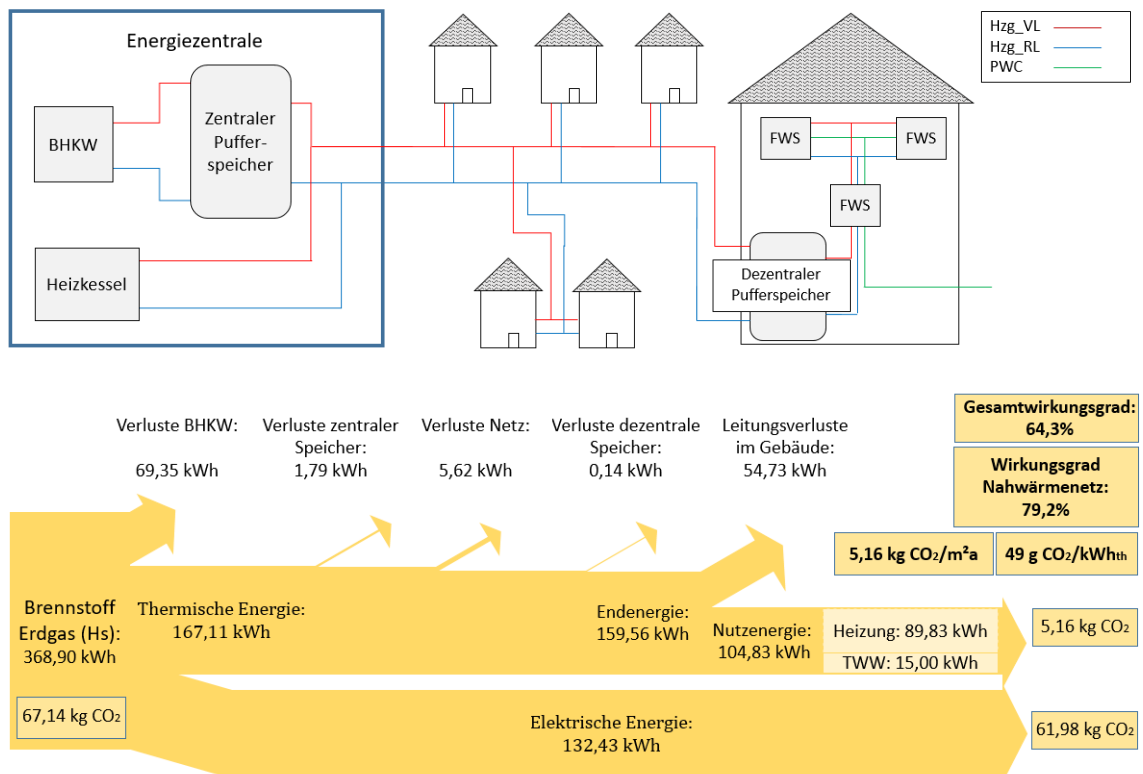


Abbildung 23: Energieflussdiagramm Konzept 2 u. 3: Dezentrale Wohnungs-/ Stockwerkstation (eigene Darstellung)

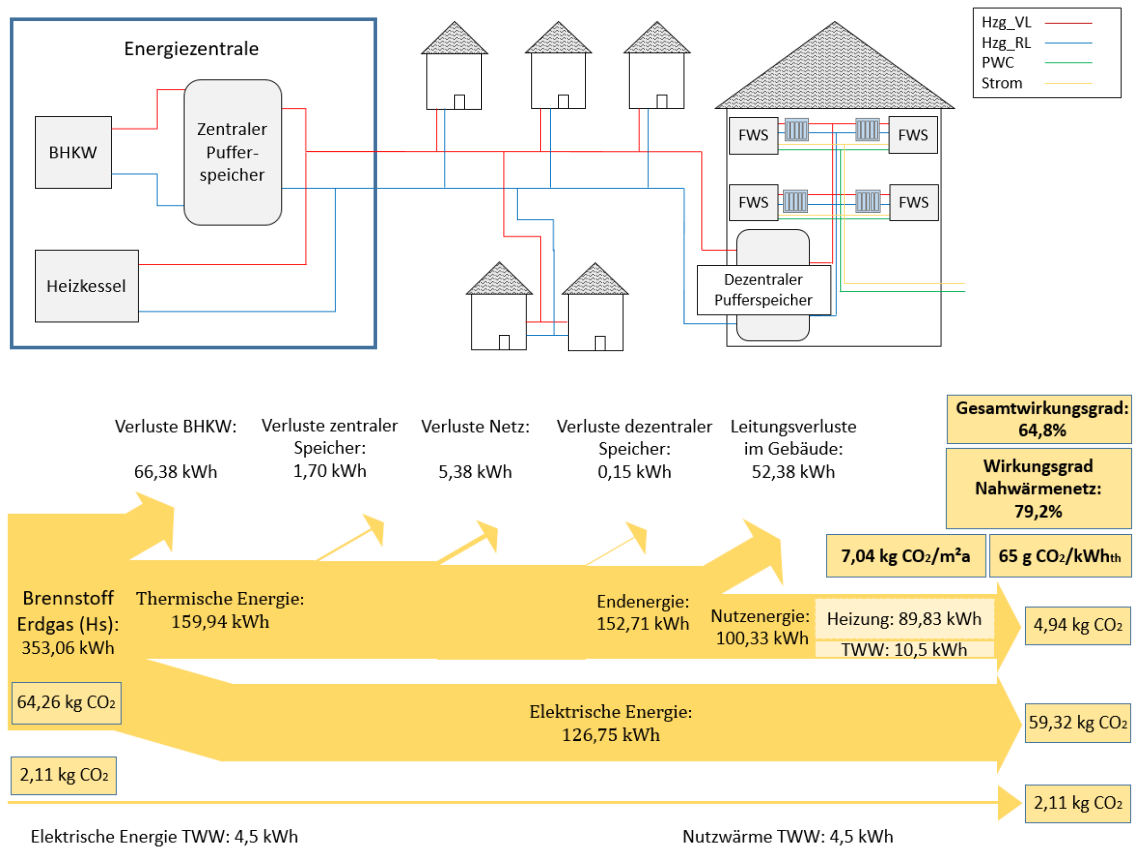


Abbildung 24: Energieflussdiagramm Konzept 4: Dezentrales Speicherladesystem mit integriertem Durchlauferhitzer (eigene Darstellung)

Anhang E: Annuitätsberechnung der Konzepte

Anhang E1 enthält die Annahmen und Parameter, die für die Berechnung der Annuitäten aller Konzepte verwendet wurden. In Anhang E2 sind die Berechnungstabellen jedes Konzeptes enthalten.

Anhang E1: Annahmen und Parameter zur Berechnung der Annuitäten

Tabelle 22: Berechnungsparameter der Annuitätsrechnung (eigene Darstellung)

	Preisänderungsfaktor		Barwertfaktor	
Kapitalgebundene Kosten [38]	r_K	1,0363	b_K	25,112
Bedarfsgebundene Kosten (Strom) [39]	$r_{v,Strom}$	1,0120	$b_{v,Strom}$	19,845
Bedarfsgebundene Kosten (Fernwärme) [39]	$r_{v,Fernwärme}$	1,0157	$b_{v,Fernwärme}$	20,544
Betriebsgebundene Kosten	r_B	1,0300	b_B	23,590
Kosten für Instandhaltung und Inspektion	r_I	1,0300	b_I	23,590
Sonstige Kosten	r_S	1,0300	b_S	23,590
Zinsfaktor [37]	Q	1,0116		
Annuitätsfaktor	A	0,05631		
Betrachtungszeitraum in Jahre	T	20		

Tabelle 23: Energiepreise (eigene Darstellung)

Strompreis [40]	0,3043	€/kWh
Fernwärmepreis [41]	0,07904	€/kWh

Tabelle 24: Gebäudeparameter (eigene Darstellung)

Wohnfläche pro Wohneinheit	67,92	m ²
Wohnungen	6	
Gesamtfläche	407,52	m ²

Tabelle 25: Preise einzelner Bauteile oder Dienstleistungen (eigene Darstellung)

Wärmemengenzähler	130,00	€
Warmwasserzähler	20,00	€
Beprobung:	204,00	€
Durchlauferhitzer	200,00	€
Trinkwasserspeicher (klein)	100,00	€
Umwälzpumpe Heizung	150,00	€

Anhang E2: Berechnungstabellen - Annuität aller Konzepte

Tabelle 26: Annuitätsrechnung - Konzept 0: Nahwärme und Durchlauferhitzer (eigene Darstellung)

Bauteile	Nutzungs- dauer	Instand- haltung [36]	Wartung und Inspektion [36]	Investitions- kosten	Barwert der Ersatzinvestitionen		Barwert des Restwerts	Annuität der kapitalgebundenen Kosten	Annuität der Instandhaltungskosten
	T_N [a]	f_{inst} [%]	f_{W+Insp} [%]	A_0 [€]	A_1 [€]	A_2 [€]	R_W [€]	A_{NK} [€/a]	A_{IN} [€/a]
Durchlauferhitzer	15	1,0	1,0	1.200,00	1.724,01	0,00	1.558,71	76,88	31,88
Steuer- und Regeleinrichtungen	20	1,5	1,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Wärmemengen- und Warmwasserzähler	20	1,5	1,5	910,00	0,00	0,00	0,00	51,24	36,27
Ventile	10	1,5	1,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pumpe	15	1,5	1,0	150,00	215,50	0,00	194,84	9,61	4,98
Rest	20	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Leitungen TWW	30	2,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Leitungen Heizung	40	1,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
							Summe:	137,74	73,13

Strom	6.112,80	kWh
Fernwärme	38.575,84	kWh

		[€/a]
Annuität der bedarfsgebundenen Kosten	A_{NV}	5.606,13
Annuität der betriebsgebundenen Kosten	A_{NB}	97,15
Annuität der sonstigen Kosten (Beprobung)	A_{NS}	0,00
Gesamt		5.841,02

Tabelle 27: Annuitätsrechnung - Konzept 1: Zentrale Frischwasserstation (eigene Darstellung)

Bauteile	Nutzungs- dauer	Instand- haltung [36]	Wartung und Inspektion [36]	Investitions- kosten	Barwert der Ersatzinvestitionen		Barwert des Restwerts	Annuität der kapitalgebundenen Kosten	Annuität der Instandhaltungskosten
	T_N [a]	f_{Inst} [%]	f_{W+Insp} [%]	A_0 [€]	A_1 [€]	A_2 [€]	R_W [€]	A_{NK} [€/a]	A_{IN} [€/a]
Frischwasserstation (Wärmetauscher)	20	2,0	4,0	1.754,70	0,00	0,00	0,00	98,81	139,86
Steuer- und Regeleinrichtungen	20	1,5	1,5	1.433,00	0,00	0,00	0,00	80,70	57,11
Wärmemengen- und Warmwasserzähler	20	1,5	1,5	1.160,00	0,00	0,00	0,00	65,32	46,23
Ventile	10	1,5	1,0	370,40	471,60	0,00	0,00	47,42	12,30
Pumpe	10	2,0	1,0	150,00	190,98	0,00	0,00	19,20	5,98
Rest	20	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Leitungen TWW	30	2,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Leitungen Heizung	40	1,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Summe:								311,45	261,48

Strom	0	kWh
Fernwärme	77530,68	kWh

		[€/a]
Annuität der bedarfsgebundenen Kosten	A_{NV}	7.089,46
Annuität der betriebsgebundenen Kosten	A_{NB}	347,35
Annuität der sonstigen Kosten (Beprobung)	A_{NS}	90,33
Gesamt		7.838,59

Tabelle 28: Annuitätsrechnung - Konzept 2: Dezentrale Wohnungsstation (eigene Darstellung)

Bauteile	Nutzungs- dauer	Instand- haltung [36]	Wartung und Inspektion [36]	Investitions- kosten	Barwert der Ersatzinvestitionen		Barwert des Restwerts	Annuität der kapitalgebundenen Kosten	Annuität der Instandhaltungskosten
	T_N [a]	f_{inst} [%]	f_{W+Insp} [%]	A_0 [€]	A_1 [€]	A_2 [€]	R_W [€]	A_{NK} [€/a]	A_{IN} [€/a]
Wohnungsstation (Wärmetauscher)	20	2,0	4,0	5.352,00	0,00	0,00	0,00	301,38	426,58
Steuer- und Regeleinrichtungen	20	1,5	1,5	2.254,60	0,00	0,00	0,00	126,96	89,85
Wärmemengen- und Warmwasserzähler	20	1,5	1,5	910,00	0,00	0,00	0,00	51,24	36,27
Ventile	10	1,5	1,0	528,00	672,26	0,00	0,00	67,59	17,54
Pumpe	15	1,5	1,0	3.235,40	4.648,23	0,00	4.202,54	207,29	107,45
Rest	20	0,0	0,0	1.518,80	0,00	0,00	0,00	85,53	0,00
Leitungen TWW	30	2,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Leitungen Heizung	40	1,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Summe:								840,00	677,69

Strom	0	kWh
Fernwärme	65.023,89	kWh

		[€/a]
Annuität der bedarfsgebundenen Kosten	A_{NV}	5.945,83
Annuität der betriebsgebundenen Kosten	A_{NB}	900,26
Annuität der sonstigen Kosten (Beprobung)	A_{NS}	0,00
Gesamt		7.686,08

Tabelle 29: Annuitätsrechnung - Konzept 3: Dezentrale Stockwerkstation (eigene Darstellung)

Bauteile	Nutzungs- dauer	Instand- haltung [36]	Wartung und Inspektion [36]	Investitions- kosten	Barwert der Ersatzinvestitionen		Barwert des Restwerts	Annuität der kapitalgebundenen Kosten	Annuität der Instandhaltungskosten
	T_N [a]	f_{Inst} [%]	f_{W+Insp} [%]	A_0 [€]	A_1 [€]	A_2 [€]	R_W [€]	A_{NK} [€/a]	A_{IN} [€/a]
Wohnungsstation (Wärmetauscher)	20	2,0	4,0	2.879,10	0,00	0,00	0,00	162,13	229,48
Steuer- und Regeleinrichtungen	20	1,5	1,5	2.254,60	0,00	0,00	0,00	126,96	89,85
Wärmemengen- und Warmwasserzähler	20	1,5	1,5	1.420,00	0,00	0,00	0,00	79,96	56,59
Ventile	10	1,5	1,0	528,00	672,26	0,00	0,00	67,59	17,54
Pumpe	15	1,5	1,0	3.235,40	4.648,23	0,00	4.202,54	207,29	107,45
Rest	20	0,0	0,0	1.518,80	0,00	0,00	0,00	85,53	0,00
Leitungen TWW	30	2,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Leitungen Heizung	40	1,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
							Summe:	729,46	500,91

Strom	0	kWh
Fernwärme	65.023,89	kWh

		[€/a]
Annuität der bedarfsgebundenen Kosten	A_{NV}	5.945,83
Annuität der betriebsgebundenen Kosten	A_{NB}	665,42
Annuität der sonstigen Kosten (Beprobung)	A_{NS}	0,00
Gesamt		7.340,71

Tabelle 30: Annuitätsrechnung - Konzept 4: Dezentrales Speicherladesystem mit integriertem Durchlauferhitzer (eigene Darstellung)

Bauteile	Nutzungs- dauer	Instand- haltung [36]	Wartung und Inspektion [36]	Investitions- kosten	Barwert der Ersatzinvestitionen		Barwert des Restwerts	Annuität der kapitalgebundenen Kosten	Annuität der Instandhaltungskosten
	T_N [a]	f_{Inst} [%]	f_{W+Insp} [%]	A_0 [€]	A_1 [€]	A_2 [€]	R_W [€]	A_{NK} [€/a]	A_{IN} [€/a]
Wohnungsstation (Wärmetauscher)	20	2,0	4,0	4.608,00	0,00	0,00	0,00	259,49	367,28
Durchlauferhitzer	15	1,0	1,0	1.200,00	1.724,01	0,00	1.558,71	76,88	31,88
Kleinspeicher	15	1,0	1,0	600,00	862,01	0,00	779,35	38,44	15,94
Steuer- und Regeleinrichtungen	20	1,5	1,5	1.175,40	0,00	0,00	0,00	66,19	46,84
Wärmemengen- und Warmwasserzähler	20	1,5	1,5	910,00	0,00	0,00	0,00	51,24	36,27
Ventile	10	1,5	1,0	778,80	991,59	0,00	0,00	99,69	25,86
Pumpe	15	1,5	1,0	3.235,40	4.648,23	0,00	4.202,54	207,29	107,45
Rest	20	0,0	0,0	1.806,60	0,00	0,00	0,00	101,73	0,00
Leitungen TWW	30	2,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Leitungen Heizung	40	1,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
							Summe:	900,96	631,53

Strom	1.833,84	kWh
Fernwärme	62.232,38	kWh

		[€/a]
Annuität der bedarfsgebundenen Kosten	A_{NV}	6.314,19
Annuität der betriebsgebundenen Kosten	A_{NB}	838,94
Annuität der sonstigen Kosten (Beprobung)	A_{NS}	0,00
Gesamt		8.054,10

Anhang E3: Kostenvoranschlag KaMo

Fraunhofer-Institut für Umwelt-,
Sicherheits- und Energietechnik
UMSICHT
Osterfelder Str. 3
46047 Oberhausen



KaMo GmbH

FAN2103451

19.04.2021

Seite 3 von 8

Lfd Nr	Menge	Art.-Nr.	Bezeichnung / (Ihre Art.-Nr.)	Einzelpreis	Rab. %	Gesamt
FWS 6 WE						
4	1 Stk	43000238-V	KaMo SPS 500/50-G10, 10 Abgänge, 3 bar Systempufferspeicher m. Dämmung Label C	1.168,10		1.168,10
AP	1 Stk	43300023	KaMo Combi-Control Systemregler für Puffer Be- und Entladung	818,00		(818,00)
5	1 Stk	42001008	KaMo FWS-Perfekt-H-Z in Dämmschale FWS mit Zirkulation, mit Modbus	1.754,70		1.754,70
AP	1 Stk	43000221	KaMo Mehrpreis Wärmetauscher EG 24-30 Vacinox edelstahlgelöteter PWT	290,70		(290,70)
6	1 Stk	42000104	KaMo FWS-SA-B, Bausatz Sicherheitsanschlussgruppe, 10 bar	97,40		97,40
AP	1 Stk	42000174	KaMo FWS-UMV-B, Umschaltventil Mit Stellmotor, bauseitig montiert	273,00		(273,00)
AP	1 Stk	48000023	KaMo IBN FWS-Stationen b.100km Entfernung IBN FWS-Perfekt, ECO, Maxi-Station	615,00		(615,00)

Abbildung 25: Kostenvoranschlag KaMo - Zentrale Frischwasserstation

DWS 6 WE						
17	1 Stk	43300040	KaMo Pumpengruppe ungem. SPG 32-UM-CCR-V bis zu 8.000l/h Volum. komplett montiert	3.235,40		3.235,40
18	1 Stk	43000175-V	KaMo SPS 500/50-G5, 5 Abgänge, 3 bar Systempufferspeicher mit Vlies-Dämmung	1.062,80		1.062,80
19	6 Stk	41001002	KaMo Wohnungskombi-Station WK 1M/S auf Montageplatte 600x435 mm montiert	892,00		5.352,00
AP	6 Stk	43000226	KaMo Mehrpreis Wärmetauscher EG 24-20 Vacinox edelstahlgelöteter PWT	224,00		(1.344,00)
AP	6 Stk	41001003	KaMo Wohnungskombi-Station WK 2/S, auf Montageplatte 600x435 mm montiert	959,70		(5.758,20)
AP	6 Stk	43000221	KaMo Mehrpreis Wärmetauscher EG 24-30 Vacinox edelstahlgelöteter PWT	290,70		(1.744,20)
20	6 Stk	41000076	KaMo Kugelhahn-Anschluss-Set, WK-KAS/D7 DG für WK-Stationen	68,30		409,80
AP	6 Stk	41000138	KaMo Anschluschiene WK-MS-AS/7 KH für Vormontage der WK-Stationen,	133,90		(803,40)

Abbildung 26: Kostenvoranschlag KaMo – Dezentrale Wohnungs- /Stockwerkstation – Teil 1



Fraunhofer-Institut für Umwelt-,
Sicherheits- und Energietechnik
UMSICHT
Osterfelder Str. 3
46047 Oberhausen

KaMo GmbH

FAN2103451

19.04.2021

Seite 6 von 8

Lfd Nr	Menge	Art.-Nr.	Bezeichnung / (Ihre Art.-Nr.)	Einzelpreis	Rab. %	Gesamt
21	6 Stk	41001022	KaMo therm. Temperatur-Vorhaltemodul WS-TTV in WK/TW-Station montiert	90,70		544,20
22	6 Stk	41001026	KaMo Entleerungs-Set WK-E in WK-Station montiert	24,00		144,00
23	6 Stk	41001028	KaMo Schmutzfänger WK-SF in WK-Station montiert	32,30		193,80
24	6 Stk	41001043	KaMo Differenzdruckregler WS-DRG-SE für WK/S-Stationen im Stationseingang	158,40		950,40
25	6 Stk	41001045	KaMo WS-KWA-WK/S /TW +2 Zähler-Passstücke Kaltwasser-Wohnungsabgang für WK-S/TW	63,00		378,00
AP	6 Stk	43100115	Stellantrieb KTS 230V. stromlos geschlossen, incl.Ventiladapter	19,70		(118,20)
AP	6 Stk	43100224	Raumtemperaturregler Display 230V zur Aufputzmontage, Heizen/Kühlen	92,90		(557,40)
26	6 Stk	41000135	KaMo UP-Gehäuse WS-UP 49-85-15 ST H 850-1030, B 490, T 150-200 mm	189,60		1.137,60
AP	1 Stk	48000016	KaMo IBN Heizzentrale bis zu 3 Regelfunk. +1 Whg-station bis 100-Entfernungs-km	545,00		(545,00)
AP	5 Stk	48000020	KaMo IBN je 1Whg-station m.RadiatorHz nur in Verbindung mit IBN Heizzentrale	43,00		(215,00)

Abbildung 27: Kostenvoranschlag KaMo – Dezentrale Wohnungs- /Stockwerkstation – Teil 2

<i>Alternativ TW-Station</i>						
AP	1 Stk	41001013	KaMo Trinkwasser-Erwärmungs-Stat. TW 1M auf Montageplatte 600 x 435 mm montiert	768,00		(768,00)
AP	1 Stk	43000226	KaMo Mehrpreis Wärmetauscher EG 24-20 VacInox edelstahlgelöteter PWT	224,00		(224,00)
AP	1 Stk	41000007	KaMo Anschluss-Set TW-KAS/D4 4 St. Durchgangskugelhähne für TW	39,10		(39,10)
AP	1 Stk	41000014	KaMo Anschlusschiene TW-MS-A/4 KH für Vormontage der TW-Stationen,	87,50		(87,50)
AP	1 Stk	41001026	KaMo Entleerungs-Set WK-E in WK-Station montiert	24,00		(24,00)
AP	1 Stk	41001022	KaMo therm. Temperatur-Vorhaltemodul WS-TTV in WK/TW-Station montiert	90,70		(90,70)
AP	1 Stk	41001044	KaMo TW-DRG-SE Differenzdruckregler für TW-Stationen im Stationseingang	195,90		(195,90)
AP	1 Stk	41000135	KaMo UP-Gehäuse WS-UP 49-85-15 ST H 850-1030, B 490, T 150-200 mm	189,60		(189,60)

Abbildung 28: Kostenvoranschlag KaMo - Dezentrale Trinkwasserstation

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Energieeffizienzstrategie Gebäude: Wege zu einem klimaneutralen Gebäudebestand,“ 2015. [Online]. Available: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienzstrategie-gebäude.pdf?__blob=publicationFile&v=25. [Zugriff am 24. April 2021].
- [2] Verbraucherzentralen Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz, „Neue Heizung – Welche ist die Richtige?,“ 2020. [Online]. Available: <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/heizen-und-warmwasser/neue-heizung-welche-ist-die-richtige-30077>. [Zugriff am 24. April 2021].
- [3] BDEW, „Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in Deutschland in den Jahren 1995 bis 2019,“ 2020. [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/162218/umfrage/beheizungsstruktur-des-wohnbestandes-in-deutschland-seit-1975/>. [Zugriff am 24. April 2021].
- [4] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), „Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung. Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung,“ 2011. [Online]. Available: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/6-energieforschungsprogramm-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=32. [Zugriff am 24. April 2021].
- [5] ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V., „BHKW-Fibel. Wissen in kompakter Form,“ 2012. [Online]. Available: https://asue.de/sites/default/files/asue/themen/blockheizkraftwerke/2015/broschueren/asue_050315_bhkw_fibel.pdf. [Zugriff am 24. April 2021].
- [6] M. Böhmer und N. Thamling, „Ermittlung der Wachstumswirkungen der KfW-Programme zum Energieeffizienten Bauen und Sanieren,“ Prognos AG, 2013. [Online]. Available: <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-alle-Evaluationen/Wachstumseffekte-EBS-Endbericht.pdf>. [Zugriff am 24. April 2021].
- [7] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), „Handlungsleitfaden zur Energetischen Stadterneuerung,“ 2011. [Online].

- Available:
https://www.stmb.bayern.de/assets/stmi/buw/staedtebaufoerderung/dl_handlungsgleitfaden_ee.pdf. [Zugriff am 24. April 2021].
- [8] Forschungszentrum Jülich GmbH, „EnEff:Stadt - QUENTIN: Quartiersentwicklung auf Basis von Nahwärmeinseln mit flexiblen KWK-Systemen und Teilsanierung - Teilvorhaben: Konzeptentwicklung, Strategieentwicklung und Demonstrationsbetrieb,“ 2019. [Online]. Available: <https://enargus.de/pub/bscw.cgi/?op=enargus.eps2&q=QUENTIN&v=10&id=1241012>. [Zugriff am 24. April 2021].
- [9] H. Erhorn-Kluttig, R. Jank, L. Schrempf, A. Dütz, F. Rumpel, J. Schrade, H. Erhorn, C. C. Beier, Sager und D. Schmidt, *Energetische Quartiersplanung: Methoden - Technologien - Praxisbeispiele*, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2011.
- [10] Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, „Flex KWK: Energiewende - neues Konzept für Kraft-Wärme-Kopplung,“ [Online]. Available: <https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/referenzen/flexkwk.html>. [Zugriff am 24. April 2021].
- [11] S. Witkowski, „Masterarbeit: Entwicklung und Optimierung verschiedener Betriebskonzepte für thermische Speicher in Wärmenetzen zur Quartiersversorgung,“ Fraunhofer-Institut UMSICHT, Dortmund, Mai 2020.
- [12] G. Einkenloff, K. Jagnow, D. von Krosigk, J.-P. Niemann, S. Mewes, K. Wähning und D. Wolff, „Einfluss der Verteilungsverluste bei der energetischen Modernisierung von Mehrfamilienhäusern. Analyse und Ableitung von Optimierungsmaßnahmen,“ Projekt im Auftrag des proKlima enercity-Fonds, Hannover/Braunschweig/Wolfenbüttel, 2012.
- [13] O. Merker und O. Anold, „Abschlussbericht zum Vorhaben: Ansätze zur Reduktion der konventionell erzeugten Wärmeverluste in solar unterstützten Mehrfamilienhäusern,“ Institut für Solarenergieforschung Hameln GmbH (ISFH), Institut für Solarenergieforschung Hameln GmbH (ISFH), 2017.
- [14] Prof. Dr.-Ing. Karl-Josef Albers, „Trinkwassererwärmungsanlagen,“ in *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik einschließlich Trinkwasser- und Kältetechnik sowie Energiekosten*, 78 Hrsg., Bd. 2, München, DIV Deutscher Industrieverlag GmbH, 2017, pp. 2233-2290.
- [15] Verein Deutscher Ingenieure e.V., *VDI 6003:2018-08: Trinkwassererwärmungsanlagen Komfortkriterien und Anforderungsstufen für Planung, Bewertung und Einsatz*, Düsseldorf: Beuth Verlag GmbH, 2018.

- [16] ImmoFred UG, „Trinkwasserverordnung – Anzeigepflicht für Vermieter!“, 2019. [Online]. Available: <https://www.immofred.com/blog/trinkwasserverordnung-vermieter>. [Zugriff am 24. April 2021].
- [17] Dr. Karin Gerhardy, DVGW Deutscher Verein des Gas und Wasserfachs e. V. Technisch-wissenschaftlicher, „Das DVGW-Arbeitsblatt W 551 und die 3-Liter-Regel,“ energie | wasser-praxis, pp. 42-45, Bonn, Februar 2012. [Online]. Available: <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/wasser/verbraucher/1202gerhardy.pdf>. [Zugriff am 24. April 2021].
- [18] D. R. Paschotta, „RP-Energie-Lexikon - Frischwasserstation,“ 30. Juni 2020. [Online]. Available: <https://www.energie-lexikon.info/frischwasserstation.html>. [Zugriff am 24. April 2021].
- [19] MS Schwarz GmbH, „Funktion der Frischwasserstation,“ [Online]. Available: <https://www.haustechnikdialog.de/SHKwissen/Showimage.aspx?ID=3528>. [Zugriff am 24. April 2021].
- [20] Bundesministerium für Gesundheit, „Trinkwasserverordnung und Legionellen,“ 25. April 2018. [Online]. Available: https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/3_Downloads/T/Trinkwasserverordnung/Stammtext_TrinkwV_und_Legionellen_250418.pdf. [Zugriff am 24. März 2021].
- [21] Thermic Energy RZ GmbH, „Planungshilfe tubra®-Frischwasserstationen,“ März 2014. [Online]. Available: https://www.thermic-energy.com/wp-content/uploads/planungshilfe_tubra_frischwasserstation.pdf. [Zugriff am 24. April 2021].
- [22] DIN Deutsches Institut für Normung e. V, *DIN 1988-200:2012-05: Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen – Teil 200: Installation Typ A (geschlossenes System) – Planung, Bauteile, Apparate, Werkstoffe; Technische Regel des DVGW*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2012.
- [23] Prof. Dr.-Ing. Karl-Josef Albers, „Wärmemengenmessung,“ in *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik einschließlich Trinkwasser- und Kältetechnik sowie Energiekosten*, 79 Hrsg., Bd. 1, Augsburg, ITM InnoTech Medien GmbH, 2018, pp. 370-380.
- [24] KaMo GmbH, Wohnungs- und Trinkwasserstationen - Technische Informationen, Ehingen an der Donau: KaMo GmbH, September 2019.
- [25] KaMo GmbH, „Zentrales System - Technische Fragen / FAQs,“ [Online]. Available: <https://www.kamo.de/zentrales-system/faq>. [Zugriff am 24. April 2021].

- [26] S. Henke, T. Kröper und J. Spannig, „Breitenanwendung von Niedertemperatur-Systemen als Garanten für eine nachhaltige Wärmeversorgung : LowEx-Systeme : Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben: LowEx-Fernwärme-Systeme im Rahmen des Förderkonzeptes EnEff:Wärme,“ Stadtwerke München, München, 2014.
- [27] RWW Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH, „Trinkwasseranalysen und Härtebereich,“ 2020. [Online]. Available: <https://www.rww.de/trinkwasser/wasserqualitaet/trinkwasseranalysen?btattach ed=true&cHash=60803273b96cece0dd049aac21718f32>. [Zugriff am 24. April 2021].
- [28] KaMo GmbH, „Dezentrales System - Technische Fragen / FAQs,“ [Online]. Available: <https://www.kamo.de/dezentrales-system/faq>. [Zugriff am 24. April 2021].
- [29] Institut Wohnen und Umwelt (IWU), „Gradtagszahlen_Deutschland.xls,“ 7. Januar 2020. [Online]. Available: <https://www.iwu.de/fileadmin/tools/gradtagzahlen/Gradtagzahlen-Deutschland.xls>. [Zugriff am 24. April 2021].
- [30] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., „DIN EN 12831 Beiblatt 2:2012-05: Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast – Beiblatt 2: Vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung der Gebäude-Heizlast und der Wärmeerzeugerleistung,“ Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2012.
- [31] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN V 4701-10:2003-08: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2003.
- [32] DIN Deutsches Institut für Normung e. V., *DIN V 18599-5:2018-09: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen*, Beuth Verlag GmbH: Berlin, 2018.
- [33] W. Mauch, R. Corradini, K. Wiesemeyer und M. Schwentzek, „Allokationsmethoden für spezifische CO₂-Emissionen von Strom und Wärme aus KWK-Anlagen,“ *ENERGIEWIRTSCHAFTLICHE TAGESFRAGEN*, Bd. 55, Nr. 9, pp. 12-14, 2010.
- [34] K. Juhrich, „CO₂-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe,“ Umweltbundesamt, Juni 2016. [Online]. Available: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/co2-emissionsfaktoren_fur_fossile_brennstoffe_korrektur.pdf. [Zugriff am 24. April 2021].

- [35] K. Juhrich, „Spezifische Emissionsfaktoren für den deutschen Strommix,“ Umweltbundesamt, 1. April 2020. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen/spezifische-emissionsfaktoren-fuer-den-deutschen>. [Zugriff am 24. April 2021].
- [36] Verein Deutscher Ingenieure e.V., *VDI 2067 Blatt 1: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen Grundlagen und Kostenberechnung*, Düsseldorf: Beuth Verlag GmbH, 2012.
- [37] Dr. Klein Privatkunden AG, „Zinsentwicklung zur Baufinanzierung 2021: Prognose und Zinschart,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.drklein.de/zinsentwicklung-prognose.html#!/>. [Zugriff am 24. April 2021].
- [38] Statistisches Bundesamt (Destatis), „Preisindizes für die Bauwirtschaft - Februar 2021 (1. Vierteljahresausgabe) - Fachserie 17 Reihe 4,“ 9. April 2021. [Online]. Available: https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Baupreise-Immobilienpreisindex/Publikationen/Downloads-Bau-und-Immobilienpreisindex/bauwirtschaft-preise-2170400213214.pdf;jsessionid=43E5512F2BEE345CCE92E53C3466CDA9.live742?__blob=publicationFile. [Zugriff am 24. April 2021].
- [39] Statistisches Bundesamt (Destatis), „Preise Verbraucherpreisindizes für Deutschland - Monatsbericht - März 2021,“ 15. April 2021. [Online]. Available: https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Verbraucherpreisindex/Publikationen/Downloads-Verbraucherpreise/verbraucherpreise-m-2170700211034.pdf?__blob=publicationFile. [Zugriff am 24. April 2021].
- [40] Statistisches Bundesamt (Destatis), „Preise, Daten zur Energiepreisentwicklung - Lange Reihen von Januar 2005 bis Februar 2021 -,“ 30. März 2021. [Online]. Available: https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Publikationen/Energiepreise/energiepreisentwicklung-pdf-5619001.pdf;jsessionid=50087A81E475777E192139217D5BC832.live741?__blob=publicationFile. [Zugriff am 24. April 2021].
- [41] Statista GmbH, „Preis* für Fernwärme nach Anschlusswert in Deutschland in den Jahren 1991 bis 2019(in Euro pro Megawattstunde),“ 28. August 2020. [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/250114/umfrage/preis-fuer-fernwaerme-nach-anschlusswert-in-deutschland/>. [Zugriff am 24. April 2021].
- [42] David Becker und Alice Holstein GbR, „So funktionieren Durchlauferhitzer,“ 2020. [Online]. Available: <https://www.durchlauferhitzer-wissen.de/so->

funktionieren-

durchlauferhitzer#:~:text=Im%20abgebildeten%20Funktionsschema%20wird%20deutlich%20wie%20elektronische%20Durchlauferhitzer,filtert.%20Nun%20flie%C3%9Ft%20es%20am%20Vorlauftemperaturf%C3%BChler%20%281.

[Zugriff am 24. April 2021].

- [43] KaMo GmbH, „Vorgaben Plattenwärmetauscher - Grenzwerte Trinkwasserbeschaffenheit,“ [Online]. Available: <https://www.kamo.de/UponorInternet/DirectDownload?did=24DF3A7A45A84C08A37349BFA13A9A7B&v=afc2fc51-f61f-4a57-a81c-859a67d8b659>. [Zugriff am 24. April 2021].
- [44] WetterKontor GmbH, „Wetterrückblick Düsseldorf - Zeitraum: 18.09.2016 bis 01.10.2016,“ [Online]. Available: <https://www.wetterkontor.de/de/wetter/deutschland/rueckblick.asp?id=50&datum0=18.09.2016&datum1=01.10.2016&jr=2020&mo=12&datum=01.10.2016&t=2&part=2>. [Zugriff am 24. April 2021].
- [45] WetterKontor GmbH, „Wetterrückblick Düsseldorf - Zeitraum: 27.09.2019 bis 10.10.2019,“ [Online]. Available: <https://www.wetterkontor.de/de/wetter/deutschland/rueckblick.asp?id=50&datum0=18.09.2016&datum1=01.10.2016&jr=2020&mo=12&datum=10.10.2019&t=2&part=2>. [Zugriff am 24. April 2021].

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht. Die vorgelegte Arbeit hat weder in der gegenwärtigen noch in einer anderen Fassung schon einem anderen Fachbereich der Hochschule Ruhr West oder einer anderen wissenschaftlichen Hochschule vorgelegen.

Bottrop, 26 April 2021

Ort, Datum



Unterschrift