



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

## Bachelorarbeit

Koffi Akpeko Aholy

# **Potenzial und Ursachenanalyse der energetischen Einsparungen und Mehrverbräuche der Wärmeerzeugung- und Verteilungsanlagen des Einsparzählerprojektes**

Fakultät Technik und Informatik  
Department Maschinenbau und Produktion

Faculty of Engineering and Computer Science  
Department of Mechanical Engineering and  
Production Management

**Koffi Akpeko Aholy**

**Potenzial und Ursachenanalyse der energetischen  
Einsparungen und Mehrverbräuche der Wärmeerzeugung-  
und Verteilungsanlagen des Einsparzählerprojektes**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Maschinenbau / Energie- und Anlagensysteme  
am Department Maschinenbau und Produktion  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

In Zusammenarbeit mit:

Energiezentrale Nord GmbH  
Abteilung Consulting, Analyse und Optimierung  
Rugenbarg 53a  
22848 Norderstedt

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Sankol

Zweitprüfer: Dipl. -Ing. Günter Wolter

Ausgabedatum: 13.01.2022

Abgabedatum: 30.04.2022



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

*Hamburg University of Applied Sciences  
Department Maschinenbau und Produktion*

## **Aufgabenstellung**

für die Bachelorthesis

von Herrn Koffi Aholy

Matrikel-Nummer: 2335234

**Thema: Potenzial und Ursachenanalyse der energetischen Einsparungen und Mehrverbräuche der Wärmeerzeugungs- und Verteilungsanlagen des Einsparzählerprojektes**

**Schwerpunkte:**

- Es soll im Rahmen dieser Arbeit die Heizungsanlagen aus dem Einsparzählerprojekt nach Verbrauch und Funktionen sowie deren Ursachen und Zusammenhängen erkannt und analysiert werden.
- Auf Grundlagen der Datenauswertung soll ermittelt werden wie viel Energie durch die Optimierungsmaßnahmen eingespart oder mehrverbraucht wurde.
- Eine Clusterung der Anlagen soll gemäß dem VDMA 24199 nach Einzel und Mehrwärmeerzeuger und nach Energieträger( Regenerative und fossil) inklusiv einer Darstellung der Anlagenkombination mit der höchsten und niedrigsten Einsparung erfolgen.

12.01.2022

Datum

Erstprüfer/in

# Zusammenfassung

## **Name des Studierenden:**

Koffi Akpeko Aholy

## **Thema der Bachelorthesis:**

Potenzial und Ursachenanalyse der energetischen Einsparungen und Mehrverbräuche der Wärmezeugung- und Verteilungsanlagen des Einsparzählerprojektes

## **Stichworte:**

Fehlfunktionen in Heizungsanlagen, Energiemehrverbrauch, Emissionsausstoß, Optimierung von Heizungsanlagen, Energieeinsparung, CO<sub>2</sub> Einsparung, Umweltfreundlichkeit.

## **Kurzzusammenfassung**

Diese Arbeit erfasst Heizungsanlagen, die von der Energiezentrale Nord optimiert wurden. Es sollen daher die Fehlfunktionen und deren Ursachen, die zu Energiemehrverbräuche geführt haben analysiert werden. Und mit welchen Maßnahmen diese behoben wurden.

Anschließend sollen Berechnungen durchgeführt werden um festzustellen welche Anlage an Energie eingespart oder mehr verbraucht haben.

## **Name of student:**

Koffi Akpeko Aholy

## **Topic of the bachelor's thesis:**

Potential and cause analysis of the energetic savings and additional consumption of the heat generation and distribution systems of the energy saving meter project

## **Keywords:**

Malfunctions in heating systems, increased energy consumption, emissions, optimization of heating systems, energy savings, CO<sub>2</sub> savings, environmental friendliness.

## **Abstract**

This work covers heating systems that have been optimized by Energiezentrale Nord. Therefore, the malfunctions and their causes that led to increased energy consumption should be analyzed. And what measures were taken to remedy them.

Calculations should then be carried out to determine which system has saved energy or consumed more.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>2</b>
<b>Symbolverzeichnis</b> .....	<b>5</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>6</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>7</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>8</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>10</b>
1.1 Motivation für das Thema .....	10
1.2 Unternehmensbeschreibung .....	11
1.3 Projektbeschreibung.....	11
1.4 Einblick in das VDMA-Einheitsblatt 24199.....	13
<b>2 Grundlagen der erfassten Anlagen</b> .....	<b>13</b>
2.1 Wärmeerzeuger .....	14
2.2 Wärmeverteilung .....	16
2.3 Heizkreise .....	19
2.4 Trinkwarmwasserbereitung .....	21
<b>3 Bestandsaufnahme der betrachteten Anlagen der Baugenossenschaften</b> .....	<b>26</b>
3.1 Bauverein der Elbgemeinden eG.....	26
3.2 Hamburger Lehrerbaugenossenschaften eG.....	27
3.3 Vereinigte Baugenossenschaften Lübeck eG.....	28
3.4 Neue Lübecker Norddeutsche Baugenossenschaften eG .....	29
<b>4 Methodik zur Erhebung von Verbrauchsdaten und Baseline-Bildung der Anlagen</b> <b>30</b>	
4.1 Erhebung von Verbrauchsdaten der Anlagen.....	30
4.1.1 Erhebung des Gesamtenergieverbrauchs .....	30
4.1.2 Beispielberechnung des Gesamtenergiebedarfs einer Anlage .....	31
4.2 Baseline-Bestimmung .....	32
<b>5 Ursachenanalyse der Anlagen mit Mehrenergieverbräuchen</b> .....	<b>33</b>
5.1 Bauverein der Elbgemeinden eG.....	34
5.2 Hamburger Lehrerbaugenossenschaften eG.....	37
5.3 Vereinigte Baugenossenschaften Lübeck eG.....	44
5.4 Neue Lübecker Norddeutsche Baugenossenschaft eG .....	46
<b>6 Darstellung der Anlagen mit eingesparter und mehr verbrauchter Energie</b> .....	<b>47</b>
6.1 Bauverein der Elbgemeinden eG.....	47
6.2 Hamburger Lehrerbaugenossenschaften eG.....	50
6.3 Vereinigte Baugenossenschaften Lübeck eG.....	52
6.4 Neue Lübecker Norddeutsche Baugenossenschaft eG .....	54

<b>7 Zusammenfassung.....</b>	<b>56</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>58</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>A</b>

## Symbolverzeichnis

Symbolart	Einheit	Bezeichnung
$CH_4$	1	Methan
$O_2$	1	Sauerstoff
$H_2O$	1	Wasser
$Q_{\text{jahr}_w}$	$kWh$	Jährlicher Trinkwarmwasser Energiebedarf
$V_{\text{jahr}}$	$m^3$	Jährliches Warmwasservolumen
$V_{\text{pers}}$	1	Warmwasserbedarf pro Person
$\rho_w$	$kg/m^3$	Dichte Wasser
$c_p$	$J/kg.K$	Spezifische Wärmekapazität
$T_1$	$^{\circ}C$	Kaltwasser Eintrittstemperatur
$T_2$	$^{\circ}C$	Warmwasser Austrittstemperatur
$n_{\text{pers}}$	1	Anzahl Personen
$KF$	1	Korrekturfaktor
$Q_{\text{ges}_{\text{bereinigt}}}$	$kWh$	Gesamtenergiebedarf bereinigt
$Q_{\text{Heizung}}$	$kWh$	Wärmebedarf Heizung
$A_{\text{Gebäude}}$	$m^2$	Fläche Wohngebäude
$WE$	1	Wohnungseinheit
$A_{WE}$	$m^2$	Fläche einer Wohneinheit

## Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
WE	Wärmeerzeuger
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V
BDH	Bundesverband für Effizienz und erneuerbare Energien
ZIV	Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerk- Zentralinnungsverbands
Bzw.	Beziehungsweise
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
EZN	Energiezentrale Nord
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
VDMA	Verein Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
WT	Wärmetauscher
BHKW	Blockheizkraftwerk
VL	Vorlauf
RL	Rücklauf
KW	Kaltwasser
OA	Optimierte Anlage
NA	Nicht optimierte Anlage
Visio	Visualisierungssoftware der EZN
EnEV	Energieeinsparverordnung
WWB	Warmwasserbereitung

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1. Anlagen des Bauvereins der Elbgemeinden eG.....	27
Tabelle 2. Anlagen der Hamburger Lehrerbaugenossenschaften eG .....	28
Tabelle 3. Anlagen der Vereinigten Baugenossenschaften Lübeck eG.....	28
Tabelle 4. Anlagen der Neue Lübecker Norddeutsche Baugenossenschaften eG .....	29
Tabelle 5. Wohnflächebedarf pro Person.....	31

# Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1.</b> Aufnahme einer Anlage in die Messung .....	11
<b>Abbildung 2.</b> Schematischer Aufbau eines Brennwertgerätes .....	15
<b>Abbildung 3.</b> Schematische Darstellung eines Plattenwärmetauschers .....	16
<b>Abbildung 4.</b> Darstellung der ersten Betriebsphase einer hydraulischen Weiche .....	17
<b>Abbildung 5.</b> Darstellung der zweiten Betriebsphase einer hydraulischen Weiche .....	18
<b>Abbildung 6.</b> Darstellung der dritten Betriebsphase einer hydraulischen Weiche .....	19
<b>Abbildung 7.</b> Hydraulik einer Drosselschaltung .....	20
<b>Abbildung 8.</b> Hydraulik der Beimischschaltung .....	21
<b>Abbildung 9.</b> Hydraulik der Einspritzschaltung .....	21
<b>Abbildung 10.</b> Das Speicherladesystem.....	22
<b>Abbildung 11.</b> Der erste Betriebszustand des Speicherladesystems.....	22
<b>Abbildung 12.</b> Der zweite Betriebszustand des Speicherladesystems .....	23
<b>Abbildung 13.</b> Der dritte Betriebszustand des Speicherladesystems.....	23
<b>Abbildung 14.</b> Die Frischwasserstation .....	24
<b>Abbildung 15.</b> Der Ladebetrieb einer Frischwasserstation .....	24
<b>Abbildung 16.</b> Der Teillastbetrieb einer Frischwasserstation .....	25
<b>Abbildung 17.</b> Der Spitzenlastbetrieb einer Frischwasserstation .....	25
<b>Abbildung 18.</b> Trinkwarmwasserspeicher mit Rohrwendelspeicher.....	26
<b>Abbildung 19.</b> Taktverhalten von Kessel 1 in der Randowstraße .....	34
<b>Abbildung 20.</b> Zu hohe Rücklauftemperatur von Kessel 2 in der Randowstraße .....	35
<b>Abbildung 21.</b> Zu hohe Rücklauftemperatur von Kessel 3 in der Randowstraße .....	36
<b>Abbildung 22.</b> Keine Kesselfolgeschaltung in Ortleppweg 4.....	37
<b>Abbildung 23.</b> Taktverhalten der Kesseln in Tierparkallee 36-40 .....	38
<b>Abbildung 24.</b> Warmwasserbereitung im Legionellenbereich in der Tierparkallee 36-40 ....	38
<b>Abbildung 25.</b> Taktverhalten des Kessels in der Breitenfelder Straße 74 .....	39
<b>Abbildung 26.</b> Verbrühungsgefahr in der Breitenfelder Straße 74 .....	40
<b>Abbildung 27.</b> Verhalten des Heizkreises in der Breitenfelder Straße 74 .....	41
<b>Abbildung 28.</b> Taktverhalten von Kessel 2 in der Oktaviostr. 110-120 .....	41
<b>Abbildung 29.</b> Defekter Kessel in der Oktaviostr. 110-120 .....	42
<b>Abbildung 30.</b> Taktverhalten von Kessel 2 in der Oktaviostr.110-120 .....	42
<b>Abbildung 31.</b> Taktverhalten bei tiefen Temperaturen in der Oktaviostr.110-120 .....	43
<b>Abbildung 32.</b> Dauerlauf der Kesselpumpe in der Hövelnstraße 30 .....	44
<b>Abbildung 33.</b> Abschaltung der Kesselpumpe in der Hövelnstraße 30 .....	45
<b>Abbildung 34.</b> Optimierung in der Hövelnstraße 30.....	46
<b>Abbildung 35.</b> Absolute Einsparungen und Energiemehrverbräuche .....	47

<b>Abbildung 36.</b> Tatsächlicher Absoluter Gesamtenergieverbrauch und Einsparung .....	48
<b>Abbildung 37.</b> Tatsächlicher CO <sub>2</sub> Ausstoß und Einsparung .....	49
<b>Abbildung 38.</b> Absolute Einsparungen und Energiemehrverbräuche .....	50
<b>Abbildung 39.</b> Tatsächlicher Absoluter Gesamtenergieverbrauch und Einsparung .....	51
<b>Abbildung 40.</b> Tatsächlicher CO <sub>2</sub> Ausstoß und Einsparung .....	51
<b>Abbildung 41.</b> Absolute Einsparungen und Energiemehrverbräuche .....	52
<b>Abbildung 42.</b> Tatsächlicher Absoluter Gesamtenergieverbrauch und Einsparung .....	53
<b>Abbildung 43.</b> Tatsächlicher CO <sub>2</sub> Ausstoß und Einsparung .....	53
<b>Abbildung 44.</b> Absolute Einsparungen und Energiemehrverbräuche .....	54
<b>Abbildung 45.</b> Tatsächlicher Absoluter Gesamtenergieverbrauch und Einsparung .....	55
<b>Abbildung 46.</b> Tatsächlicher CO <sub>2</sub> Ausstoß und Einsparung .....	55

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation für das Thema

Im Rahmen der Klimadiskussionen in Deutschland rückt der Heizungsmarkt immer wieder in den Fokus der Politik, er stellt für Unternehmen sowie für die Industrie ein Marktsegment dar. Durch neue Technologien der Wärmeerzeuger (WE) und neue Methoden, um Abgase besser wieder nutzbar zu machen, nimmt die Entwicklung der Investitionen von Verbrauchern zu, da es für viele eine Selbstverständlichkeit ist, für den eigenen Komfort in neue Heizungsanlagen zu investieren. Laut dem Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW) wird ungefähr die Hälfte der Wohnungen in Deutschland mit Erdgas beheizt, ein Viertel mit Heizöl. Weiterhin wird jede siebte Wohnung mit Fernwärme und nur sehr wenige werden mit Strom und Biomasse versorgt. Einem Bericht des Bundesverbands für Effizienz und erneuerbare Energien (BDH) und des Bundesverbands des Schornsteinfegerhandwerk-Zentralinnungsverbands (ZIV) zufolge zählen zum Bestand in Deutschland ungefähr 21,2 Mio. Wärmeerzeuger, die den Gebäudesektor mit Wärme und Warmwasser beliefern [6].

Der Energieaufwand, der für Haushalte genutzt wird, macht 30 % des deutschen Gesamtenergieverbrauchs aus. Davon werden 75 % zum Heizen der Wohnräume genutzt und 12 % für die Aufbereitung von Trinkwarmwasser. Elektrogeräte und Beleuchtung haben einen Anteil von 13 % [3]. Weltweit gehört Deutschland zu den Ländern, die die meiste Energie verbrauchen. Dies soll in den nächsten Jahren verbessert werden.

Um die globale Erwärmung auf 2°C bzw. neuerdings auf 1,5°C zu begrenzen und die damit verbundenen gefährlichen Folgen für die menschliche Gesellschaft und die natürlichen Ökosysteme abwenden zu können, haben sich diese Ziele zu eigen gemacht. Bereits im Jahr 1990 beschloss die Bundesregierung, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2020 gegenüber dem Jahr 1990 um 40 % und bis 2050 um 95 % einzusparen. Im Jahr 2020 wurde dieses Ziel bereits erreicht, da 41 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber dem Jahr 1990 reduziert wurden [18].

Zur Optimierung von Heizungsanlagen durch die Energiezentrale Nord (EZN) wird anhand dieser Arbeit aufgezeigt, dass die Betreuung und die Überwachung von Heizungsanlagen zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen führen.

## 1.2 Unternehmensbeschreibung

Die Energiezentrale Nord (EZN) ist ein mittelständisches Unternehmen im Bereich Energiemanagement und verfügt über jahrelange Erfahrung im Bereich Messtechnik, Digitalisierung, Visualisierung, Bewertung und Optimierung von Wärmeerzeugungs- und Verteilungsanlagen. Sie arbeitet eng mit den Betreibern oder Wartungsunternehmen zusammen und entwickelt auf Grundlage der Temperatur- und Verbrauchsdatenanalyse geeignete Optimierungsmaßnahmen.



**Abbildung 1.** Aufnahme einer Anlage in die Messung

## 1.3 Projektbeschreibung

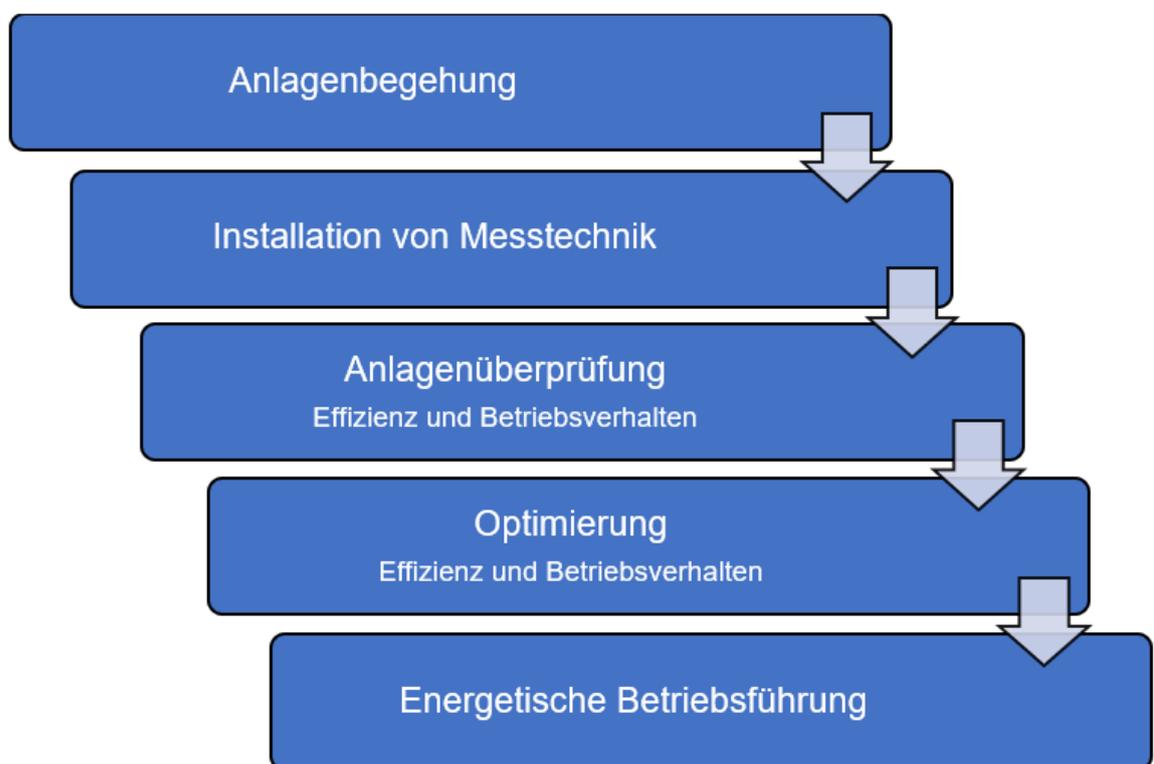
Das Einsparzähler-Projekt ist ein von dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördertes Projekt. In das Projekt wurden Heizungsanlagen aufgenommen, die optimiert wurden. Ziel der Optimierung ist es, die Energieverbräuche sowie den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu senken. Von der Begehung über die Optimierung bis zur kontinuierlichen energetischen Betriebsführung durchlaufen die Anlagen fünf Phasen.

In der ersten Phase geht es grundsätzlich um die Begehung der Anlage und die Aufnahme der in der Heizungsanlage enthaltenen Komponenten sowie um die Daten des Gebäudes, unter dem die Heizungsanlage untergebracht ist. Danach wird ein Hydraulikschema angefordert oder durch einen eigenen Technischen Zeichner erstellt, um die Anlage besser visualisieren zu können.

Nach der Entscheidung über die Aufnahme der Anlage in das Projekt wird in der zweiten Phase dem Kunden ein Angebot über die Installation der notwendigen Messtechnik zur Datenerfassung erstellt. Anschließend erfolgt der Aufbau der Mess- und Zugriffstechnik. Zur Überprüfung der Korrektheit der Temperaturverläufe prüft der Installateur direkt beim Einbau der Messhardware vor Ort, ob die angebrachten Fühler die tatsächlichen Daten richtig erfassen.

In der dritten Phase werden die durch die Messhardware der Messtechnik in der zweiten Phase erfassten Daten bzw. Temperaturverläufe und Volumenströme ausgewertet. Die vierte Phase basiert auf der dritten Phase; die Maßnahmen zur Optimierung werden ermittelt und festgelegt und dem Auftraggeber sowie dem von ihm gewählten Wartungsunternehmen vorgelegt. Bei einer aktiven Betreuung organisiert und koordiniert die EZN den Betrieb bis zur Umsetzung der Maßnahmen, bei der passiven Betreuung organisiert der Anlagenbetreiber den Betrieb eigenständig.

Die fünfte Phase besteht aus einer weitgehend energetischen Betriebsführung mit einem kontinuierlichen Energie-Monitoring. In dieser Phase wird das Verhalten der Anlage kontinuierlich aufgezeichnet, sodass beim Auftreten von Fehlfunktionen sofort eingegriffen werden kann.



**Abbildung 2.** Die fünf Phasen bis zur energetischen Einsparung

## 1.4 Einblick in das VDMA-Einheitsblatt 24199

Das VDMA-Einheitsblatt 24199 basiert auf Anlagen mit Wasser als Wärmeträgermedium und gibt vor, was für die Planung und Ausführung der Hydraulik einer Heizungs-, Kälte-, Trinkwarmwasser- und raumluftechnischen Anlage notwendig ist, um die Sicherheit im Betrieb zu gewährleisten [14].

In dieser Arbeit werden die Anlagen nach dem VDMA-Einheitsblatt 24199 geclustert. Die Clusterung ist wie folgt:

- Einerzeugeranlage
- Mehrerzeugeranlage
- Warmwasserbereitungsanlage
  - Speicherladesystem
  - Frischwasserstation
  - Heizwendelspeicher
- Heizkreise
  - Gemischter Heizkreis
  - Ungemischter Heizkreis

Das VDMA-Einheitsblatt soll bei der Clusterung einen Überblick darüber geben, bei welcher der Erzeugerkombinationen Energie eingespart oder mehr verbraucht wurde.

## 2 Grundlagen der erfassten Anlagen

Die ausgewählten Komponenten, die in dieser Arbeit beschrieben werden, sind diejenigen, die die häufigsten Fehler im System verursachen und zu einem erhöhten Energieverbrauch führen. Die EZN bezieht sich bei der Auswertung der Anlagen auf diese Komponenten, um Fehler zu detektieren. Es können nicht alle Komponenten jeder Anlage beschrieben werden, da dies viel zu umfangreich wäre. Die beschriebenen Komponenten sollen dem Leser helfen, einen kurzen Überblick über den Heizungsbau zu erhalten und die Zusammenhänge zu erfassen. Diese Grundlagen werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit benötigt, um die Fehleranalysen zu verstehen. Die erläuterten Wärmeerzeuger sind häufig verwendete Wärmeerzeuger, unter ihnen sind einige, die mehr Energie verbrauchen als sie müssen.

## 2.1 Wärmeerzeuger

### Gasbrennwertkessel

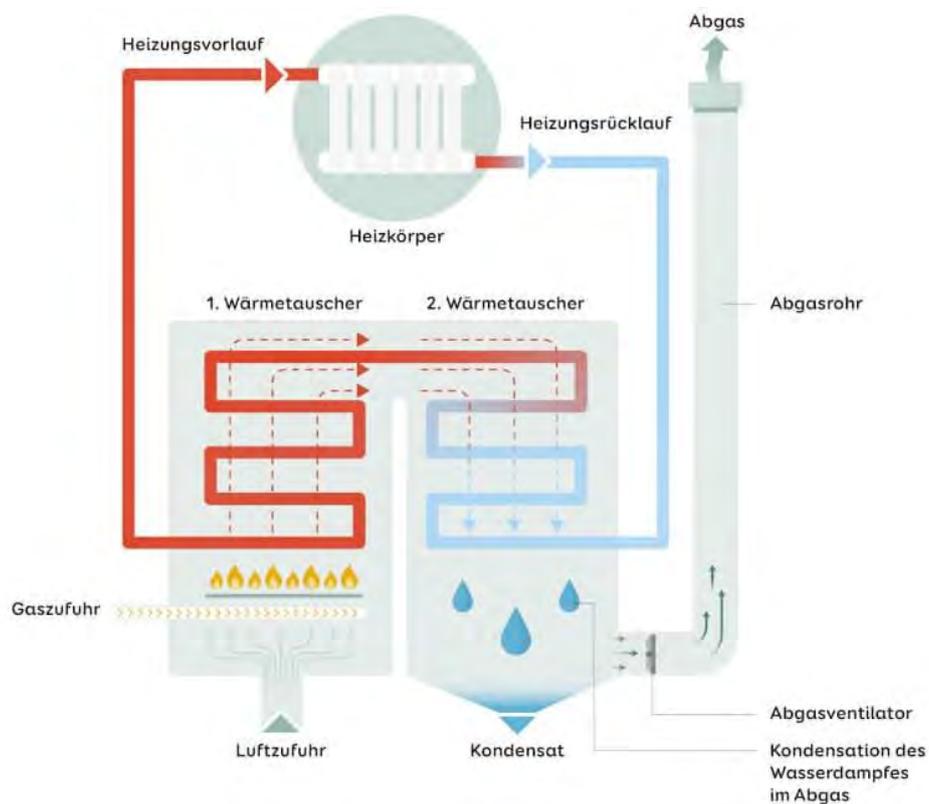
Die Brennwerttechnik ist eine der auf dem Markt beliebtesten Methoden zur Wärmerückgewinnung. Bei vollständiger Verbrennung eines Brennstoffes wird die Wärmemenge  $Q$  [kWh] freigesetzt. Sie umfasst zunächst nicht die latente Wärme aus den Abgasen: Es handelt sich um den sogenannten Heizwert  $H_i$ , der mit einem Thermometer messbar ist. Die aus den Abgasen im Wasserdampf versteckte Wärme wird als latente Wärme bezeichnet. Die Summe aus dem Heizwert und der latenten Wärme (aus den Abgasen) ist die Gesamtwärme, die durch die Brennwerttechnik bei der Verbrennung von Brennstoffen erzielt und als Brennwert bezeichnet wird [17].

Beim Verbrennen von Erdgas wird Wasser erwärmt, dabei entstehen Abgase. Das erwärmte Wasser strömt durch die Heizkreise im Gebäude und gibt seine Wärme über die Heizkörper ab. Durch die Abgabe der Wärme kühlt sich das Rücklaufwasser auf eine niedrigere Temperatur (im optimalen Fall unter  $55^\circ\text{C}$ ) ab und fließt zurück in den Kessel. Im Kessel befindet sich ein Wärmetauscher, der vom Rücklaufwasser durchströmt wird. Die durch die Verbrennung entstehenden heißen Abgase werden mit dem Rücklaufwasser im Wärmetauscher (WT) bis unter ihren Abgastaupunkt abgekühlt. In den Abgasen ist Wasserdampf enthalten, der aufgrund der tiefen Rücklaufwassertemperatur kondensiert. Somit entsteht ein Energiesprung (bis zur 10% Energiegewinnung), wodurch Wärme freigesetzt wird (latente Wärme). Das Rücklaufwasser wird mit der gewonnenen Wärme im Wärmetauscher (WT) vorerwärmt.

Für den Brennwerteffekt ist es notwendig, die Rücklauftemperatur auf einen Wert unter  $55^\circ\text{C}$  zu bringen. Die Abgase können so besser heruntergekühlt werden, damit der Wasserdampf in den Abgasen besser kondensiert, um die maximale Kondensationswärme abzugeben. Die Entstehung von Wasserdampf in den Abgasen bei der Gasverbrennung lässt sich folgendermaßen erklären: Durch die Zugabe von Luft zum Erdgas verbindet sich bei der Verbrennung die in der Luft enthaltene Sauerstoffmenge mit den brennbaren Bestandteilen des Gases. Der Anteil von Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) in der Luft beträgt 21 % [15]. Fossile Brennstoffe enthalten dagegen Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) und lösen bei einer chemischen Reaktion Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) aus. Da die Flammentemperatur bei diesem Verbrennungsvorgang relativ hoch ist (zwischen  $1.750^\circ\text{C}$  und  $1.950^\circ\text{C}$ ), tritt das Wasser aus der chemischen Reaktion in Form von Wasserdampf aus. In der folgenden Reaktionsgleichung ist das Beispiel einer Verbrennung von Methan ( $\text{CH}_4$ ) mit Sauerstoff zum besseren Verständnis abgebildet [15].



Im Vergleich zu herkömmlichen Kesseln mit Abgaswärmetauschern ermöglicht der Brennwerteffekt, die hohe Abgastemperatur von 160°C bis 180°C wieder nutzbar zu machen, sodass die Abgase auf ein Temperaturniveau von nur noch 45°C abgekühlt und anschließend durch den Schornstein abgeführt werden. Bei alten Kesseln wird dagegen ein Teil der produzierten Wärme über die Verbrennungsabgase ungenutzt über den Schornstein an die Atmosphäre abgegeben. Diese Abgase enthalten noch zwischen 20 und 25 % der erzeugten Wärmemenge, die unnötigerweise an die Umgebung verloren gehen, anstatt wieder verwendet zu werden [16]. Betriebswirtschaftlich und volkswirtschaftlich betrachtet können durch die Brennwertnutzung die Brennstoffmenge verbunden mit den Brennstoffkosten sowie die Schadstoffmenge um bis zu 10 % minimiert werden [ 5, S.3]



**Abbildung 2.** Schematischer Aufbau eines Brennwertgerätes [9]

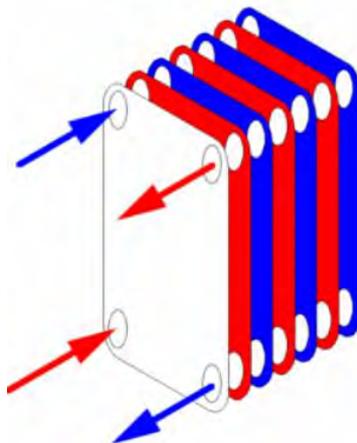
## BHKW

Das Blockheizkraftwerk (BHKW) ist eine modular aufgebaute Anlage, die neben der elektrischen Energie auch thermische Wärme erzeugt. Beim Verbrennen von fossilen Brennstoffen kann nur ein Drittel der erzeugten Brennstoffenergie in mechanische Energie umgewandelt werden, die durch einen Elektromotor wiederum in elektrische Energie umgewandelt wird. Die Abwärme, die bei der Stromerzeugung, wird in das Heizsystem zum Heizen von Gebäuden und zur Versorgung von Warmwasseranlagen eingespeist [4, S.730].

## 2.2 Wärmeverteilung

### Wärmetauscher

Ein Wärmetauscher trennt ein System in eine Primär- und eine Sekundärseite. Der Wärmetauscher wird von zwei oder mehreren Medien mit unterschiedlichen Temperaturen durchströmt, wobei das Medium mit der höheren Temperatur seine Wärme auf das kältere Medium überträgt. Zwischen beiden Medien befindet sich eine Trennwand, die Wärme wird somit indirekt übertragen. Für die Wirksamkeit der Wärmeübertragung ist die geometrische Führung der Stoffströme im Wärmetauscher wichtig. Die Fluide können entweder im Parallelstrom oder im Gegenstrom geführt werden. Beim Parallelstrom fließen beide Medien mit unterschiedlichen Temperaturen in die gleiche Richtung entlang der Trennwand, beim Gegenstrom fließen sie in entgegengesetzten Richtungen. Der Gegenstrom ist vorteilhafter, da durch ihn mehr Wärme übertragen wird als beim Parallelstrom [4, S.135-137]



**Abbildung 3.** Schematische Darstellung eines Plattenwärmetauschers [10]

In Abbildung 3 ist ein Plattenwärmetauscher dargestellt, der oft aufgrund seines hohen thermischen Wirkungsgrades verbaut wird. Die Platten haben einen Abstand von 5 bis 15 mm und bilden gemeinsam eine Kanalplatte, deren Wellung eine turbulente Dünnschichtströmung mit sehr hohen Wärmeübergangszahlen erzeugt. Jede der in dieser Arbeit betrachteten Anlagen enthält einen Wärmetauscher zur Wärmeübertragung [4, S.135-137]

### Hydraulische Weiche

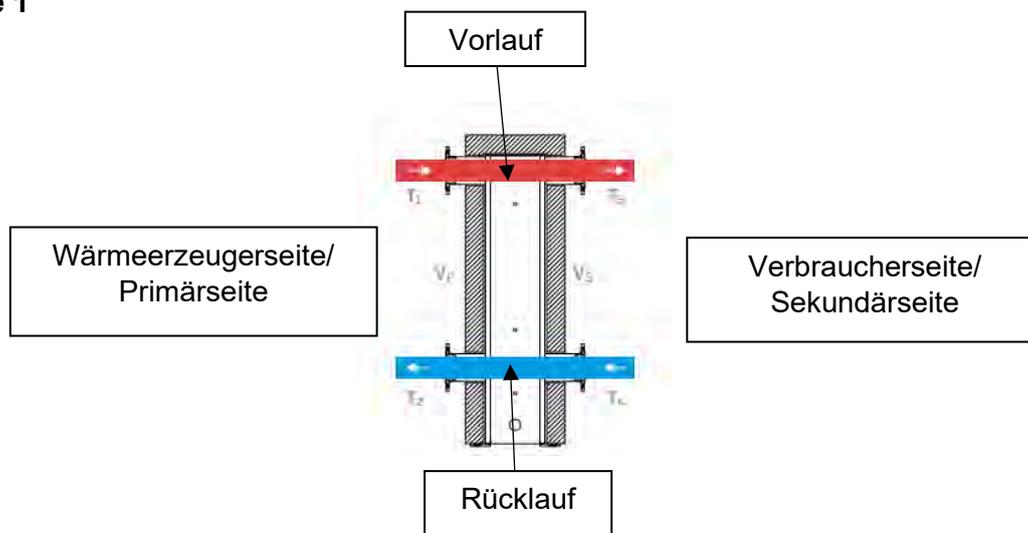
Eine hydraulische Weiche ist in der Regel ein dimensionierter Behälter mit einem größeren Durchmesser als der des Wärmeverteilers, sie wird zwischen dem Wärmeerzeuger und dem Verbraucherkreis eingebaut. Eine Weiche kommt zum Einsatz, wenn sich die Volumenströme

der Erzeugerseite und der Verbraucherseite unterscheiden. Durch den Einbau einer Weiche wird das System hydraulisch voneinander entkoppelt, dies dient zur Temperaturregelung auf der Verbraucherseite. Da die Dichte temperaturabhängig ist und warmes Wasser eine geringere Dichte hat als kaltes, verbleibt das Vorlaufwasser oben in der Weiche. Das Rücklaufwasser befindet sich dagegen aufgrund seiner Dichte unten in der Weiche. Außerdem wird zwischen Primärseite (Wärmeerzeugerseite) und Sekundärseite (Verbraucherseite) bei einer Weiche unterschieden. Die hydraulische Weiche ist sinnvoll zu dimensionieren, um Fehlfunktionen im System zu vermeiden [7, S.362-363].

Die Entkopplung von Primär- und Sekundärkreisläufen sollte genau mittig in der Weiche im sogenannten Anlagen-Nullpunkt erfolgen. Bei Volllastbetrieb darf es in der Weiche nicht zur Vermischung von Temperaturen kommen. In der Weiche wird eine mittlere Fließgeschwindigkeit von max. 0,2 m/s angestrebt, damit die Strömung laminar ist und vernachlässigbar niedrige Druckverluste entstehen [11].

Die hydraulische Weiche wird in drei Betriebsphasen charakterisiert:

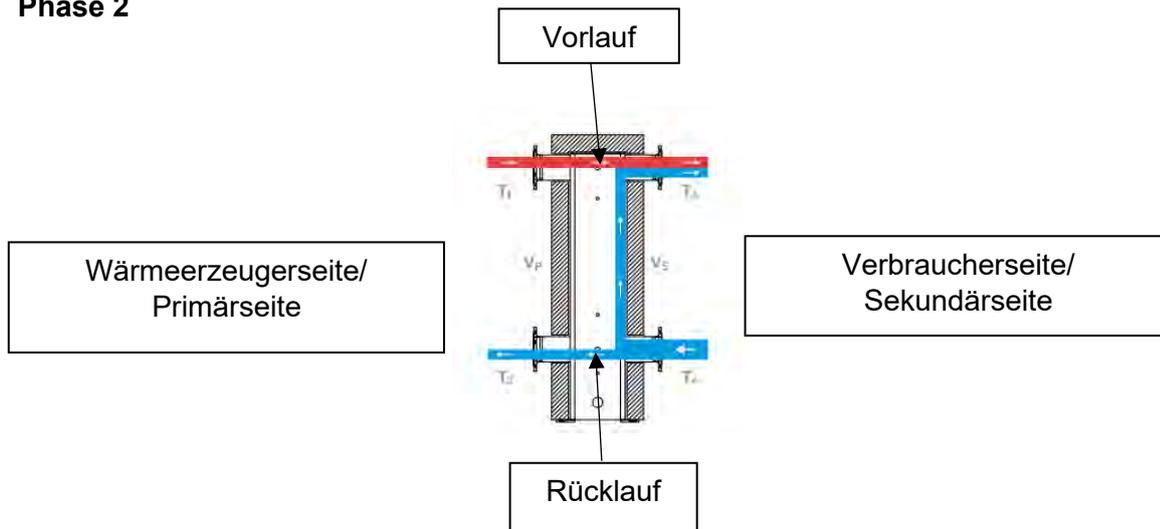
#### Phase 1



**Abbildung 4.** Darstellung der ersten Betriebsphase einer hydraulischen Weiche [11]

Der Verbrauchervolumenstrom entspricht dem Wärmeerzeugervolumenstrom. Die Temperaturen ( $T$ ) sowie die Wärmemengen ( $Q$ ) der Primärseite sind die gleichen wie auf der Sekundärseite. Die hydraulische Weiche befindet sich in diesem Fall in einer neutralen Phase [11].

## Phase 2

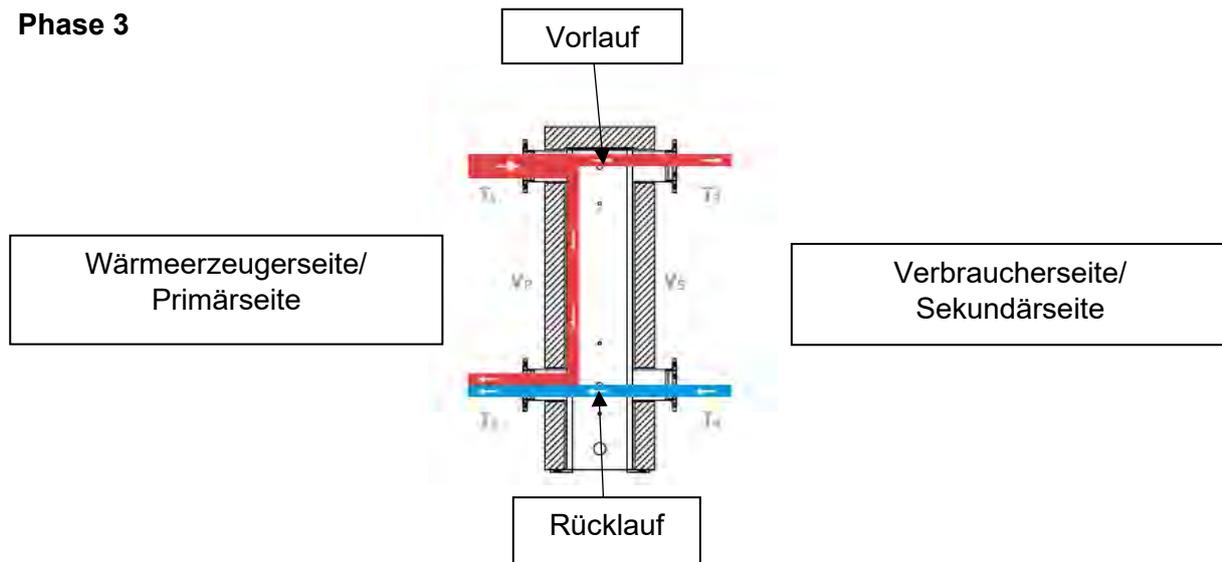


**Abbildung 5.** Darstellung der zweiten Betriebsphase einer hydraulischen Weiche [11]

Der Volumenstrom der Verbraucherseite (Sekundärseite  $V_s$ ) ist größer als der Volumenstrom der Wärmeerzeugerseite (Primärseite  $V_p$ ). Dies ist meist in den morgendlichen Stunden der Fall, wenn der Bedarf an Warmwasser hoch ist und der Wärmeerzeuger nach einer Nachtabsenkung hochgefahren wird [7, S.362-363]. Auch bei modernen Kesseln mit geringem Wasserumlaufvolumenstrom tritt diese Phase häufig auf. Die hydraulische Weiche sorgt daher für einen Ausgleich. Ein Teil des Verbraucherrücklaufwassers strömt in den Verbrauchervorlauf. Als Folge dieser Betriebsphase können folgende Merkmale auftreten [7, S.362-363]:

- Der Volumenstrom der Primärseite ist kleiner als der der Sekundärseite.
- Die Primärvorlauftemperatur ist aufgrund der Durchmischung größer als die Sekundärvorlauftemperatur.
- Die Rücklauftemperaturen der Primär- sowie der Sekundärseite bleiben identisch.
- Die Wärmemenge  $Q$  der Primärseite ist größer als die der Sekundärseite.

### Phase 3



**Abbildung 6.** Darstellung der dritten Betriebsphase einer hydraulischen Weiche [11]

Die wärmeerzeugerseitigen Volumenströme sind deutlich größer als die Volumenströme auf der Verbraucherseite. Ein Teil des Wärmeerzeugervolumenstroms strömt in den Wärmeerzeugerrücklauf. Der Grund dafür sind unregulierte Kesselkreispumpen, die mehr Wasser in den Kessel fördern als erwünscht [7, S.362-363]. Für die Brennwertechnik ist diese Phase ungeeignet, da die Temperatur des Rücklaufs gering gehalten werden sollte, um die Abgase besser herunterkühlen zu können

Folgende Merkmale beschreiben die dritte Phase [7, S.362-363].:

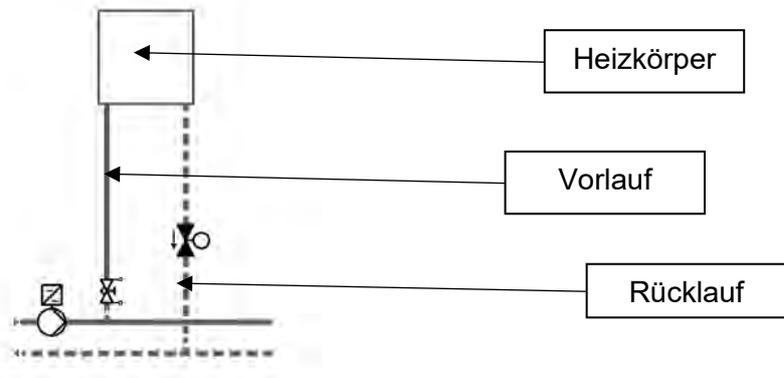
- Der primärseitige Volumenstrom ist größer als der sekundärseitige.
- Die Vorlauftemperaturen bleiben hier jedoch identisch.
- Im Rücklauf unterscheiden sich die Volumenströme sowie die Temperaturen voneinander: Die primärseitige Temperatur sowie der primärseitige Volumenstrom sind größer als auf der Sekundärseite.

## 2.3 Heizkreise

### Ungemischter Heizkreis

Ein ungemischter Heizkreis ist ein Kreislauf, in dem das Heizungswasser vom Wärmeerzeuger zum Heizkörper und zurückfließt. Dabei vermischt sich der Vorlauf nicht mit dem Rücklauf. Ein Beispiel für den ungemischten Heizkreis ist die Drosselschaltung. Zur Leistungsanpassung wird der **Volumenstrom** über den Verbraucher **verändert** [13, S.825]. Bei der Drosselschaltung können mehrere Stellglieder angebracht werden, jedoch wird nur eine

Pumpe eingebaut deren Anordnung sehr entscheidend ist. Dabei ist der Volumenstrom in der ganzen Anlage variabel [13, S.825].

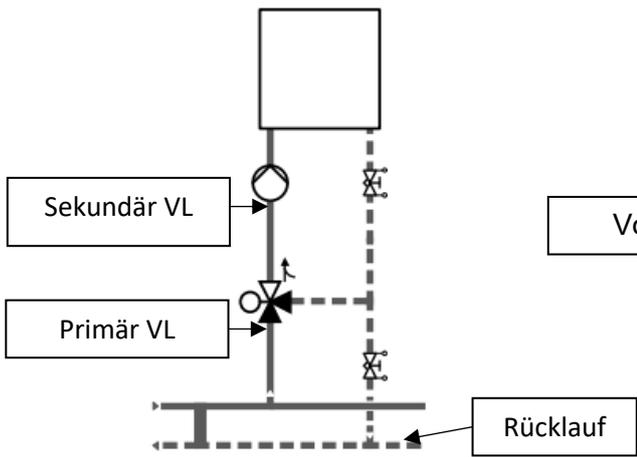


**Abbildung 7.** Hydraulik einer Drosselschaltung [ 1, S. 11]

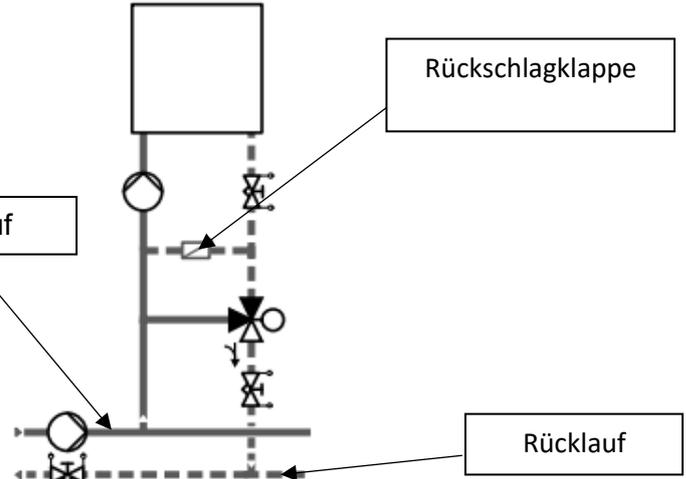
### **Gemischter Heizkreis**

Im gemischten Heizkreis vermischt sich der Vorlauf mit dem Rücklauf über einen Bypass. Zum gemischten Heizkreis gehören die Beimischschaltung und die Einspritzschaltung. Die Beimischschaltung wird zur Leistungsanpassung mit einem Dreiwegeventil verbaut, das das System in primär und sekundär trennt [1, S.10-16]. Das Rücklaufwasser aus dem Heizkreis vermischt sich mit dem Vorlaufwasser aus dem Wärmezeuger. Die Temperatur lässt sich dadurch variieren, allerdings bleibt der **Volumenstrom** im Verbraucherkreis **konstant** und im Erzeugerkreis variabel. Die Einspritzschaltung funktioniert ähnlich wie die Beimischschaltung. Die Einspritzung erfolgt über die Rückschlagklappe in den VL des Verbraucherkreises [1, S.14-16].

In dieser Arbeit bestehen die Anlagen überwiegend aus einem gemischten Heizkreis.



**Abbildung 8.** Hydraulik der Beimischschaltung [1, S.11]



**Abbildung 9.** Hydraulik der Einspritzschaltung [1, S.11]

## 2.4 Trinkwarmwasserbereitung

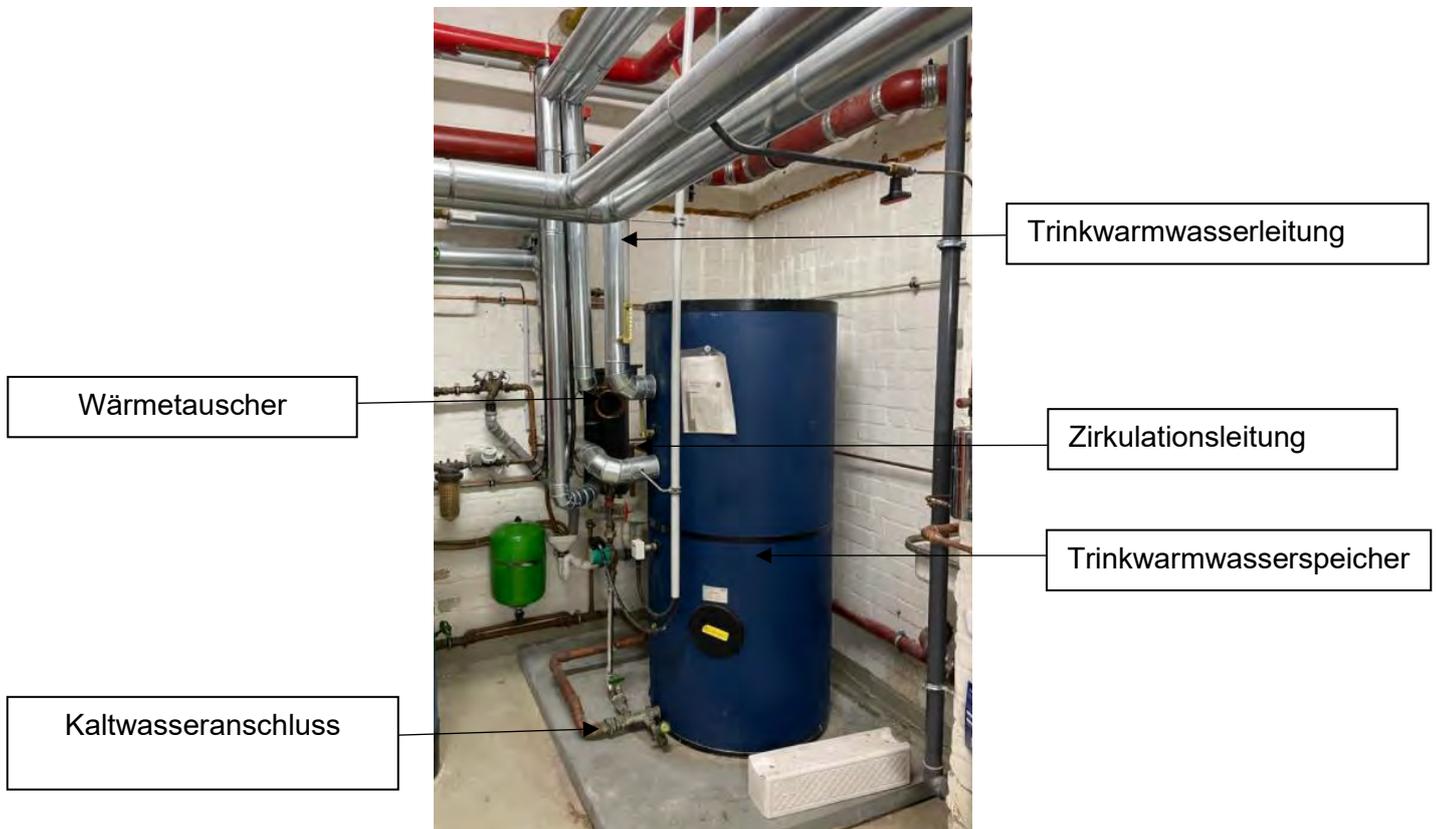
In diesem Unterkapitel werden die unterschiedlichen Arten zur Warmwasserbereitung der erfassten Anlagen erläutert. Der komplexe Betrieb in den Warmwasseranlagen ruft vermehrt Fehler hervor, die zu erheblichen Problemen und nicht erforderlichen Verbräuchen führen. Die meisten betrachteten Anlagen sind mit dem Speicherladesystem ausgestattet.

### Speicherladesystem

Das Speicherladesystem ist ein zentrales System, das meist in großen Gebäuden mit hohem Verbrauch zum Einsatz kommt. Außerhalb des Trinkwarmwasserspeichers, der mit einem Trinkwasserkalt-, einem Zirkulations- und einem Trinkwarmwasseranschluss verbunden ist, befindet sich ein Wärmetauscher. Dieser trennt das System in eine Primär- und eine Sekundärseite. Wenn der Bedarf an Warmwasser in einer Entnahmestelle steigt, erfolgt eine direkte Entladung aus dem Speicher durch den oberen Trinkwarmwasseranschluss. Anschließend findet zum Ausgleich die Nachladung in zeitlicher Versetzung durch einen tangentialen Kaltwasseranschluss am Boden des Speichers statt [13]. Eine Speicherladepumpe fördert die nachgeladene Menge durch den Wärmetauscher, wodurch dieses Wasser erwärmt wird und von oben in den Speicher hineinfließt [13]. Je höher die Temperatur im Speicher ist, desto höher liegt das wärmere Wasser auf dem kälteren und bildet eine Temperaturschicht.

Jede Temperaturphase bildet eine Grenzschicht von 5 cm zur nächsten aus [13]. Eine Verwirbelung ist unerwünscht und wird vermieden, indem die Auslegung der Leistung der

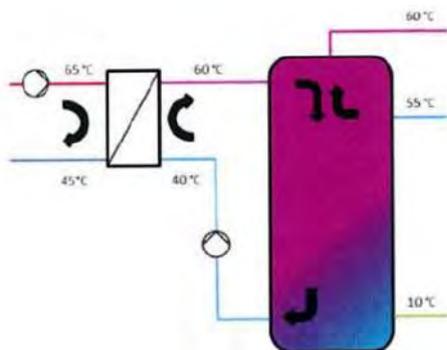
Speicherladepumpe höher liegt als jene der Zirkulationspumpe. Die Speicherladepumpe muss mehr Volumenstrom hinausfordern, als die Zirkulationspumpe hineinfördert, um eine Verwirbelung im Speicher zu vermeiden.



**Abbildung 10.** Das Speicherladesystem

Das Speicherladesystem lässt sich in drei unterschiedlichen Betriebszuständen beschreiben. Im Folgenden werden diese kurz erklärt:

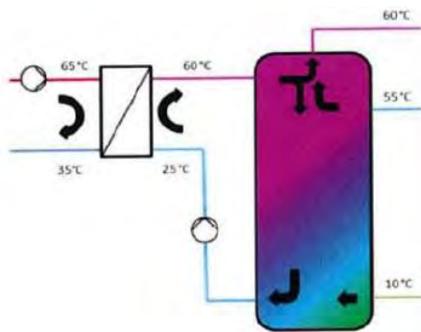
**Ladebetrieb**



Im Ladebetrieb erfolgt kein Zapfvorgang. Die Zirkulationspumpe ist allerdings in Betrieb. Über den WT wird Wärme an das kalte Trinkwasser übertragen, wodurch der Puffer geladen wird.

**Abbildung 11.** Der erste Betriebszustand des Speicherladesystems

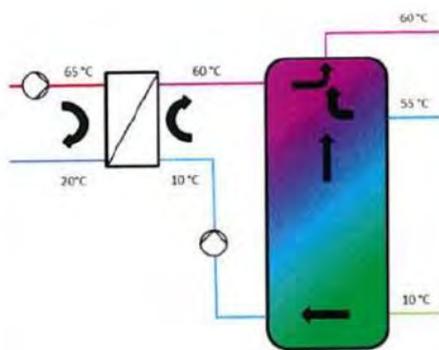
## Teillastbetrieb



Im Teillastbetrieb findet ein Zapfvorgang des Warmwassers statt. Der Speicher wird somit nur zum Teil geladen, da nicht maximal gezapft wird. Während des Zapfens erfolgt in zeitlicher Versetzung das Nachfüllen von Kaltwasser über die Kaltwasserleitung.

**Abbildung 12.** Der zweite Betriebszustand des Speicherladesystems

## Spitzenlastbetrieb



Im Spitzenlastbetrieb wird der maximal ausgelegte Volumenstrom gezapft, wobei ein Kurzschluss zwischen dem sekundären VL des WT und dem Speicher VL stattfindet. Das Wasser aus dem Speicher wird mit genutzt.

**Abbildung 13.** Der dritte Betriebszustand des Speicherladesystems

## **Frischwasserstation**

Die Frischwasserstation eignet sich zur zentralen und zur dezentralen Trinkwassererwärmung. Der Wärmeerzeuger liefert das Warmwasser in einen Heizungspufferspeicher. Dieser ist mit einem außen liegenden Plattenwärmetauscher verbunden, der das System in eine Primär- und eine Sekundärseite trennt [2]. Wird aus einer Entnahmestelle gezapft, wird die erwünschte Wärme über die Leistung einer Pumpe geregelt. Die benötigte Wassermenge wird durch einen Sensor registriert und die gemessenen Daten werden an die Pumpe geleitet. Aus dem Pufferspeicher fließt das Heizungswasser in den primären Vorlauf des Wärmetauschers, gibt seine Wärme ab und fließt wieder kalt in den Pufferspeicher zurück [2]. Von der Sekundärseite des WT fließt das kalte Trinkwasser in den Vorlauf, wo es die abgegebene Wärme aufnimmt und zur Entnahmestelle fließt.

Der Vorteil der Frischwasserstation liegt darin, dass das Speichern von großen Mengen an Trinkwarmwasser vermieden wird, was zu einer Steigerung der Trinkwasserhygiene führt.

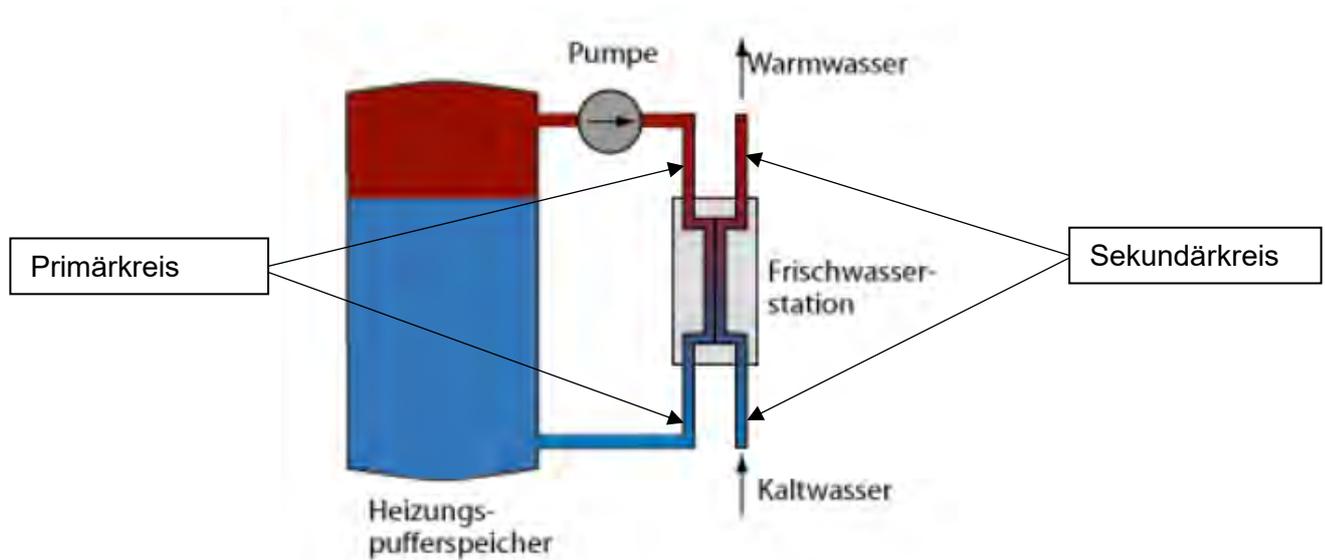
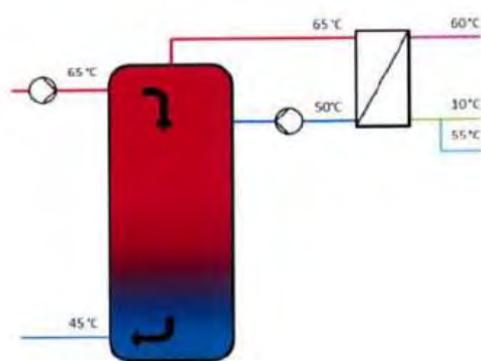


Abbildung 14. Die Frischwasserstation [12]

Im Folgenden werden die drei unterschiedlichen Betriebszustände der Frischwasserstation kurz erklärt:

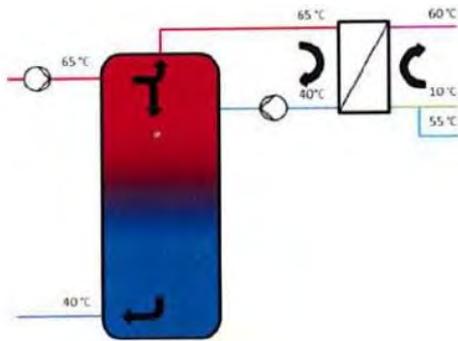
**Ladebetrieb:**



Im Ladebetrieb wird der Puffer auf die Soll-Temperatur geladen. Dabei wird von den Entnahmestellen kein Warmwasser gezapft.

Abbildung 15. Der Ladebetrieb einer Frischwasserstation

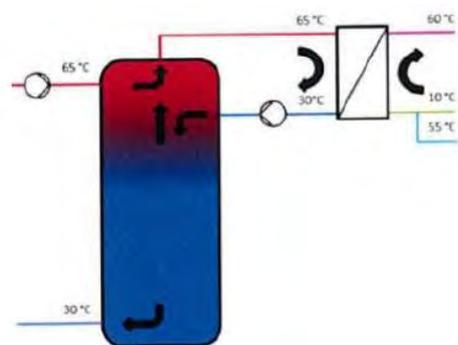
### Teillastbetrieb:



Im Teillastbetrieb wird der Puffer geladen, während Warmwasser gezapft wird. Ein Teil des Volumenstroms, der den Puffer lädt, fließt zum Primärvorlauf des WT.

**Abbildung 16.** Der Teillastbetrieb einer Frischwasserstation

### Spitzenlastbetrieb:



Im Spitzenlastbetrieb erfolgt das maximale Zapfen des ausgelegten Volumenstroms. Zwischen dem Puffer-VL und dem primären WT-VL ist ein Kurzschluss, da der Puffer nicht geladen, sondern entladen wird.

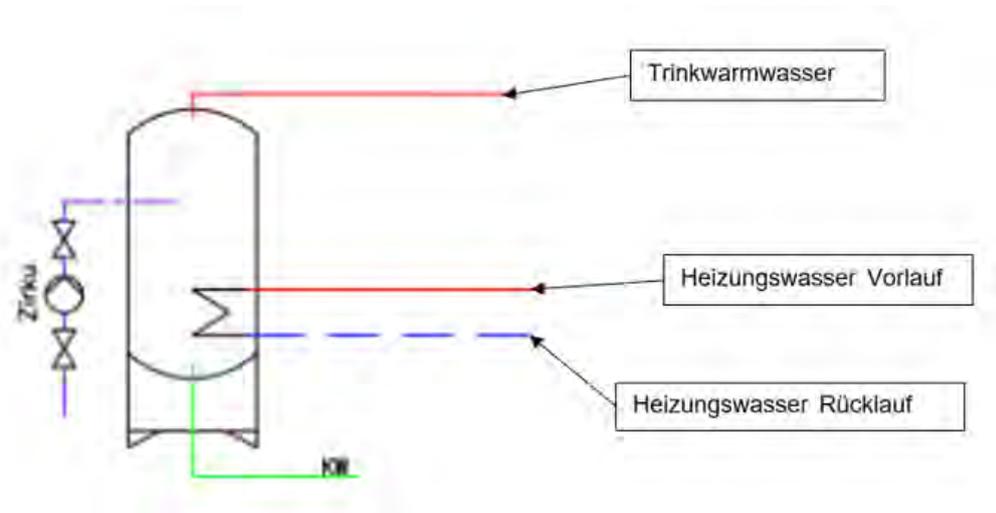
**Abbildung 17.** Der Spitzenlastbetrieb einer Frischwasserstation

### **Trinkwarmwasserspeicher mit Rohrwendelspeicher**

Das kalte Trinkwasser fließt unten in den Speicher hinein und wird vom internen Wärmetauscher erwärmt und gespeichert. Das Warmwasser soll je nach Bedarf in der entsprechenden Menge und Temperatur bereitgestellt werden [13].

Eine Pumpe fördert das heiße Heizungswasser aus dem Wärmeerzeuger durch die Heizwendel in den Speicher. Die Spiralen im Speicher geben die Wärme an das kalte Trinkwasser ab. Danach fließt das erkaltete Heizungswasser als Rücklauf zurück in den WE.

Aufgrund seiner wärmeabhängigen Dichte bildet das Wasser Temperaturschichten, die durch die unterschiedlichen Temperaturen hervorgerufen werden. Das warme Wasser steigt in den oberen Bereich des Speichers, während das kalte Wasser unten bleibt. Der Trinkwarmwasserspeicher mit Rohrwendelspeicher kommt selten bei den in dieser Arbeit betrachteten Anlagen vor.



**Abbildung 18.** Trinkwarmwasserspeicher mit Rohrwendelspeicher

### 3 Bestandsaufnahme der betrachteten Anlagen der Baugenossenschaften

Die Bestandsaufnahme der Anlagen wurde in dieser Arbeit nach dem VDMA-Einheitsblatt 24199 geclustert. Die Clusterung gibt einen Überblick darüber, in welcher Kombination die Wärmeerzeuger mit welchen Komponenten gebaut sind. Durch diese Clusterung können den Anlagen Fehlfunktionen und deren Ursachen zugeordnet werden und es kann betrachtet werden, mit welchen Maßnahmen diese behoben werden können. In dieser Arbeit werden die energiemehrverbrauchten Anlagen anhand der EZN-Berichte analysiert, die für diese Arbeit zur Verfügung gestellt wurden. Die Anlagen sind nach den Betreibern sortiert, sodass später eine Übersicht darüber gewonnen werden kann, bei welchem Betreiber welche Anlage wie viel an Energie einspart oder mehr verbraucht.

#### 3.1 Bauverein der Elbgemeinden eG

Betrachtet werden 10 Anlagen der BVE, die durch die EZN optimiert wurden. Die meisten Anlagen sind mit Mehrerzeugern ausgestattet, das Speicherladesystem ist häufig Teil davon.

**Tabelle 1.** Anlagen des Bauvereins der Elbgemeinden eG

Anlage	Einerzeuger	Mehrerzeuger	Fernwärme	Frischwasserstation	Speicherladesystem	Heizwendelspeicher	gemischter Heizkreis	ungemischter Heizkreis	Art der Wärmezeuger	Anlagezustand
Randowstr. 10		x			x			x	Asymmetrischer Gasbrennwertkessel	OA
Maienweg 99–113		x			x		x		Gasbrennwertkessel + BHKW + Niedertemperaturkessel	NA
Fibigerstr. 31–37f		x			x		x		Symmetrischer Gasbrennwertkessel	OA
Flurstr. 240	x					x	x		Gasbrennwertkessel	NA
Kuhgraben		x		keine			x		Gasbrennwertkessel + BHKW	NA
Willi-Hill-Weg 10–26	x				x		x		Gasbrennwertkessel	OA
Marommer Str.			x		x		x		Fernwärme	OA
Heidrehmen		x			x		x		BHKW + Niedertemperaturkessel + Wärmepumpe	OA
Minsbekweg 7–23		x		keine			x		Symmetrischer Gasbrennwertkessel	OA
Alsenplatz 2			x		x			x	Fernwärme	OA
Mussäustr.36		x			x		x		Symmetrischer Gasbrennwertkessel	OA
Tangstedter Landstr.		x		keine				x	Gasbrennwertkessel + Niedertemperaturkessel + BHKW	OA
Karpfangerstr.		x			x		x		Symmetrischer Gasbrennwertkessel	OA

### 3.2 Hamburger Lehrerbaugenossenschaften eG

Die Hamburger Lehrerbaugenossenschaften eG verfügen über 5 optimierte Anlagen. Auch hier bestehen die meisten Anlagen aus dem Mehrerzeuger und dem Speicherladesystem.

**Tabelle 2.** Anlagen der Hamburger Lehrerbaugenossenschaften eG

Anlage	Einerzeuger	Mehrerzeuger	Fernwärme	Frischwasserstation	Speicherladesystem	Heizwendelspeicher	gemischter Heizkreis	ungemischter Heizkreis	Art der Wärmeerzeuger	Anlagezustand
Ortleppweg 4		x		x			x		Symmetrischer Gasbrennwertkessel	OA
Tierparkallee		x			x		x		Symmetrischer Gasbrennwertkessel	OA
Breitenfelder Straße 74	x				x		x		Gasbrennwertkessel	OA
Oktaviostr. 110–120		x		keine					Asymmetrischer Gasbrennwertkessel	OA
Homannstraße 13–19		x							Asymmetrischer Niedertemperaturkessel	OA

### 3.3 Vereinigte Baugenossenschaften Lübeck eG

Die Anlagen der vereinigten Baugenossenschaften Lübeck eG bestehen alle aus Mehrerzeuger und dem Speicherladesystem.

**Tabelle 3.** Anlagen der Vereinigten Baugenossenschaften Lübeck eG

Anlage	Einerzeuger	Mehrerzeuger	Fernwärme	Frischwasserstation	Speicherladesystem	Heizwendelspeicher	gemischter Heizkreis	ungemischter Heizkreis	Art der Wärmeerzeuger	Anlagezustand
Hövelnstraße		x		x				x	Gasbrennwertkessel + BHKW	OA
Mönkhofer Weg 195		x				x	x		Gasbrennwertkessel + BHKW	OA
Mönkhofer Weg 187		x			x		x		Gasbrennwertkessel + BHKW	OA
Mönkhofer Weg 185		x			x			x	Gasbrennwertkessel + BHKW	OA

### 3.4 Neue Lübecker Norddeutsche Baugenossenschaften eG

Die Anlagen der Neuen Lübecker Norddeutschen Baugenossenschaften eG bestehen zum größten Teil aus dem Mehrerzeuger, unter dem die Verbraucherseite nur mit den gemischten Heizkreisen gebaut ist.

**Tabelle 4.** Anlagen der Neue Lübecker Norddeutsche Baugenossenschaften eG

Anlage	Einerzeuger	Mehrerzeuger	Fernwärme	Frischwasserstation	Speicherladesystem	Heizwendelspeicher	gemischter Heizkreis	ungemischter Heizkreis	Art der Wärmezeuger	Anlagezustand
Mühlenweg 46		x			x		x		Asymmetrischer Gasbrennwertkessel	NA
Frankfurter Str. 13–29		x			x		x		Symmetrischer Gasbrennwertkessel + Solaranlage	NA
Wilhelmstr. 33–41		x		x			x		Symmetrischer Gasbrennwertkessel	NA
Eilbergweg 28–30	x			x			x		Gasbrennwertkessel	NA
Alter Sportplatz 1–5	x					x	x		Gasbrennwertkessel	NA
Verbrüderungsring 7–17		x		x			x		Symmetrischer Gasbrennwertkessel	NA
Verbrüderungsring 19–31		x		x			x		Asymmetrischer Gasbrennwertkessel	NA
Am Schlüsselteich 1–3		x		x			x		Symmetrischer Gasbrennwertkessel	NA
Friedensallee 11–13		x			x		x		Asymmetrischer Gasbrennwertkessel	NA
Rathausallee 117			x		x		x		Fernwärme	NA

## 4 Methodik zur Erhebung von Verbrauchsdaten und Baseline-Bildung der Anlagen

### 4.1 Erhebung von Verbrauchsdaten der Anlagen

#### 4.1.1 Erhebung des Gesamtenergieverbrauchs

Die in dieser Arbeit verwendeten jährlichen Verbrauchsdaten wurden zum größten Teil von den Baugenossenschaften und der Visio-Plattform erhoben. Verbrauchsdaten, die nicht erfasst werden konnten bzw. nicht vorhanden sind, wurden mathematisch linear interpoliert oder extrapoliert. Bei einigen Anlagen, deren Verbrauchsdaten aus dem Jahr 2020 noch nicht zur Verfügung standen, konnte die verbrauchte Energie [kWh] durch das Erfassen der verbrauchten Gasmengen [m<sup>3</sup>] anhand des vor Ort verbauten Gaszählers mit dem Brennwertfaktor [kWh/m<sup>3</sup>] für das jeweilige Heizmedium berechnet werden.

#### Berechnung des Warmwasserverbrauchs

Bei Anlagen, die nicht mit einem Warmwasserzähler ausgestattet sind, müssen die Warmwasserverbräuche berechnet werden. Die Energie-Einsparverordnung (EnEV) gibt vor, mit einem Pauschalfaktor von 12,5 kWh/(m<sup>2</sup>a) für Wohngebäude zu rechnen. Jedoch weicht die Berechnung mit dem Pauschalwert stark von den per Zähler erfassten Warmwasserverbräuchen ab, meistens beträgt die Abweichung bis zu 75 %. Die Berechnung des Warmwasseranteils mit dem Pauschalwert entspricht nur 7 % des Gesamtenergieverbrauchs, welcher vergleichsweise zu niedrig ist. Bei den von den Zählern erfassten sowie den in dieser Arbeit berechneten Warmwasserverbräuchen liegen die Anteile an Warmwasser bei mindestens 20 % des Gesamtenergieverbrauchs.

Mit den unterschiedlichen Berechnungsmethoden, die im Verlauf dieser Arbeit durchgeführt wurden, konnte festgestellt werden, dass die Berechnung mit dem Pauschalwert dem heutigen Warmwasserverbrauch nicht mehr entspricht, was auf die steigende spezifische Wohnfläche pro Kopf zurückzuführen ist. Des Weiteren wurde zur Ermittlung des Pauschalwerts mit einem Warmwasserverbrauch von 23 Litern pro Person ausgegangen. Auch dieser Wert hat sich im Laufe der Zeit geändert und liegt in der heutigen Zeit bei ca. 45 Litern pro Person.

**Nach der DIN 18599-8 kann anhand der Formel der Warmwasseranteil berechnet werden.**

$$Q_{Jahr_w} = V_{Jahr} * \rho_w * c_p * (T_2 - T_1) \quad (4-1)$$

$$V_{Jahr} = 45 \text{ l} * n_{pers} * 365 \quad (4-2)$$

Mit Bezug auf die Wohnfläche jeder Wohnung pro Gebäude können Annahmen dazu getroffen werden, wie viele Personen in der betreffenden Wohnung leben. Zudem kann mit einem täglichen Warmwasserverbrauch von 45 Litern hochgerechnet werden, wie hoch der jährliche Bedarf ist. Anhand der Tabelle 5 konnte ermittelt werden, wie viel Personen pro Gebäude wohnen. Über diese Methode wird der Warmwasserverbrauch berechnet.

**Tabelle 5.** Wohnflächebedarf pro Person

Anzahl Personen im Haushalt	Wohnfläche	Zimmer
1 Person	50m <sup>2</sup>	1 Zimmer
2 Personen	65m <sup>2</sup>	2 Zimmer
3 Personen	80m <sup>2</sup>	3 Zimmer
Jede weitere Person	+15m <sup>2</sup>	+ ein weiteres Zimmer

### **Klimabereinigung**

Aufgrund der unterschiedlichen Witterungsbedingungen müssen die Energieverbräuche bereinigt werden, da sie zum einen Teil aus dem Heizungsverbrauch und zum anderen Teil aus dem Warmwasserverbrauch bestehen. Der Anteil des Heizungsverbrauchs ist nicht jedes Jahr konstant und ändert sich mit den Witterungsbedingungen. Je nachdem, wie warm oder kalt das Jahr ist, wird dementsprechend geheizt. Es ist somit ein variabler Verbrauch.

Der Warmwasserverbrauch hingegen ist unabhängig von den Witterungsbedingungen und wird nicht mit dem klimatischen Faktor (KF) korrigiert [19]. Die Warmwasserverbräuche sind unveränderlich und in jedem Jahr nahezu konstant.

Um die Verbrauchsdaten unterschiedlicher Jahre und Orte miteinander vergleichen zu können, werden die Heizungsverbräuche aufgrund der Witterungsbedingungen mit Korrekturfaktoren bereinigt [19]. Diese Korrekturfaktoren werden vom Deutschen Wetterdienst veröffentlicht.

#### **4.1.2 Beispielberechnung des Gesamtenergiebedarfs einer Anlage**

Mönkhofer Weg 187

$$Q_{ges. \text{ bereinigt}} = Q_{Heizung} * Kf + Q_{jahr_w} \quad (4-3)$$

## Grunddaten:

Gebäudefläche:  $A_{Gebäude} = 1836 \text{ m}^2$

Anzahl Wohneinheiten:  $WE = 31$

$Q_{Heizung} = 173834 \text{ kWh}$

$KF = 1,05$

Zunächst wird der Warmwasserbedarf des Gebäudes (aller Wohneinheiten im Gebäude) pro Jahr berechnet:

Fläche einer Wohneinheit:

$$A_{WE} = \frac{A_{Gebäude}}{WE} = \frac{1836 \text{ m}^2}{31} = 59,22 \cong 60 \text{ m}^2 \rightarrow \frac{n_{pers}}{WE} = ca. 2pers \quad (4-4)$$

Warmwasserbedarf pro Person:  $V_{pers} = 45 \text{ l}$

$$V_{Jahr} = V_{Pers} * \frac{n_{pers}}{WE} * WE * 365 = 45 \text{ l} * 2pers * 31 * 365 = 1018 \text{ m}^3 \quad (4-5)$$

Wärmebedarf an Warmwasser pro Jahr:

$$\begin{aligned} Q_{Jahr_w} &= 1018 \text{ m}^3 * 984,48 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,001163 \frac{\text{kWh}}{\text{kg} * \text{K}} * (57,5^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) \\ &= 55.364 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (4-6)$$

Gesamtenergiebedarf bereinigt:

$$Q_{ges. \text{ bereinigt}} = 173.834 \text{ kWh} * 1,05 + 55.364 \text{ kWh} = 237.890 \text{ kWh} \quad (4-7)$$

## 4.2 Baseline-Bestimmung

Die Baseline (normierter Verbrauch) definiert sich in dieser Arbeit als die Grundlage der Einsparungen und der Energiemehrverbräuche. Sie besteht aus dem Mittelwert der Jahresverbräuche von 2016, 2017 und 2018 und wird für jede Anlage berechnet. Bei zukünftigen Veränderungen der Jahresverbräuche nach der Anlagenoptimierung aus 2019 und 2020 wird auf die Baseline Rückschluss genommen. Dadurch kann festgestellt werden, bei welcher Anlage sich welche Optimierungsmaßnahme positiv oder negativ ausgewirkt hat.

Eine positive Auswirkung erklärt sich mit einer Energiesenkung und eine negative Auswirkung wird als Energiemehrverbrauch bezeichnet. Die in dieser Arbeit ermittelten Baselines setzen sich zusammen aus dem Mittelwert der Jahresverbräuche von drei Jahren (2016, 2017, 2018), die als Grundlage der Einsparjahre 2019 und 2020 dienen. Die Baseline besteht aus bereinigten Verbrauchsdaten. Mit Bezug auf die Baseline wird festgestellt, wie viel Energie und CO<sub>2</sub> in den Einsparjahren eingespart werden.

Beispielberechnung Mönkhofer Weg 187:

$$Baseline = \frac{Q_{ges\cdot bereinigt_{2016}} + Q_{ges\cdot bereinigt_{2017}} + Q_{ges\cdot bereinigt_{2018}}}{3} \quad (4-8)$$

$$Baseline = \frac{237.890KWh + 231.488KWh + 224.052KWh}{3} \\ = 231.143KWh \quad (4-9)$$

## 5 Ursachenanalyse der Anlagen mit Mehrenergieverbräuchen

Die Anlagen werden exemplarisch beschrieben, da nicht alle Informationen über die Anlagen vorliegen. In diesem Abschnitt werden die Anlagen betrachtet, die im Jahr 2020 mit Bezug auf die Baseline mehr Energie verbraucht haben als notwendig.

Zunächst werden die Probleme aufgelistet, die in den Heizungsanlagen entdeckt wurden. Möglicherweise führen diese Probleme dazu, dass die Anlagen mehr Energie verbrauchen.

- Regelung
  - Falsch eingestellte Parameter in der Regelung
  - Kommunikationsprobleme zwischen unterschiedlichen Regelungen
  - Veraltete Regelungen, die sich kaum regeln lassen
- Brennwertkessel
  - Taktverhalten des Kessels
  - Rücklauftemperatur nicht im Brennwertbetrieb
- Warmwasserbereitung
  - Trinkwarmwassertemperatur zu hoch (Verbrühungsgefahr)
  - Trinkwarmwassertemperatur zu niedrig (Legionellenbildung)
- Überdimensionierte Wärmeerzeuger

## 5.1 Bauverein der Elbgemeinden eG

Anlage: Maienweg 99–113, Flurstraße 240, Kuhgraben

Nach Rücksprache mit der EZN konnten zu den oben genannten Objekten keine Berichte für diese Arbeit zur Verfügung gestellt werden, da diese nicht mehr vorhanden sind.

Anlage: Randowstraße

### Problembeschreibung des Wärmeerzeugers

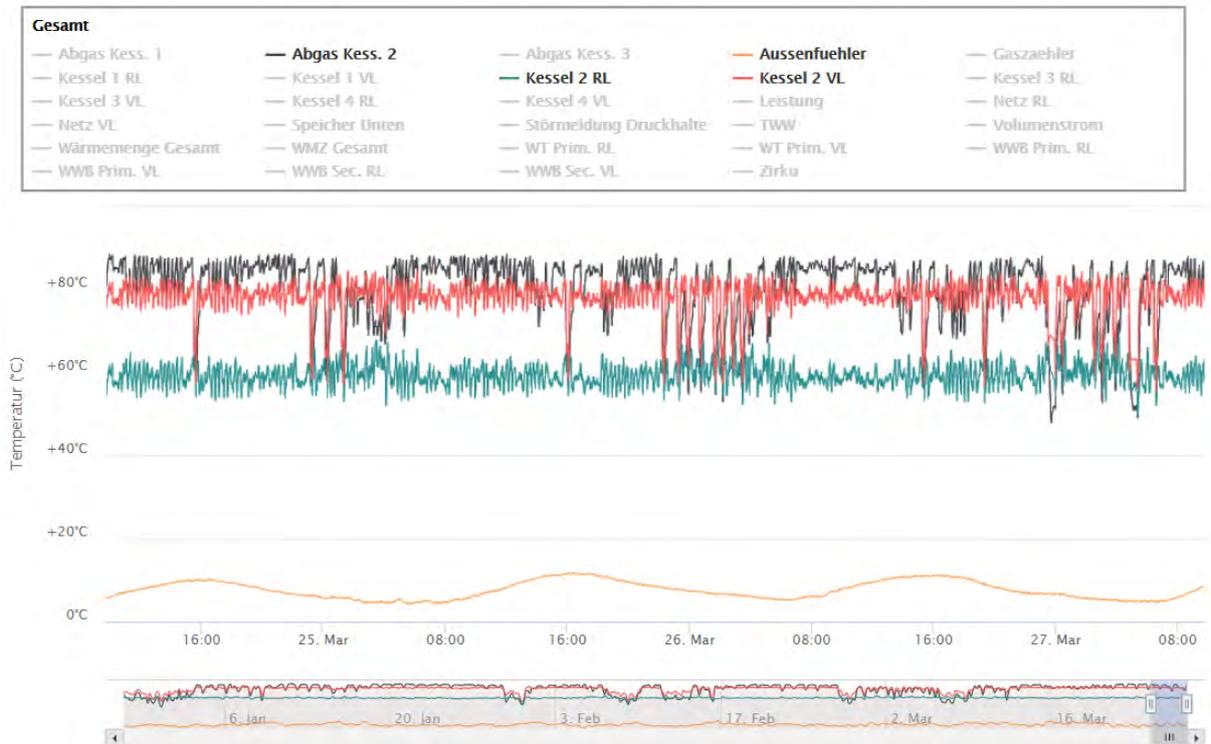
Randowstraße 10



**Abbildung 19.** Taktverhalten von Kessel 1 in der Randowstraße

Die Anlage in der Randowstraße besteht aus drei Brennwertkesseln und ist asymmetrisch und mit einer Warmwasserbereitungsanlage gebaut. In Abbildung 19 wird zunächst Kessel 1 betrachtet. Zu erkennen sind die Temperaturverläufe des Vorlaufs (orange Linie), des Rücklaufs (rote Linie) und des Abgases (blaue Linie). Die Rücklauftemperatur beträgt 60°C und ist viel zu hoch. Anhand der roten Markierung ist zu erkennen, dass der Kessel für einen kurzen Moment hochfährt und schlagartig wieder ausschaltet.

Randowstraße 10



**Abbildung 20.** Zu hohe Rücklauftemperatur von Kessel 2 in der Randowstraße

Abbildung 20 zeigt die Temperaturverläufe des Vorlaufs (rote Linie), des Rücklaufs (blaue Linie) und des Abgases (schwarze Linie) von Kessel 2. Auch hier ist die Rücklauftemperatur (blaue Linie) viel zu hoch, sodass die Abgase nicht heruntergekühlt werden können.



**Abbildung 21.** Zu hohe Rücklauftemperatur von Kessel 3 in der Randowstraße

Abbildung 21 sind die Temperaturverläufe des Vorlaufs (rote Linie), des Rücklaufs (blaue Linie) und des Abgases (grüne Linie) von Kessel 3 zu sehen. Auch hier ist die Rücklauftemperatur viel zu hoch für einen Brennwertbetrieb.

### Ursache

Die hohen Vorlauftemperaturen wurden durch die überdimensionierten Brennwertkessel oder die alten Regelungen, die noch in den Anlagen von BVE vorhanden sind, hervorgerufen. Nähere Informationen zu den Regelungen wurden für diese Arbeit nicht zur Verfügung gestellt.

## 5.2 Hamburger Lehrerbaugenossenschaften eG

### Anlage: Ortleppweg 4

### Problembeschreibung des Wärmeeerzeugers



**Abbildung 22.** Keine Kesselfolgeschaltung in Ortleppweg 4

Abbildung 22 ist zu erkennen, dass alle drei Brennwertkessel unnötigerweise zur selben Zeit in Betrieb sind. Sie laufen zeitgleich mit einer Betriebszeit von 5 min. Normalerweise sollen die Kessel in Folge geschaltet sein. Das bedeutet, dass zuerst nur ein Kessel laufen muss, je nach Bedarf können die anderen zugeschaltet werden. Dem Diagramm ist zu entnehmen, dass die Regelung keine außentemperaturgeregelte Kesselfolgeschaltung zulässt.

### **Ursache**

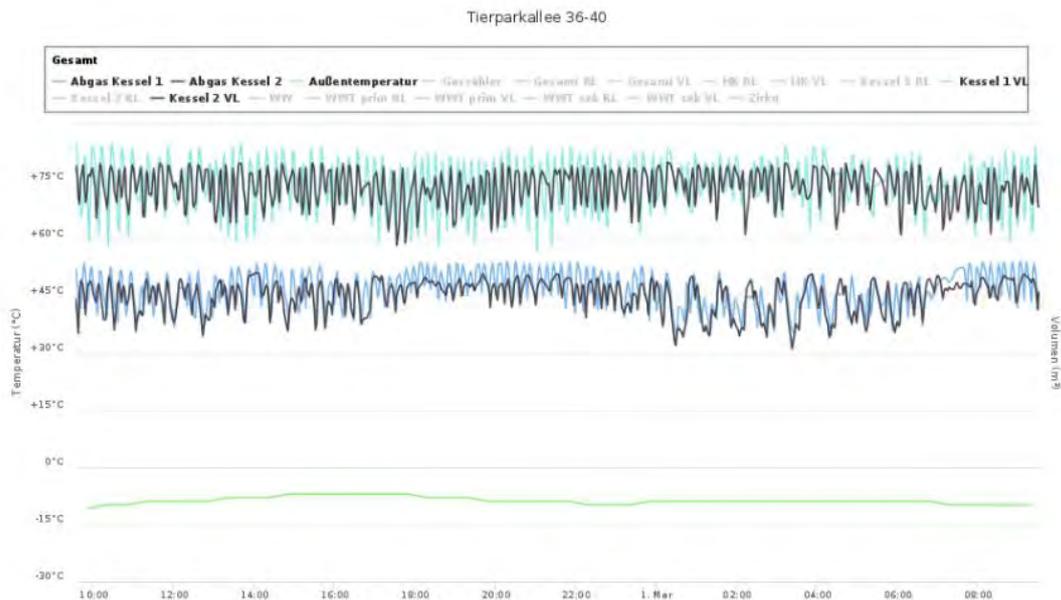
Die Ursache für die beschriebenen Probleme besteht darin, dass eine in der Anlage vorhandene Solvisregelung ein sehr sprunghaftes Anforderungssignal auf die Buderusregelung vorgibt. Die Buderusregelung schaltet bei einer Anforderung alle Kessel zeitgleich zu.

### **Durchgeführte Maßnahmen**

Es wurden Maßnahmen zur Änderung der Regelungen und anderer Komponenten in der Anlage durchgeführt. Leider wurden die Fehler durch die Umsetzung der Maßnahmen nicht behoben. Warum die Maßnahmen nicht gewirkt haben, wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit nicht untersucht, sondern in einer nächsten Arbeit gründlich geprüft.

## Anlage: Tierparkallee

### Problembeschreibung des Wärmeeerzeugers



**Abbildung 23.** Taktverhalten der Kesseln in Tierparkallee 36-40

In Abbildung 23 sind zwei symmetrische Brennwertkesseln verschaltet( schwarze und hellblaue Kurve)). Das Diagramm zeigt, dass trotz einer Außentemperatur (grüne Kurve) von -10°C die Kessel nicht konstant arbeiten. Beide Kessel sind durchgehend am Takten.

### Problembeschreibung der Warmwasserbereitung



**Abbildung 24.** Warmwasserbereitung im Legionellenbereich in der Tierparkallee 36-40

Die Temperatur des Warmwassers (hellblau) in Abbildung 24 folgt der des Heizkreisvorlaufs (dunkelblau). Sinkt die Temperatur des Heizkreises, erfolgt auch eine Senkung der

Warmwassertemperatur. Dadurch schwankt die Warmwassertemperatur ständig und kommt somit in den Legionellenbereich.

### Ursache

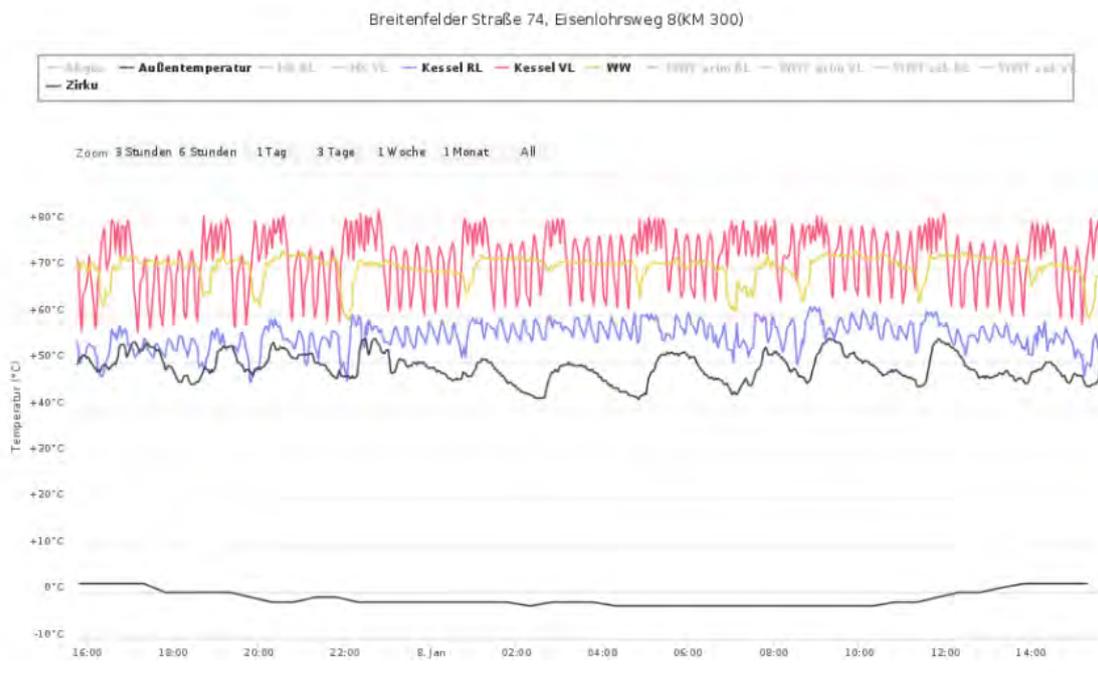
Die Ursache für die beschriebenen Probleme wurden in der Regelung gefunden: Es wurden falsche Parameter einprogrammiert.

### Maßnahme

Die EZN legte Maßnahmen zur Neuprogrammierung fest. Jedoch führten auch diese Maßnahmen nicht zum Ziel.

### Anlage: Breitenfelder Straße 74

### Problembeschreibung des Wärmeerzeugers



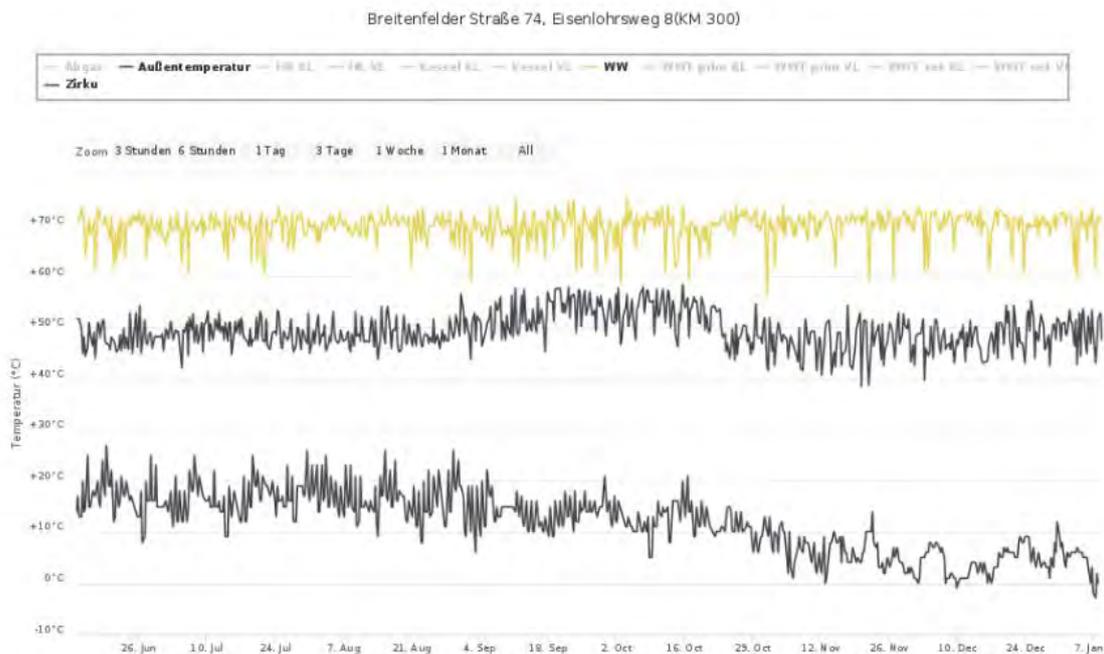
**Abbildung 25.** Taktverhalten des Kessels in der Breitenfelder Straße 74

In Abbildung 25 ist ein einziger Brennwertkessel verschaltet. Aus dem Diagramm ist zu erkennen, dass der Kessel VL (rote Kurve) bei einer Außentemperatur von 0°C am Takten ist.

### Ursache

Die EZN stellte als Ursache fest, dass der Kessel für den Betrieb möglicherweise überdimensioniert ist.

## Problembeschreibung der Warmwasserbereitung



**Abbildung 26.** Verbrühungsgefahr in der Breitenfelder Straße 74

Die Temperatur des Warmwassers (gelbe Kurve) in Abbildung 26 überschwingt bis auf über 70°C und führt zur Gefahr von Verbrühungen. Die Temperatur der Trinkwasserzirkulation (mittlere schwarze Kurve) ist zu niedrig und entspricht nicht der Temperatur der Trinkwasserverordnung (>55°C).

### Maßnahme

Die Temperaturen der WWB werden angepasst, indem in der Regelung neue Parameter eingestellt werden.

## Problembeschreibung des Heizkreises

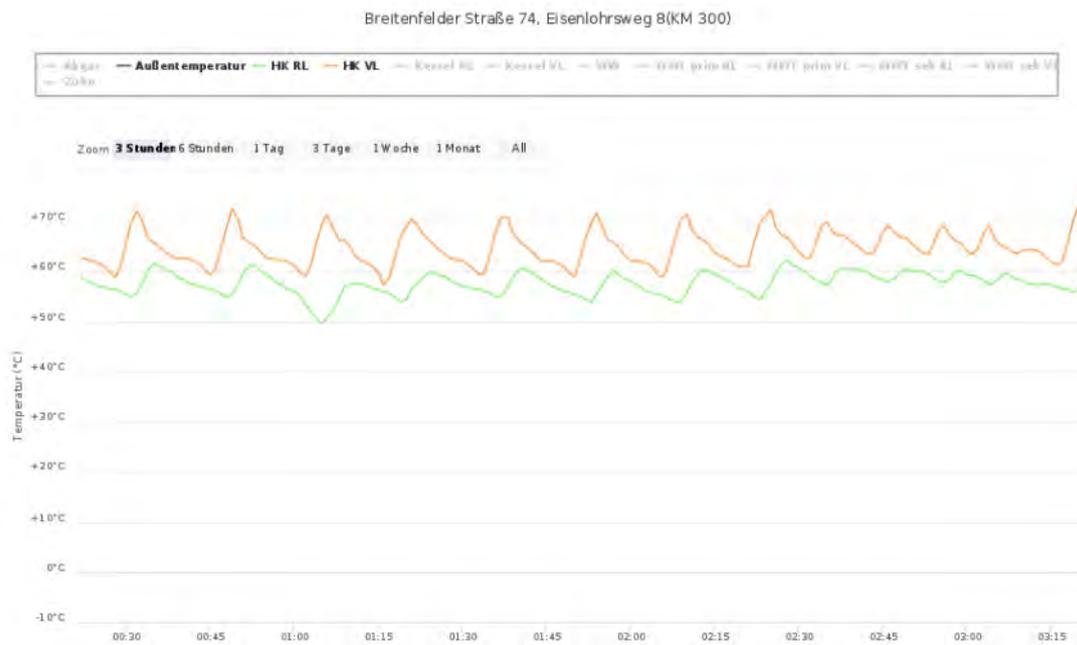


Abbildung 27. Verhalten des Heizkreises in der Breitenfelder Straße 74

In Abbildung 27 zeigt die rote Kurve das Verhalten im Heizkreis, das stark schwingt. Die Heizkreiskennlinie wurde angepasst und einige Einstellungen in der Regelung wurden überprüft. Trotz der Optimierung verbraucht die Anlage mehr Energie.

## Anlage: Oktaviostraße 110–120

### Problembeschreibung des Wärmeerzeugers



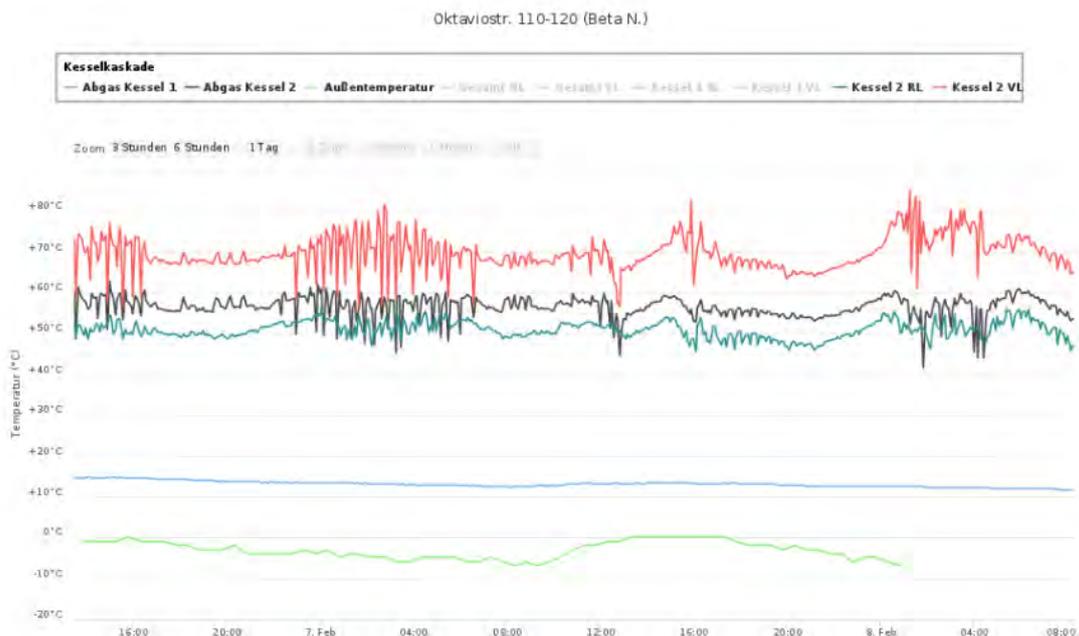
Abbildung 28. Taktverhalten von Kessel 2 in der Oktaviostr. 110-120

Abbildung 28 ist zu sehen, dass Kessel 2 (rote Kurve) zu oft angefordert wird und am Takten ist. Kessel 1 (orange Kurve) hingegen läuft durchgehend und taktet nicht. Im Nachtbetrieb schaltet Kessel 2 aus. Beide Kessel sind asymmetrisch verschaltet.



**Abbildung 29.** Defekter Kessel in der Oktaviostr. 110-120

Abbildung 29 lässt erkennen, dass Kessel 1 (erkennbar an der fallenden Kurve des Abgases) defekt ist. Kessel 2 (rote Kurve) ist nun durchgehend in Betrieb.



**Abbildung 30.** Taktverhalten von Kessel 2 in der Oktaviostr. 110-120

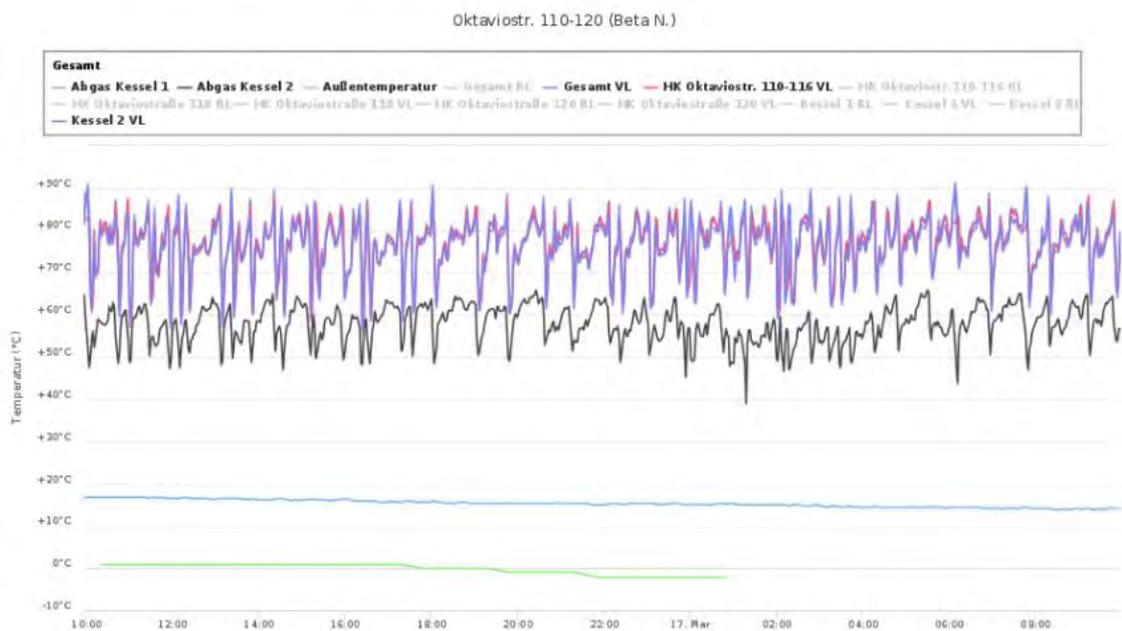
Abbildung 30 zeigt Kessel 2 (rote Kurve) mit einem Taktverhalten bei tiefen Außentemperaturen.

## Ursache

Die Ursache für die oben beschriebenen Probleme ist eine nicht ordnungsgemäße Regelung.

## Maßnahme

Der zweistufige Brenner an Kessel 2 wurde durch einen modulierenden Brenner und die alte Buderusregelung durch eine 4000er ersetzt. Mit diesen Maßnahmen soll sich das Verhalten des Kessels verbessern.



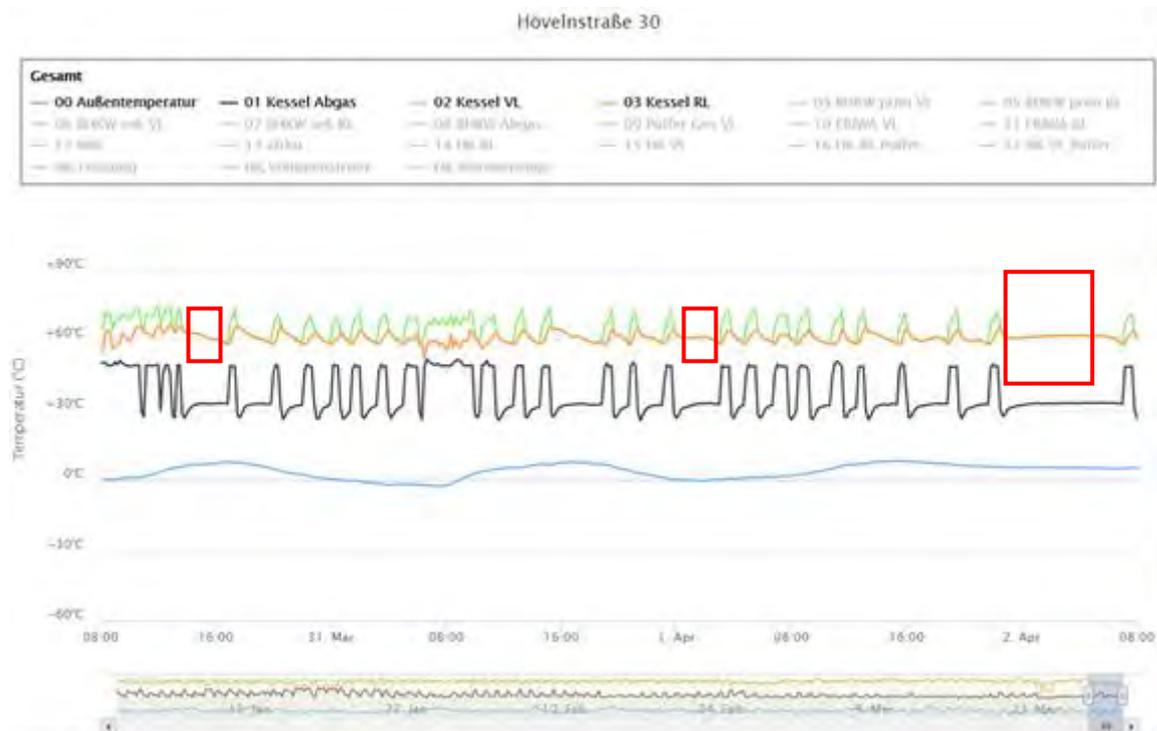
**Abbildung 31.** Taktverhalten bei tiefen Temperaturen in der Oktaviostr.110-120

In Abbildung 31 weist Kessel 2 (blaue Kurve) immer noch ein Taktverhalten bei tiefen Außentemperaturen auf, da die Modulation nicht wie gewollt funktioniert. Die durchgeführten Maßnahmen haben, wie den Diagrammen zu entnehmen ist, nicht zu einem verbesserten Verhalten des Kessels und auch nicht zur Senkung des Energieverbrauchs geführt.

## 5.3 Vereinigte Baugenossenschaften Lübeck eG

### Anlage: Hövelnstraße

#### Problembeschreibung des Wärmeeerzeugers



**Abbildung 32.** Dauerlauf der Kesselpumpe in der Hövelnstraße 30

In Abbildung 32 ist ein Brennwertkessel mit einem BHKW kombiniert. Das Problem besteht darin, dass trotz ausgeschaltetem Brenner die Kesselpumpe dauerhaft läuft, obwohl dies unerwünscht ist. Das ist am deckungsgleichen Verlauf (rote Markierung) von Kesselvor- und Rücklauf zu erkennen. Der Dauerlauf der Kesselpumpe führt im Allgemeinen zu einem Fehlverhalten des gesamten Betriebs und zu unnötigem Energieverbrauch. Als Ursache dafür kommt die Regelung infrage, da sie nicht funktionsgemäß regelt.

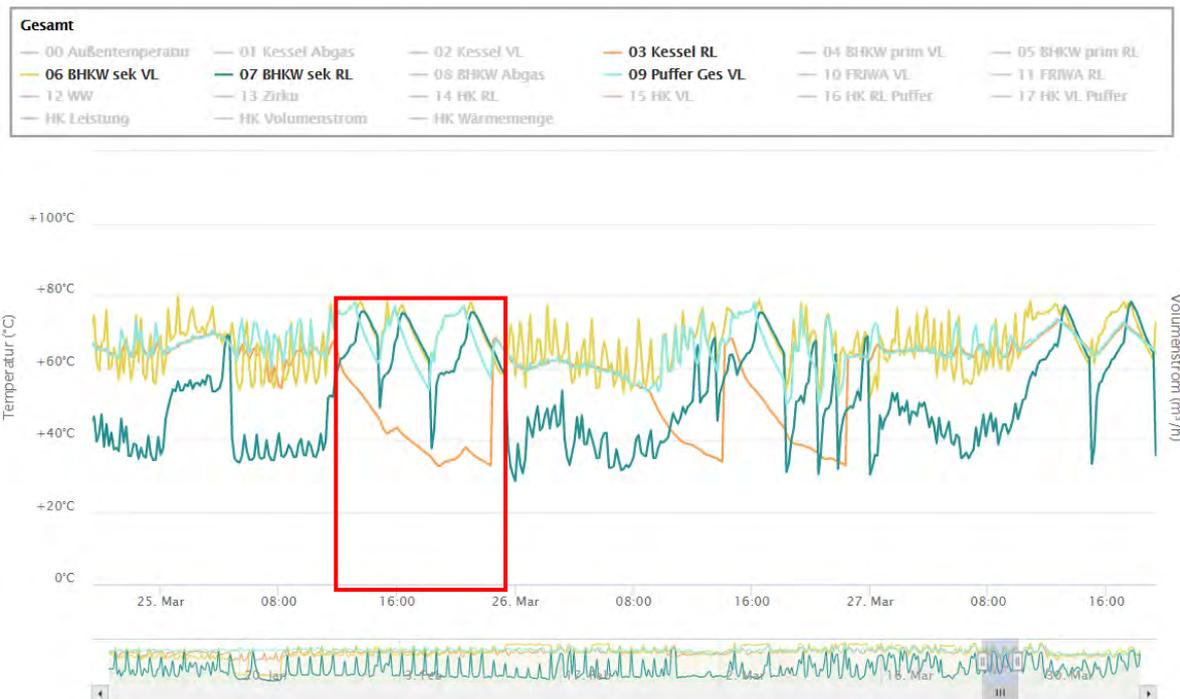
## Hövelnstraße 30



**Abbildung 33.** Abschaltung der Kesselpumpe in der Hövelnstraße 30

### Maßnahme

Innerhalb der roten Markierung in Abbildung 33 wird versucht, die Kesselpumpe über den Online-Zugang der Regelung auszuschalten. Das Ergebnis ist im folgenden Diagramm zu sehen.



**Abbildung 34.** Optimierung in der Hövelnstraße 30

Die rote Markierung in Abbildung 34 zeigt den Zeitraum, in dem die Kesselpumpe ausgeschaltet ist. Es ist zu erkennen, dass das BHKW (obere orange Kurve) allein den Puffer (hellblaue Kurve) auf über 70°C laden kann in diesem Zeitraum. Auch diese Maßnahme hat nicht zur Senkung des Energieverbrauchs ausgereicht.

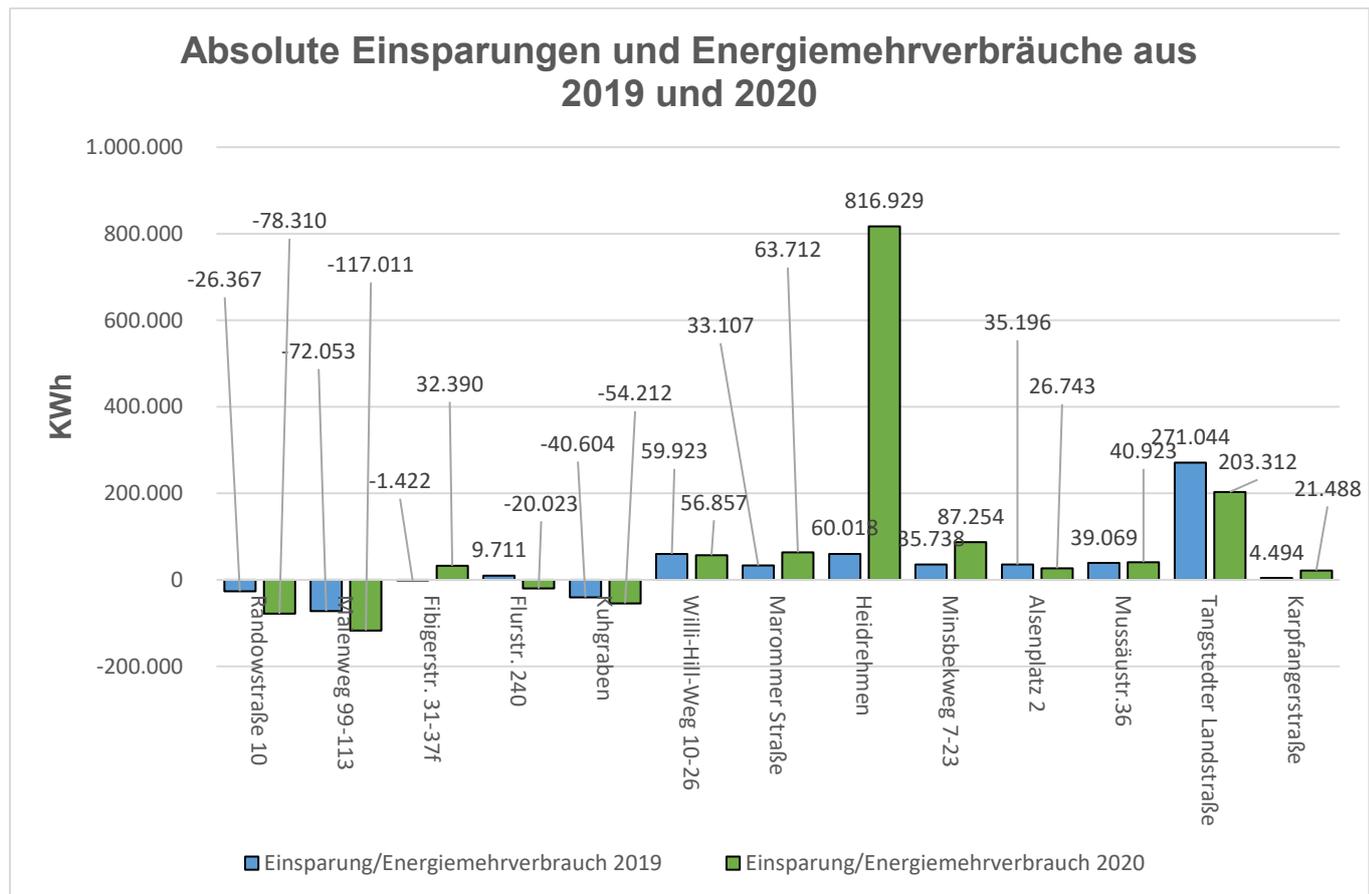
## 5.4 Neue Lübecker Norddeutsche Baugenossenschaft eG

Die EZN optimiert nicht die Anlagen der Neuen Lübecker Norddeutschen Baugenossenschaft eG, sondern stellt nur die Messtechnik zur Datenerfassung zur Verfügung. Nach Rücksprache mit der EZN hat die Baugenossenschaft in den letzten Jahren viele Renovierungsmaßnahmen in den Wohngebäuden durchgeführt, die zum größten Teil zu Einsparungen der Anlagen führten. Berichte zu den Anlagen der Baugenossenschaft wurden für diese Arbeit nicht zur Verfügung gestellt.

## 6 Darstellung der Anlagen mit eingesparter und mehr verbrauchter Energie

Dieser Abschnitt erfasst alle Anlagen zusammen und stellt dar, wie viel jede einzelne eingespart oder mehr verbraucht hat in [kWh]. Auch hier wird nach dem Betreiber für eine bessere Zuordnung sortiert.

### 6.1 Bauverein der Elbgemeinden eG

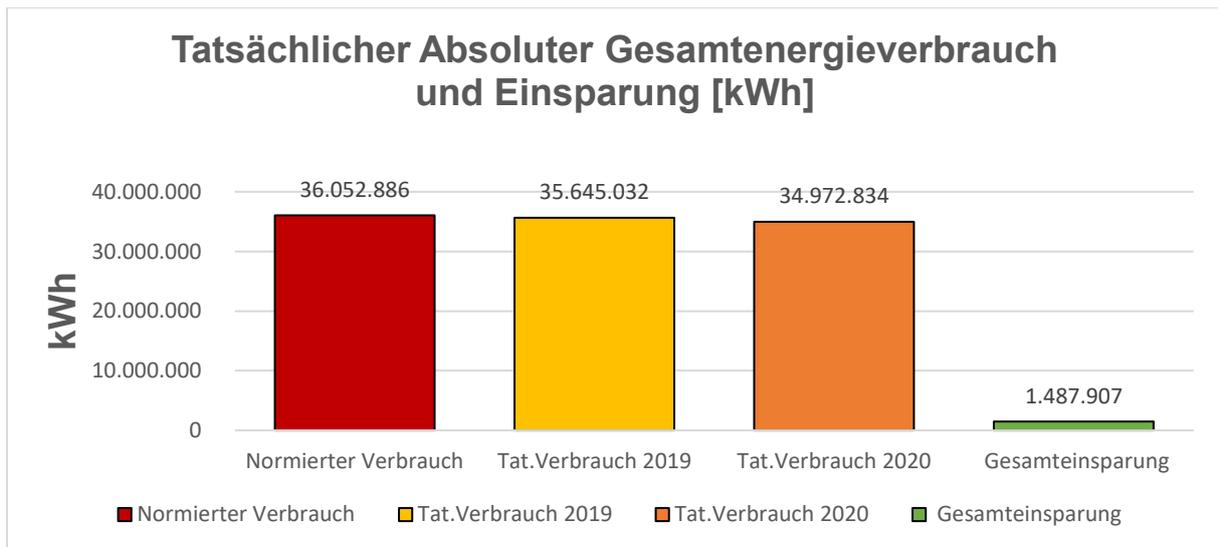


**Abbildung 35.** Absolute Einsparungen und Energiemehrverbräuche

In Abbildung 35 werden die Anlagen des Bauvereins der Elbgemeinden eG betrachtet. Oberhalb der Null-Achse sind die Einsparungen zu sehen, die im Jahr 2019 und 2020 erzielt wurden, unterhalb sind die Mehrverbräuche zu erkennen.

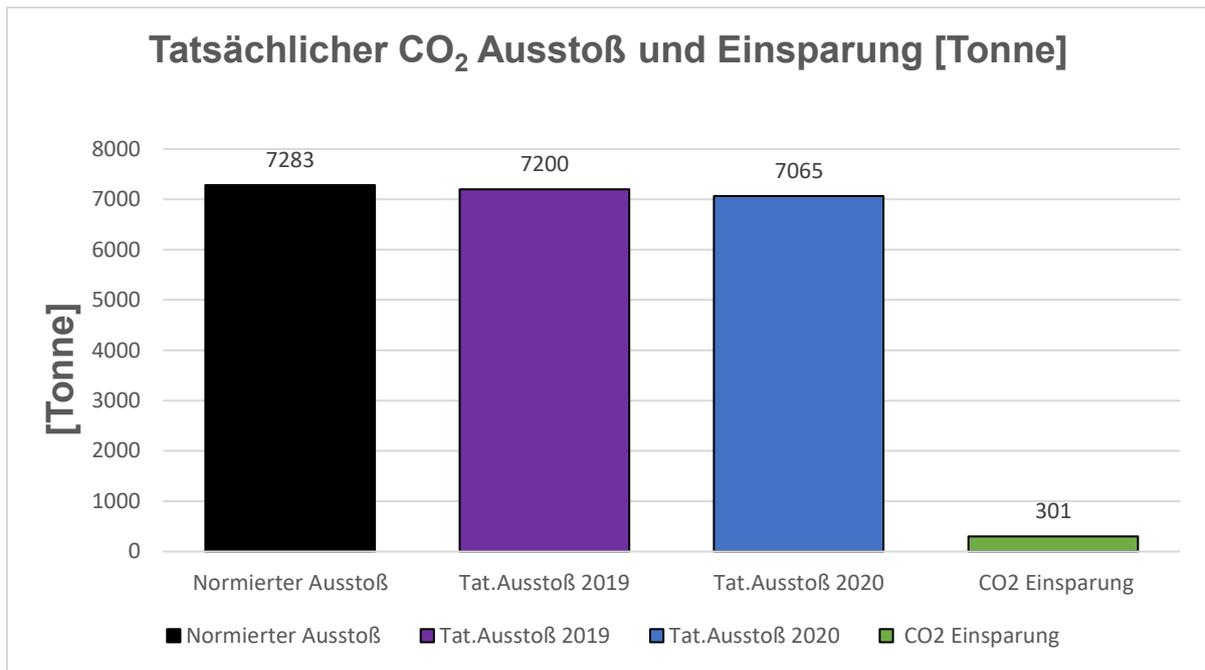
Aufgrund der in den Anlagen des BVE noch vorhandenen veralteten Regelungen ist es nicht immer einfach, bei jeder Anlage durch die Maßnahmen der EZN eine Einsparung zu erzielen. Die Anlagen, die im Jahr 2020 nicht einsparten und mehr Energie verbrauchten, bestehen alle aus mindestens einem Brennwertkessel, der entweder symmetrisch verschaltet oder mit einem BHKW kombiniert und mit einem gemischten Heizkreis verbaut ist. Des Weiteren sind die Anlagen, die mehr Energie verbrauchen, zum größten Teil mit einer WWB-Anlage

ausgestattet. Es ist zu erwarten, dass bei den BVE-Anlagen viel eingespart wird, da im letzten Quartal 2020 viele Warmwasserbereitungsanlagen und Regelungen erneuert wurden. In einer nächsten Arbeit sollte nochmals berechnet und untersucht werden, wie viel durch die Umbauten eingespart wird. Bei der Anlage in Heidrehmen ist aus dem Diagramm zu erkennen, dass diese Anlage viel eingespart hat. Gründe dafür sind, dass die Anlage intensiv betreut wird und viele Komponenten in der Anlage ausgetauscht wurden.



**Abbildung 36.** Tatsächlicher Absoluter Gesamtenergieverbrauch und Einsparung

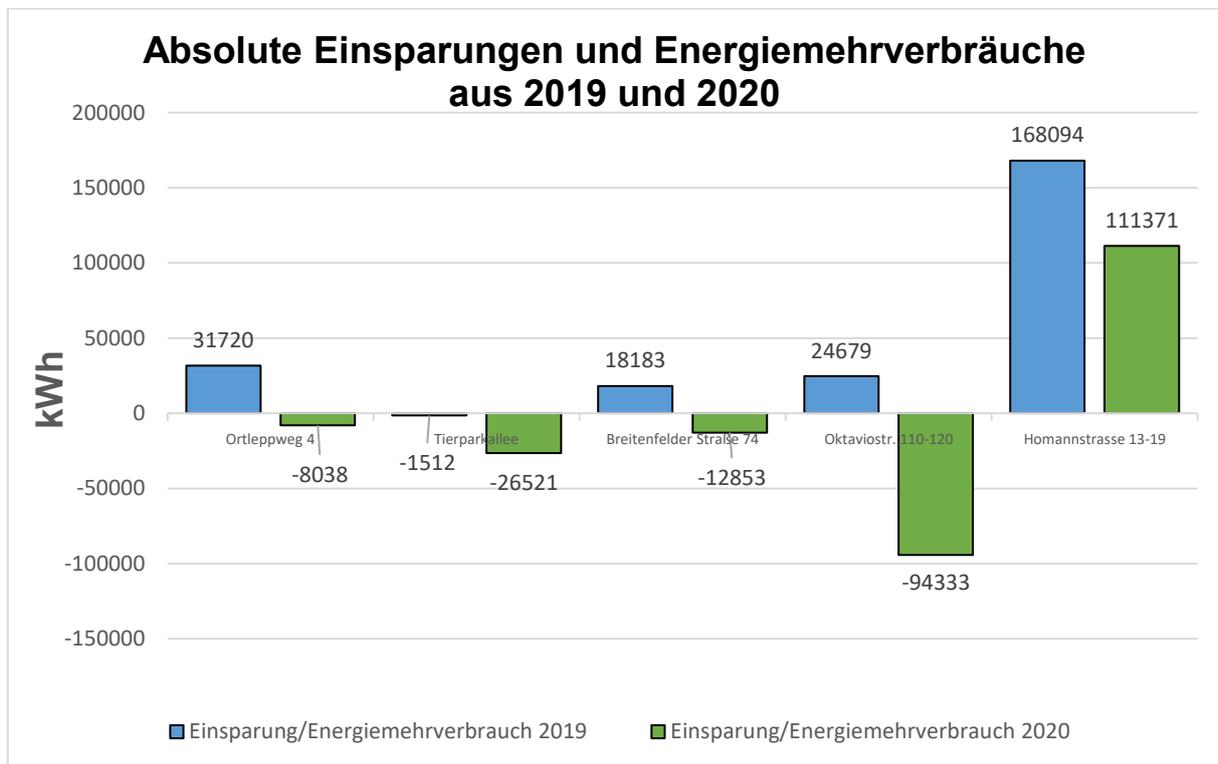
Dem Diagramm in Abbildung 36 kann entnommen werden, dass die tatsächlichen Verbräuche im Jahr 2019 und 2020 im Vergleich zum normierten Verbrauch durch die umgesetzten Maßnahmen gesunken sind. Der normierte Verbrauch ist der berechnete Verbrauch vor Umsetzung der Maßnahmen, die tatsächlichen Verbräuche zeigen den Verbrauch nach Umsetzung der Maßnahmen. Insgesamt wurde in den beiden Jahren eine relative Einsparung von 4 % mit Bezug auf den normierten Verbrauch erzielt.



**Abbildung 37.** Tatsächlicher CO<sub>2</sub> Ausstoß und Einsparung

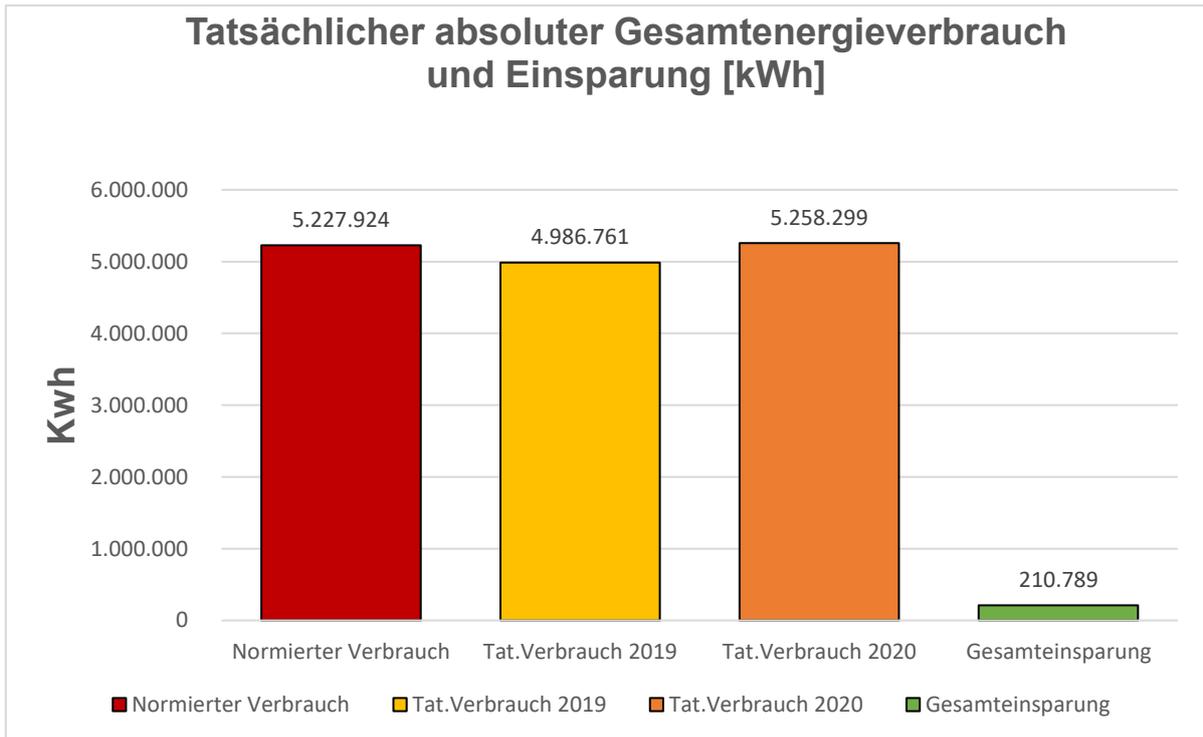
Abbildung 37 zeigt den tatsächlichen CO<sub>2</sub> Ausstoß und Einsparung. Durch den Energieverbrauch wird Kohlendioxid emittiert. Somit wird durch die Senkung der Energieverbräuche der Ausstoß von Co<sub>2</sub> reduziert. Der normierte Ausstoß lässt sich aus dem normierten Energieverbrauch multipliziert mit dem Emissionsfaktor berechnen. Der Emissionsfaktor variiert je nach Energieträger und Standort der Anlagen. Bei BVE-Anlagen wird mit einem Emissionsfaktor von 0,202 [kg/kWh] gerechnet. Das Diagramm zeigt, dass 301 Tonnen Co<sub>2</sub> eingespart wurden.

## 6.2 Hamburger Lehrerbaugenossenschaften eG



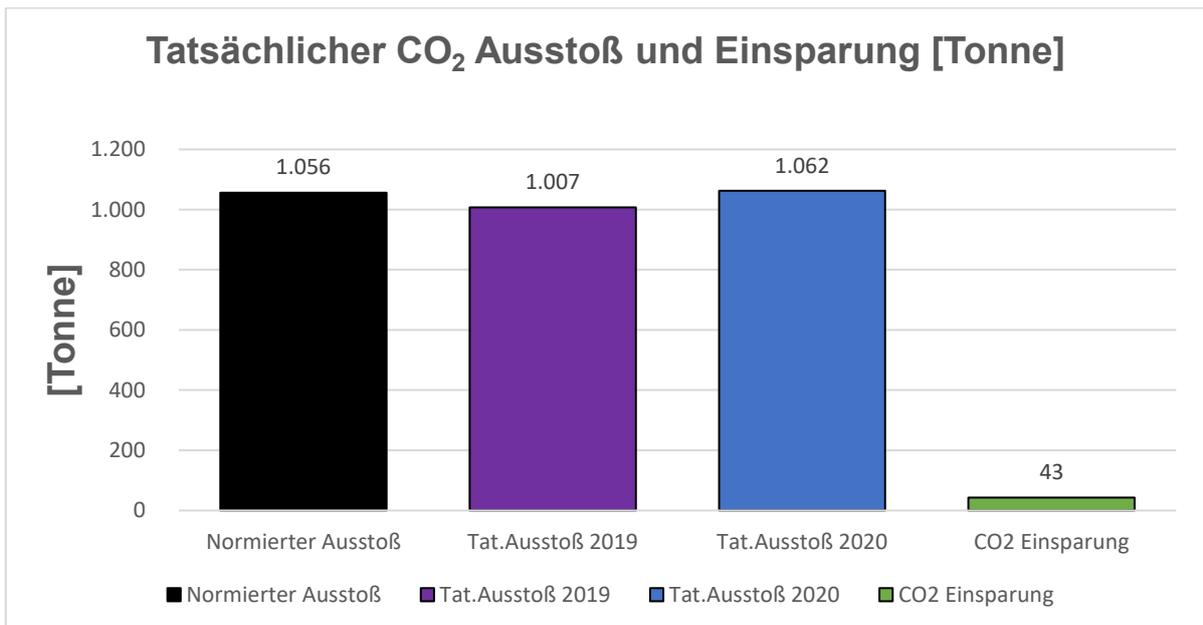
**Abbildung 38.** Absolute Einsparungen und Energiemehrverbräuche

Das Diagramm in Abbildung 38 zeigt den Rückgang der Einsparung bei den Anlagen im Jahr 2020. Vier der fünf betrachteten Anlagen verbrauchen in 2020 mehr Energie als sie müssen. Im Vergleich zu 2019 wies nur eine der fünf Anlagen einen Mehrverbrauch an Energie auf. Die Anlagen, die im Jahr 2020 mehr verbrauchten, bestehen alle mindestens aus einem Brennwertkessel, der zum größten Teil symmetrisch oder asymmetrisch verschaltet ist, in Kombination mit einer WWB-Anlage.



**Abbildung 39.** Tatsächlicher Absoluter Gesamtenergieverbrauch und Einsparung

Abbildung 37 den tatsächlichen absoluten Gesamtenergieverbrauch und Einsparung. Der tatsächliche Energieverbrauch 2020 überstieg den normierten Verbrauch und den tatsächlichen Verbrauch 2019. Es wurde ein relativer Wert von 0,6 % mehr Energie verbraucht mit Bezug auf den normierten Verbrauch. Es könnte sein, dass dieser Anstieg durch die Pandemie hervorgerufen wurde.

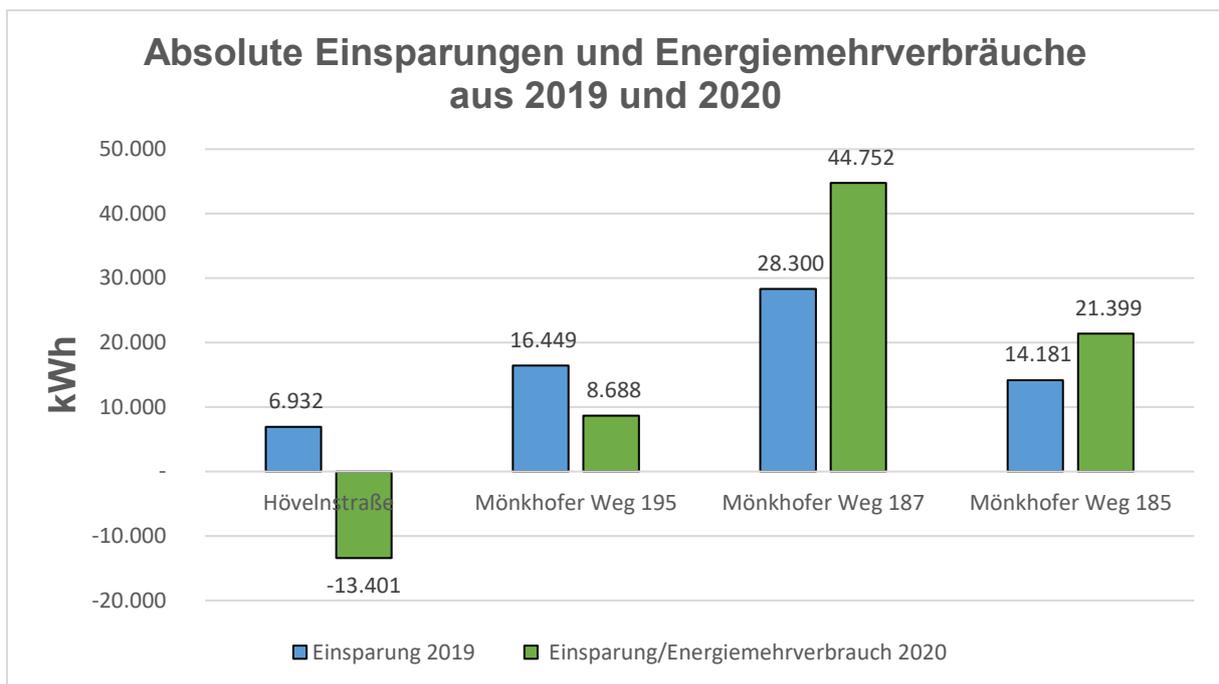


**Abbildung 40.** Tatsächlicher CO<sub>2</sub> Ausstoß und Einsparung

Wie in Abbildung 40 zu erkennen ist, wurde im Jahr 2020 mehr CO<sub>2</sub> ausgestoßen. Dies liegt daran, dass in diesem Jahr mehr Energie verbraucht wurde. Auch hier könnte der Grund die Pandemie sein, da im Jahr 2020 mehr geheizt wurde.

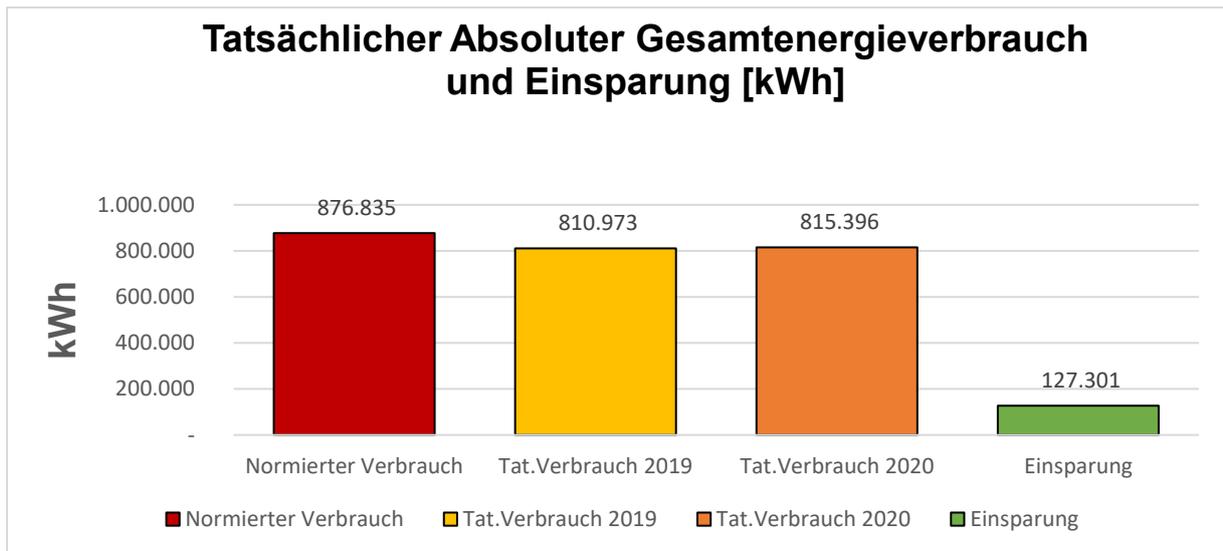
Insgesamt wurden 43 Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart. Berechnet wurde die CO<sub>2</sub>-Einsparung mit einem Emissionsfaktor von 0,202 [kg/kWh].

### 6.3 Vereinigte Baugenossenschaften Lübeck eG



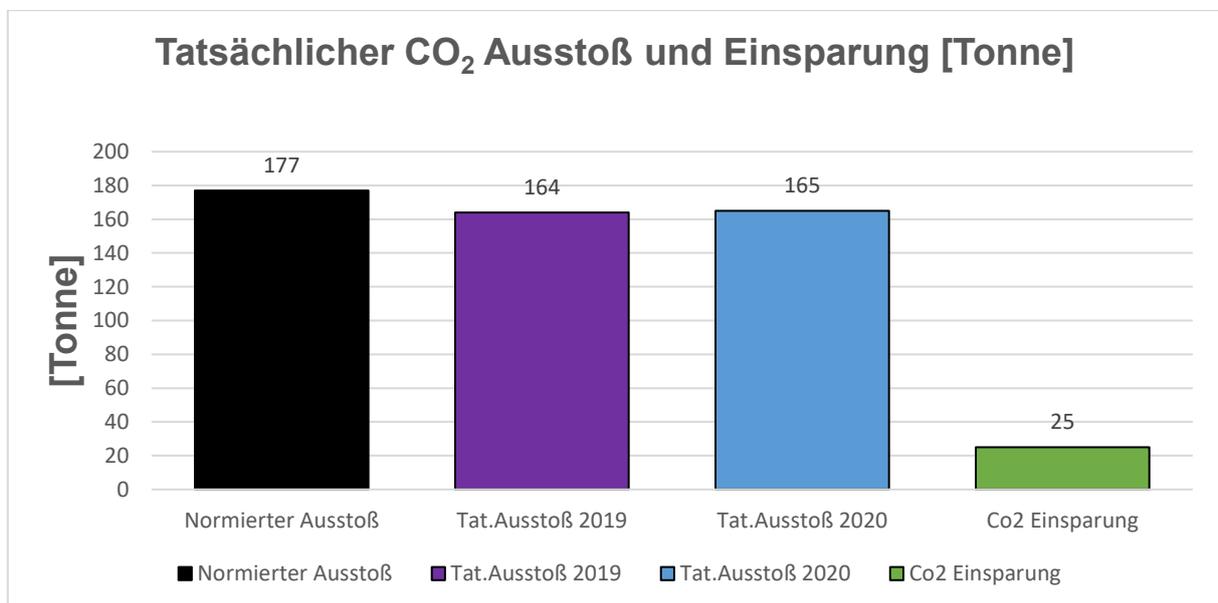
**Abbildung 41.** Absolute Einsparungen und Energiemehrverbräuche

Die Anlagen der Vereinigten Baugenossenschaften Lübeck eG, die in Abbildung 41 betrachtet werden, sind aus einer Kombination von Brennwertkessel und BHKW und einer WWB-Anlage verschaltet. Im Diagramm ist zu erkennen, dass nur bei der Anlage in der Hövelnstraße im Jahr 2020 nicht eingespart wurde, bei den anderen Anlagen wurde in beiden Jahren eingespart. Die Anlage im Mönkhofer Weg 187 sparte im Jahr 2020 42 % mehr an Energie im Vergleich zum Vorjahr ein. Informationen zu den Maßnahmen, die zu dieser Einsparung führten, können in dieser Arbeit aus zeitlichen Gründen nicht gegeben werden.



**Abbildung 42.** Tatsächlicher Absoluter Gesamtenergieverbrauch und Einsparung

Trotz des minimal gestiegenen tatsächlichen Verbrauchs von 0,6 % in Abbildung 42 in 2020 gegenüber 2019 bleiben beide Jahre unter dem normierten Verbrauch. Die Anlagen verbrauchten in beiden Jahren weniger als normiert. Der steigende Verbrauch im Jahr 2020 könnte, wie oben bereits erwähnt, durch die Pandemie bedingt sein. Insgesamt wurden in den Jahren 2019 und 2020 15 % an Energie eingespart mit Bezug auf den normierten Verbrauch.

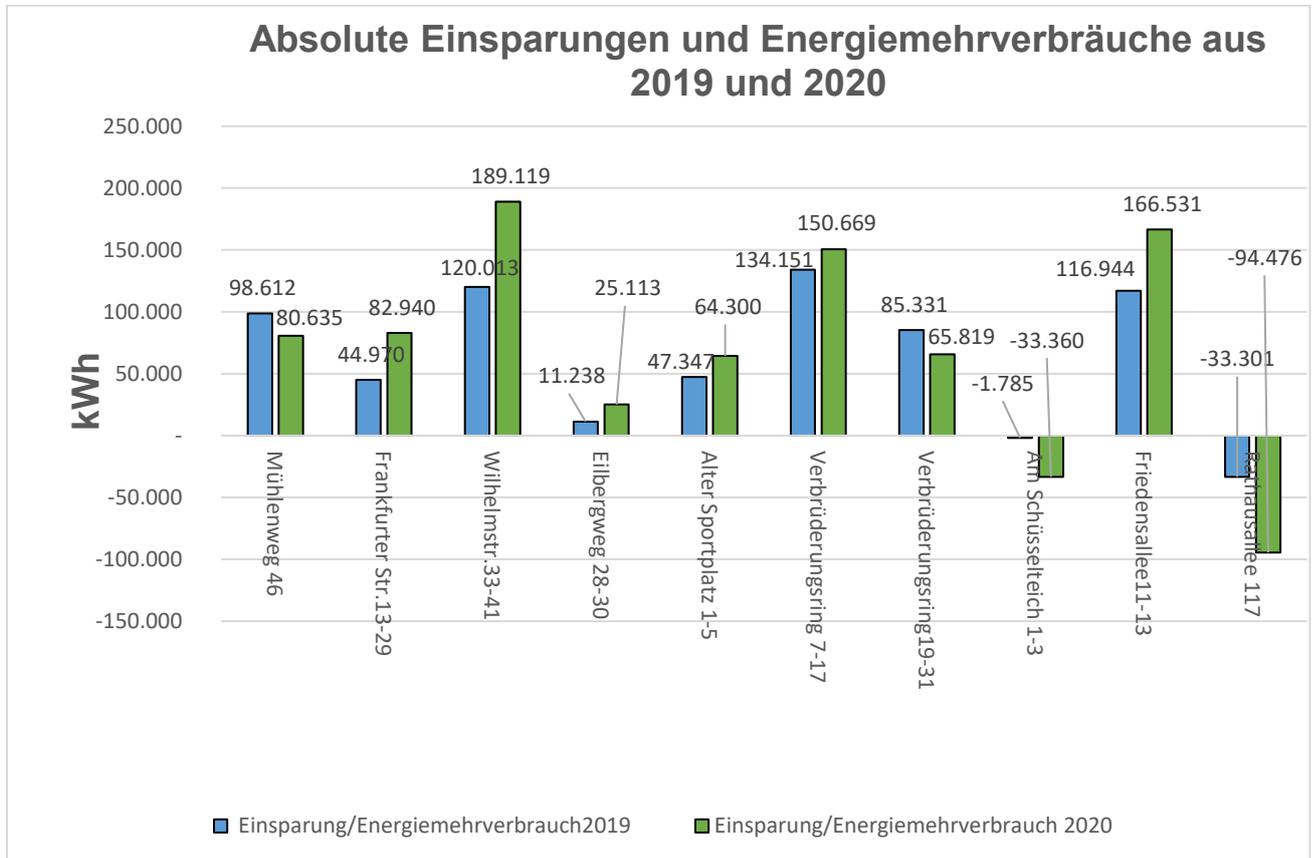


**Abbildung 43.** Tatsächlicher CO<sub>2</sub> Ausstoß und Einsparung

Aus der Abbildung 43 ist zu erkennen, dass im Jahr 2020 eine Tonne CO<sub>2</sub> mehr ausgestoßen wurde als im Jahr zuvor. Insgesamt wurden 25 Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart. Berechnet wurde mit einem Emissionsfaktor von 0,202 [kg/kWh].

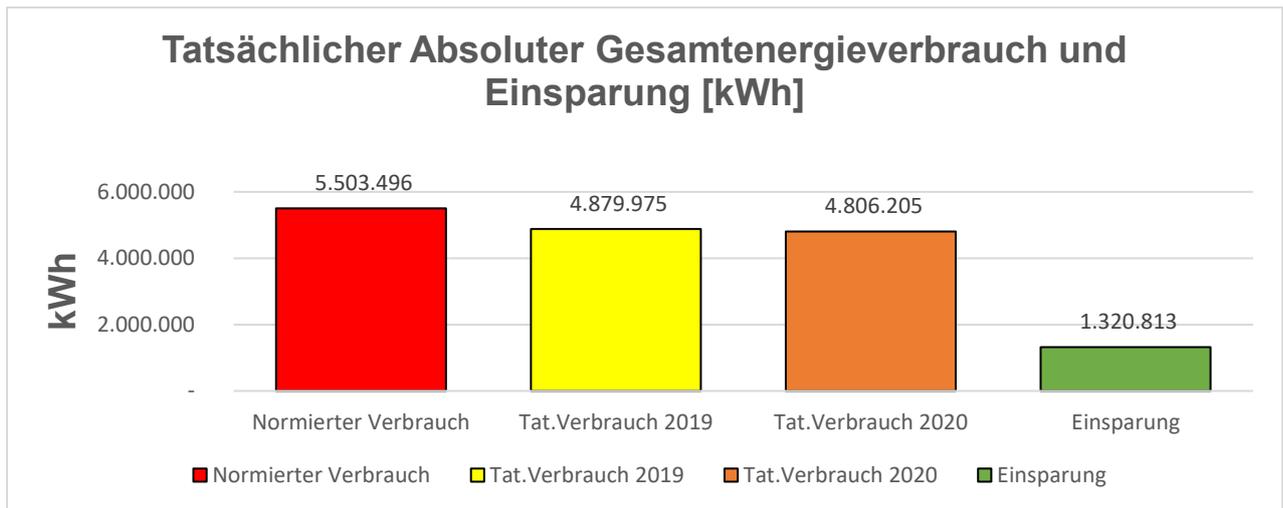
## 6.4 Neue Lübecker Norddeutsche Baugenossenschaft eG

Die EZN optimiert keine Anlagen der Neuen Lübecker Norddeutschen Baugenossenschaft eG. Sie stellt der Genossenschaft nur die Messtechnik zur Datenerfassung zur Verfügung.



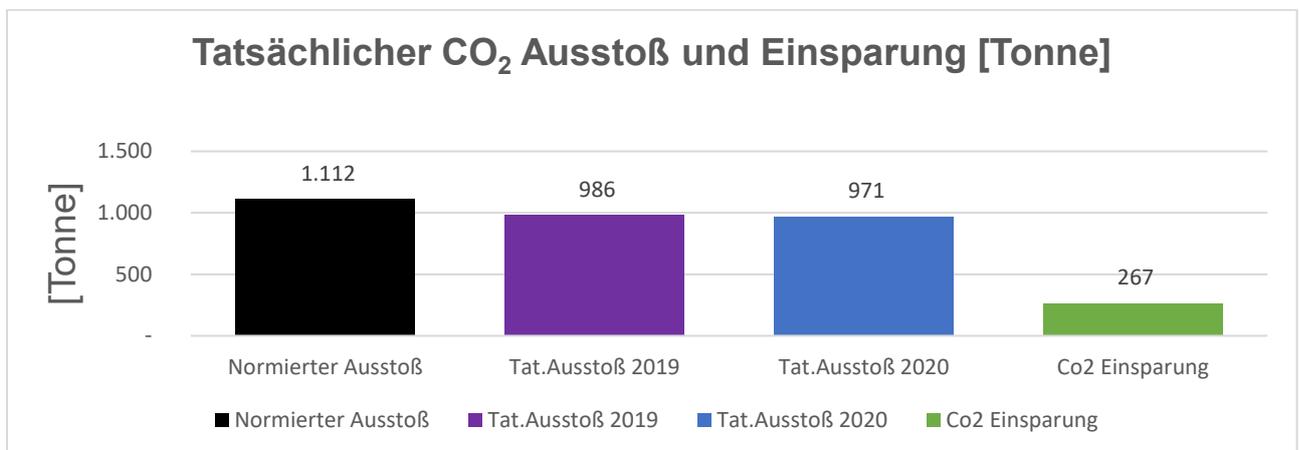
**Abbildung 44.** Absolute Einsparungen und Energiemehrverbräuche

In Abbildung 44 ist zu erkennen, dass bei der Neuen Lübecker zwei gleiche Anlagen im Jahr 2019 und 2020 mehr Energie verbrauchten als erforderlich. Ursachen dafür wurden für diese Arbeit nicht zur Verfügung gestellt.



**Abbildung 45.** Tatsächlicher Absoluter Gesamtenergieverbrauch und Einsparung

Im Vergleich zur Baseline sanken die jährlichen Verbräuche in 2019 und 2020 in Abbildung 45. Obwohl im Jahr 2020 in deutschen Haushalten mehr geheizt wurde, blieb der Gesamtverbrauch in 2020 niedriger als im Vorjahr. Insgesamt wurden 24 % an Energie eingespart mit Bezug auf den normierten Verbrauch.



**Abbildung 46.** Tatsächlicher CO<sub>2</sub> Ausstoß und Einsparung

In Abbildung 46 wurde mit einem Emissionsfaktor von 0,202 [kg/kWh] gerechnet. Der Ausstoß reduzierte sich im Jahr 2020 gegenüber dem Vorjahr. Insgesamt wurden in den Jahren 2019 und 2020 267 Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart.

## 7 Zusammenfassung

Um Fehler in den Anlagen zu detektieren oder um festzustellen, ob die Anlagen mehr verbrauchen als erwünscht, werden die Verbrauchsdaten nach Inbetriebnahme der Anlagen ständig und kontinuierlich monitort. Über die Verbrauchsdaten kann festgestellt werden, wie die Anlagen performen. Bei einem schlechten Betriebsverhalten werden Maßnahmen zur Fehlerbeseitigung festgelegt. Zur Identifikation eines solchen schlechten Betriebsverhaltens sind technische Voraussetzungen erforderlich, wie zum Beispiel die Positionierung von Messfühlern an unterschiedlichen Messstellen. Zur Erfassung der technischen Informationen werden die Temperaturen des VL und RL des Wärmeerzeugers, des Heizkreises sowie die Primär- und Sekundärtemperaturen des Pufferspeichers, des Wärmetauschers, der hydraulischen Weiche etc. erfasst. Bei Handlungsbedarf werden anhand der zur Verfügung stehenden technischen Informationen Maßnahmen für die betreuten Anlagen festgelegt und umgesetzt. Von der Messung über die Auswertung, die Maßnahmenempfehlung, die Handlungsanweisungen bis hin zum Nachweis der Effizienz des Betriebs der Anlagen werden alle Phasen von der EZN organisiert und koordiniert. Nur über diesen intensiven Weg kann Energie eingespart und der Verschleiß in den Anlagen reduziert werden, was mit einer Verlängerung von deren Lebensdauer verbunden ist.

Die vorliegende Arbeit zeigt auf, dass die meisten Heizungsanlagen deutlich mehr Energie verbrauchen als sie müssten. Grund dafür sind unterschiedliche Fehler, die meist auf die Regelungstechnik, auf die Hydraulik oder auf die Zusammenstellung der Komponenten zurückzuführen sind. Die technische Ausbildung des Heizungsbaus passt nicht mehr zum aktuellen Stand der Technik, da die Handwerker häufig mit der Regelungstechnik und der Hydraulik überfordert sind. Die Veränderung bzw. Verbesserung und die Anpassung der technischen Ausbildung können mit dem rasanten Fortschritt und den technischen Innovationen nicht mehr Schritt halten. Es besteht eine große Lücke zwischen dem Stand der Ausbildung und dem jetzigen Stand der Technik, die sich nur durch eine Zentrale schließen lässt, die die Anlagen ständig und kontinuierlich überwacht und optimiert. Dabei sollte von der Inbetriebnahme der Anlage bis zum Nachweis der Effizienz des Betriebes alles von dieser Zentrale organisiert und koordiniert werden. Ein Beispiel für eine gut betreute Anlage ist die Anlage in Heidrehmen mit einer massiven Einsparung, da diese Anlage aktuell sowie in Zukunft weiterhin intensiv betreut wird.

Auch aufgrund der jüngsten Pandemie, die dazu führte, dass mehr Menschen von Zuhause aus arbeiteten, stieg der Heizbedarf in den Wohngebäuden deutlich an. Obwohl der Winter im Jahr 2020 um 0,6°C wärmer war als im Jahr 2019, wurde insgesamt 9 % mehr in deutschen Wohnungen geheizt als sonst. Länder wie Spanien oder Italien, die noch stärker von der

Pandemie betroffen waren als Deutschland und deutlich längere und gravierendere Freiheitseinschränkungen ertragen mussten, heizten im Vergleich zu Deutschland 20 % mehr in den Wohnungen.



- [13] Recknagel, H. ( 17. November 2015). *Taschenbuch für Klimatechnik+Klimatechnik* (Bd. Band 1). (V.-V. GmbH, & 7. Edition, Hrsg.)
- [14] Siemens. (11 2010). *Siemens*. Abgerufen am 30. 04 2022 von <https://sid.siemens.com/v/u/A6V10342438>
- [15] Stuttgart, e. (kein Datum). *etz Stuttgart*. Abgerufen am 30. 04 2022 von <https://ueba.elkonet.de/wbt/IMPORTER/Geb%C3%A4udeenergieberater/Heizungstechnik/Brennwerttechnik/Verdampfungsw%C3%A4rme-p-155838.html>
- [16] Stuttgart, e. (kein Datum). *etz Stuttgart*. Abgerufen am 30. 04 2022 von <https://ueba.elkonet.de/wbt/IMPORTER/Geb%C3%A4udeenergieberater/Heizungstechnik/Brennwerttechnik/Unterschiede+zu+anderen+Kesseln.html>
- [17] TotalEnergies. (kein Datum). *TotalEnergies*. Abgerufen am 30. 04 2022 von <https://heizoel.totalenergies.de/rund-um-heizoel/aktuelles-tips/oel-brennwerttechniken/mehr-als-100-nutzungsgrad-beim-heizen-unm%C3%B6glich/>
- [18] Umweltbundesamt. (20. 01 2022). *Umweltbundesamt*. Abgerufen am 30. 04 2022 von <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/finale-klimabilanz-2020-emissionen-sanken-um-41#:~:text=2020%20wurden%20in%20Deutschland%20insgesamt,weniger%20im%20Vergleich%20mit%201990.>
- [19] Wetterdienst, D. (kein Datum). *Klimafaktoren (KF) für Energieverbrauchsabweise*. Abgerufen am 30. 04 2022 von <https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimafaktoren/klimafaktoren.html>

## Anhang

- Excel Tabelle mit Energieverbrauchsdaten der Baugenossenschaften



## Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Hamburg University of Applied Sciences

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

### Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: Aholy

Vorname: Koffi Akpeko

dass ich die vorliegende Bachelorthesis – bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

Potenzial und Ursachenanalyse der energetischen Einsparungen und Mehrverbräuche der Wärmeerzeugung- und Verteilungsanlagen des Einsparzählerprojektes

ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

*- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -*

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der Bachelorthesis ist erfolgt durch:

Ort

Datum

Unterschrift im Original