

Heizenergie effizienter nutzen

Erfolgskontrolle Heizungsförderung

im Rahmen des Programms

Unternehmen für Ressourcenschutz

der Behörde für Umwelt und Energie

Abschlussbericht

von der Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Fachbereich Energieeffizienz

Professor Dr.-Ing. Bernd Sankol

in Zusammenarbeit mit der Behörde für Umwelt und Energie

Projektlaufzeit: 01.07.2015 – 30.06.2017

Kooperationspartner



Impressum

Autoren

M.Sc. Phillip Janßen, M.Sc. Timo Krey, B.Eng. Tobias König
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Kontakt

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Prof. Dr.-Ing. Sankol
Fakultät Technik und Informatik, Department Maschinenbau und Produktion
Berliner Tor 21, 20099 Hamburg
Tel.: 040 428758704
bernd.sankol@haw-hamburg.de

Behörde für Umwelt und Energie

Frau Schmalzl
Tel.: 040 428402133
E-Mail: elisabeth.schmalzl@bue.hamburg.de

Herr Schulz
Tel.: 040 428403481
E-Mail: roland.schulz@bue.hamburg.de

Freie und Hansestadt Hamburg – Behörde für Umwelt und Energie
Neuenfelder Str. 19
21109 Hamburg

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	II
1 Einleitung und Aufgabenstellung	1
1.1 Aufgabenstellung	2
1.2 Ansprechpartner und Projektbeteiligte	3
2 Projektablauf	5
3 Messverfahren	9
4 Durchführung der Messungen	11
5 Ergebnisauswertung	13
5.1 Randbedingungen und Fragestellung	13
5.2 Vergleich Einsparung zur Prognose der Verbrauchsdaten	14
5.3 Vergleich zwischen Einsparung und Prognose der CO ₂ Emissionen	18
6 Fehlerauswertung bei den modernisierten Heizungsanlagen	23
6.1 Fehlerbetrachtung der 30 untersuchten Anlagen	23
6.2 Allgemeine Fehlerbeobachtungen und Erkenntnisse aus der Praxis	26
7 Zusammenfassung	28
8 Fazit	30
Anhang	31

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Projektvorplanung mit zeitlichem Ablauf und Zuständigkeiten.....	8
Abbildung 3.1: Schematik der Datenspeicherung in der Cloud.....	9
Abbildung 3.2: Beispielanlage Hydraulikschema Messpunkte Temperatur.....	10
Abbildung 4.1: Übersichtskarte der Standorte (Quelle: google maps)	11
Abbildung 5.1: Vergleich Einsparung 2015 zur Prognose der Verbrauchsdaten	15
Abbildung 5.2: Vergleich Einsparung 2016 zur Prognose der Verbrauchsdaten	15
Abbildung 5.3: Abweichung in 2015 zur Prognose in Prozent.....	16
Abbildung 5.4: Abweichung in 2016 zur Prognose in Prozent.....	16
Abbildung 5.5: Vergleich Einsparung 2015 zur Prognose der Verbrauchsdaten nach Anlagenkonfiguration	17
Abbildung 5.6: Vergleich Einsparung 2016 zur Prognose der Verbrauchsdaten nach Anlagenkonfiguration	17
Abbildung 5.7: Vergleich zwischen Einsparung und Prognose der CO ₂ Emissionen	18
Abbildung 5.8: Vergleich zwischen den gesamten CO ₂ Emissionen und der Prognose....	18
Abbildung 5.9: Vergleich zwischen Einsparung und Prognose der CO ₂ Emissionen Anlage 10.....	19
Abbildung 5.10: Abweichung zur Prognose CO ₂ Emission 2015 in Prozent	19
Abbildung 5.11: Abweichung zur Prognose CO ₂ Emission 2016 in Prozent	20
Abbildung 5.12: Beispiel Berechnung CO ₂ Emissionen und Einsparung (2015 und Nachjustierung 2016).....	20
Abbildung 5.14: Übersicht der gesamten, prognostizierten und erreichten Einsparungen der CO ₂ -Emissionen.....	21
Abbildung 5.15: Übersicht der gesamten, prognostizierten und erreichten Einsparungen der CO ₂ -Emissionen (ohne Energieträgerwechsel)	22
Abbildung 6.1: Verteilung: Übersicht funktionsgerechte Betriebsweise.....	23
Abbildung 6.2: Verteilung: Takt- und funktionsgerechter Betrieb.....	24
Abbildung 6.3: Verteilung: zu hohe Rücklauftemperatur und funktionsgerechter Betrieb	24
Abbildung 6.4: Gesamtverteilung Funktionsdefizite	25
Abbildung 6.5: WWA und Fehlerverteilung	25

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Messpaket 1 11.10.15 bis 11.11.15.....	6
Tabelle 2.2: Messpaket 2 18.11.15 bis 18.12.15.....	6
Tabelle 2.3: Messpaket 3 11.01.16 bis 11.02.16.....	7
Tabelle 2.4: Messpaket 4 18.02.16 bis 18.03.16.....	7
Tabelle 2.5: Ersatzanlagen	7
Tabelle 4.1: Tatsächlich gemessene Heizungsanlagen	12
Tabelle 5.1: Grundlage der Witterungsbereinigung (Quelle: BUE)	14
Tabelle 5.2: Grundlage CO ₂ Berechnung (Quelle: BUE)	14

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die Investitions- und Förderbank Hamburg (IFB) fördert im Auftrag der Behörde für Umwelt und Energie (BUE) über unterschiedliche Programme, u.a. das Programm Unternehmen für Ressourcenschutz (UfR), die Reduktion von CO₂ Emissionen sowie die Einsparung von Ressourcen. Hierbei ist die energetische Optimierung von Heizungsanlagen in Gewerbe- und Mehrfamilienhäusern ein Schwerpunkt.

So wurde im Rahmen des Förderprogramms UfR 2011 das Heizungs-Netzwerk initiiert, um das im Heizungsbereich bestehende große Optimierungs- und Energieeinsparpotenzial zu erschließen. Die am häufigsten durchgeführten Effizienzmaßnahmen waren bisher der Einbau neuer Regelungstechnik, Pumpen, der Austausch des Wärmeerzeugers in Verbindung mit der Anpassung der installierten Heizleistung an den tatsächlichen Wärmebedarf des Gebäudes sowie die Verbesserung der Wärmeverteilung durch einen hydraulischen Abgleich.

Die Auswertung von über 300 geförderten Heizungssanierungsmaßnahmen hat ergeben, dass das rechnerisch ermittelte Energieeinsparpotenzial bei durchschnittlich 20-30% liegt.

Beim UfR-Programm richtet sich die Berechnung der Förderhöhe nach der Art der Wärmeerzeugung (Pumpen-Warmwasserheizung, Strahlungsheizung) sowie nach der Höhe der jährlich vermiedenen Tonnen CO₂. Um die ordnungsgemäße Verwendung der Fördermittel festzustellen, wird von der BUE beziehungsweise IFB vor der Auszahlung die Umsetzung der Maßnahme vor Ort überprüft. Bei höheren Fördersummen wird zusätzlich ein Jahr nach der Inbetriebnahme ein Erfolgsbericht mit Angabe der neuen Verbrauchsdaten und den tatsächlich erreichten Einsparungen vom Zuwendungsempfänger eingefordert. Bei diesen durchgeführten Erfolgskontrollen hat sich herausgestellt, dass die tatsächlichen Einsparungen sowohl positiv als auch negativ zum Teil deutlich von den prognostizierten Einsparungen abweichen. Anhand der Erfolgskontrolle (Durchführung bei dreizehn Anlagen) oder auf Basis einer Gegenüberstellung der jeweiligen Verbrauchsdaten vor und nach der Umsetzung der Maßnahme, können die genauen Ursachen für die Abweichungen nicht geklärt werden. Bei der vorher, nachher Betrachtung konnte der tatsächliche Einsparerfolg der einzelnen Maßnahmen nicht ermittelt werden. Die Gründe für die Abweichungen, ob technisch oder durch die Betriebsweise bedingt, sind häufig unklar.

Um bessere Erkenntnisse bezüglich des tatsächlichen Einsparpotentials in Heizungsanlagen zu erlangen und um das Erreichen des Förderziels zu überprüfen, wurde von der IFB/BUE in Zusammenarbeit mit der Hochschule für Angewandte Wissenschaften

(HAW-Hamburg) und dem TÜV-Nord eine genauere Untersuchung von geförderten Heizungssanierungen mit unterstützenden Messungen beauftragt. Zusätzlich zur Auswertung der Verbrauchsdaten vor und nach der durchgeführten Maßnahme, soll anhand der Messungen das tatsächliche Betriebsverhalten der Heizungsanlage aufgezeigt werden. Hierbei ist das Ziel darzustellen, ob das prognostizierte Einsparpotential tatsächlich erreichbar ist. Durch die Untersuchung soll des Weiteren erreicht werden, dass die energetischen Optimierungen zu einem optimierten Betrieb der Heizungsanlagen führen. Insgesamt wurden für die Betrachtung 30 Heizungsanlagen ausgewählt.

1.1 Aufgabenstellung

Diese Heizungsanalyse soll mit Hilfe einer in der Praxis etablierten Messmethode zeigen:

- ob die mit UfR geförderten Heizungsanlagen bestimmungsgemäß, d.h. funktionsgerecht und energieeffizient betrieben werden,
- ob die geförderten Maßnahmen ihre Förderungsgrundlage, d.h. die rechnerisch kalkulierten Energieeinsparungen und CO₂-Emissionsvermeidungen, erreichen und
- ob durch eine messtechnische Analyse des Betriebsverhaltens zusätzliches Energieeinsparungspotenzial besteht.

Während der Projektstatustreffen wurde sich auf folgende Fragestellungen als wissenschaftliche Auswertung geeinigt:

1. Wie hoch ist die Einsparung beim Vergleich der Verbrauchsdaten vor und nach der geförderten Maßnahme?
2. Wie zutreffend sind die Prognosen auf den Einsparerfolg?
3. Wie ist der Erfolg der unterschiedlichen Maßnahmen im Vergleich:
 - a. bei der Umstellung von Nachtspeicherbeheizung (NSH) zu Gas Brennwerttechnik
 - b. bei der Sanierung von Fernwärmeanlagen
 - c. bei der Umstellung von Öl-Heizungen zu Gas-Brennwerttechnik
 - d. bei atmosphärische Gaskessel zu Gas Brennwerttechnik, inklusive einer Unterscheidung in der Heizungsanlagenkonfiguration, in:
 - I. Einzelkessel
 - II. symmetrische Kaskade
 - III. asymmetrische Kaskade
4. Aus welchen Gründen wurden die berechneten Einsparungen nicht erreicht?
5. Mit welchen Methoden bzw. Maßnahmen können die Einsparziele erreicht werden?

1.2 Ansprechpartner und Projektbeteiligte

Im Rahmen des Projektes „Heizenergie effizienter nutzen“ wollen ratiocalor und die HAW-Hamburg in Begleitung mit dem TÜV NORD Systems 30 reale, bereits durch die BUE geförderte Heizungsanlagen messtechnisch untersuchen und gemäß den obigen Zielen bewerten. Die ratiocalor entwickelt das Messkonzept basierend auf Temperaturdaten und installiert die Messungen in den Objekten. Die Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg begleitet das Projekt wissenschaftlich im Rahmen von studentischen Projektarbeiten. Ansprechpartner der Projektteilnehmer sind:

Prof. Dr.-Ing. Bernd Sankol

- Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
- Fakultät Technik und Informatik, Department Maschinenbau und Produktion
- Berliner Tor 21, 20099 Hamburg
- Tel.: 040 428758704
- bernd.sankol@haw-hamburg.de

Tobias König (Masterand HAW Hamburg)

- S&I Büro Wolter König GmbH
- Rugenbarg 53a, 22848 Norderstedt
- Tel.: 0177 4954554
- tobias.koenig@haw-hamburg.de

Die Basis für die wissenschaftliche Auswertung bildet die Heizungsanlagenanalyse von der ratiocalor und Energiezentrale Nord. Ansprechpartner ist:

Dipl.Ing. Günter Wolter

- Energiezentrale Nord
- Rugenbarg 53a, 22848 Norderstedt
- Tel.: 040 53 798 20 0
- günter.wolter@ez-nord.com

Die TÜV NORD Systems wird das Projekt begleiten um das Messverfahren kennenzulernen und ggf. die Entwicklung einer Abnahmemessung für Heizungsanlagen für die Energieeinsparverordnung (EnEV) anzustoßen. Ansprechpartner ist:

Jörg Heermann

- TÜV NORD Systems GmbH & Co. KG
- Große Bahnstraße 31, 22525 Hamburg
- Tel.: 040 8557 2540 / 0160 888 2540
- jheermann@tuev-nord.de

Der Auftrag für die Messungen an den Heizungsanlagen erfolgte von der IFB:

Martina Luther

- Hamburgische Investitions- und Förderbank.
- Besenbinderhof 31, 20097 Hamburg
- Tel.: 040 2484 6188
- m.luther@ifbhh.de

Für den Erfolg des Projekts sind die Heizungsanlagenauswahl sowie die Kenntnisse über die Förderungsgrundlagen essentiell. Zur Bereitstellung von Unterlagen und Klärung von Fragen sind die Ansprechpartner von Seiten der BUE:

Ronald Burchardt

- Freie und Hansestadt Hamburg – Behörde für Umwelt und Energie
- Neuenfelder Str. 19, 21109 Hamburg
- Tel.: 040 42840 3641
- Ronald.Burchardt@bue.hamburg.de

Roland Schulz

- Freie und Hansestadt Hamburg – Behörde für Umwelt und Energie
- Neuenfelder Str. 19, 21109 Hamburg
- Tel.: 040 42840 3481
- Roland.Schulz@bue.hamburg.de

2 Projektablauf

Das Projekt begann am 01.07.2015 und endete am 30.06.2017. In diesem Zeitraum lagen zwei vollständig gemessene Heizperioden vor. Ziel war es bereits alle Objekte in der ersten Heizperiode, d.h. bis Ende März 2016 zu untersuchen. Der Projektablauf war dabei in zwei Arbeitspakete unterteilt:

Das erste Arbeitspaket *AP1* erarbeiteten die BUE und die HAW. Aufgaben waren u.a.:

- Vorauswahl von ca. 40 Heizungsanlagen inkl. Unterlagen und Gebäudezugang (BUE).
- Festlegung auf 30 Heizungsanlagen inkl. Unterlagen und Gebäudezugang, wissenschaftliche Dokumentation der Gebäudeauswahl (HAW, studentische Projekte)

Das zweite Arbeitspaket *AP2* erarbeiteten ratiocalor und die HAW und wurde optional durch den TÜV begleitet. Die Aufgaben waren u.a.:

- Begehung der Heizungsanlagen und Erstellung eines individuellen Messkonzeptes
- Einrichtung & Durchführung der 30-tägigen Temperaturmessung
- Analyse der Temperaturverläufe, Bewertung des Anlagenzustandes, Aufzeigen von Fehlfunktionen, Empfehlungen zur Fehlerbehebung oder Optimierungen, Quantifizierung des zusätzlichen Einsparpotenzials

Je nach Gebäudeauswahl können mit der zur Verfügung stehenden Messtechnik von ratiocalor ca. 8 Heizungsanlagen zeitgleich vermessen werden. Daraus ergeben sich drei Messpakete (MP) mit je 8 und ein MP mit 5 Heizungsanlagen. Es wurden in Abstimmung mit der BUE folgende vier Messpakete und 5 Ersatzanlagen ausgewählt.

Die Zeiträume für die Messungen wurden wie folgt festgelegt:

- MP 1, Messung Heizungsanlage 1 bis 8: ca. 11. Okt. bis 11. Nov. 2015
- MP 2, Messung Heizungsanlage 9 bis 16: ca. 18. Nov. bis 18. Dez. 2015
- MP 3, Messung Heizungsanlage 17 bis 24: ca. 11. Jan. bis 11. Feb. 2016
- MP 4, Messung Heizungsanlage 25 bis 30: ca. 18. Feb. bis 18. März 2016

Zwischen den Messpaketen lag jeweils eine Umbauphase von einer Woche. Nachgelagert zu den Messpaketen folgte die Analysephase der Messdaten.

Tabelle 2.1: Messpaket 1 11.10.15 bis 11.11.15

Projekt Nr.	Objekt	Straße	HNR	PLZ
1	Aus datenschutzrechtlichen Gründen können keine detaillierteren Angaben zum Standort und Eigentümer/Betreiber der Anlagen aufgeführt werden.			22393
2				22393
3				22339
4				22395
5				22145
6				22147
7				22415
8				22415

Tabelle 2.2: Messpaket 2 18.11.15 bis 18.12.15

Projekt Nr.	Objekt	Straße	HNR	PLZ
9	Aus datenschutzrechtlichen Gründen können keine detaillierteren Angaben zum Standort und Eigentümer/Betreiber der Anlagen aufgeführt werden.			21147
10				22113
11				22113
12				22113
13				22041
14				22041
15				22305
16				20097

Tabelle 2.3: Messpaket 3 11.01.16 bis 11.02.16

Projekt Nr.	Objekt	Straße	HNR	PLZ
17	Aus datenschutzrechtlichen Gründen können keine detaillierteren Angaben zum Standort und Eigentümer/Betreiber der Anlagen aufgeführt werden.			22457
18				22549
19				20259
20				22525
21				22547
22				22609
23				22609
24				22549

Tabelle 2.4: Messpaket 4 18.02.16 bis 18.03.16

Projekt Nr.	Objekt	Straße	HNR	PLZ
25	Aus datenschutzrechtlichen Gründen können keine detaillierteren Angaben zum Standort und Eigentümer/Betreiber der Anlagen aufgeführt werden.			20099
26				22335
27				22307
28				22453
29				22767
30				22765

Tabelle 2.5: Ersatzanlagen

Projekt Nr.	Objekt	Straße	HNR	PLZ
31	Aus datenschutzrechtlichen Gründen können keine detaillierteren Angaben zum Standort und Eigentümer/Betreiber der Anlagen aufgeführt werden.			22111
32				22525
33				20149
34				22335
35				20149

Im Laufe des Projektes wurde entschieden, die Erfassung der Energieverbräuche von insgesamt zwei Jahren mit einzubeziehen. So dass jetzt

Ergebnisse auf der Grundlage der Jahre 2015 und 2016 vorliegen.

Abbildung 2.1 zeigt den zeitlichen Verlauf des Projektes sowie die Zuständigkeiten der einzelnen Projektteilnehmer im Überblick.

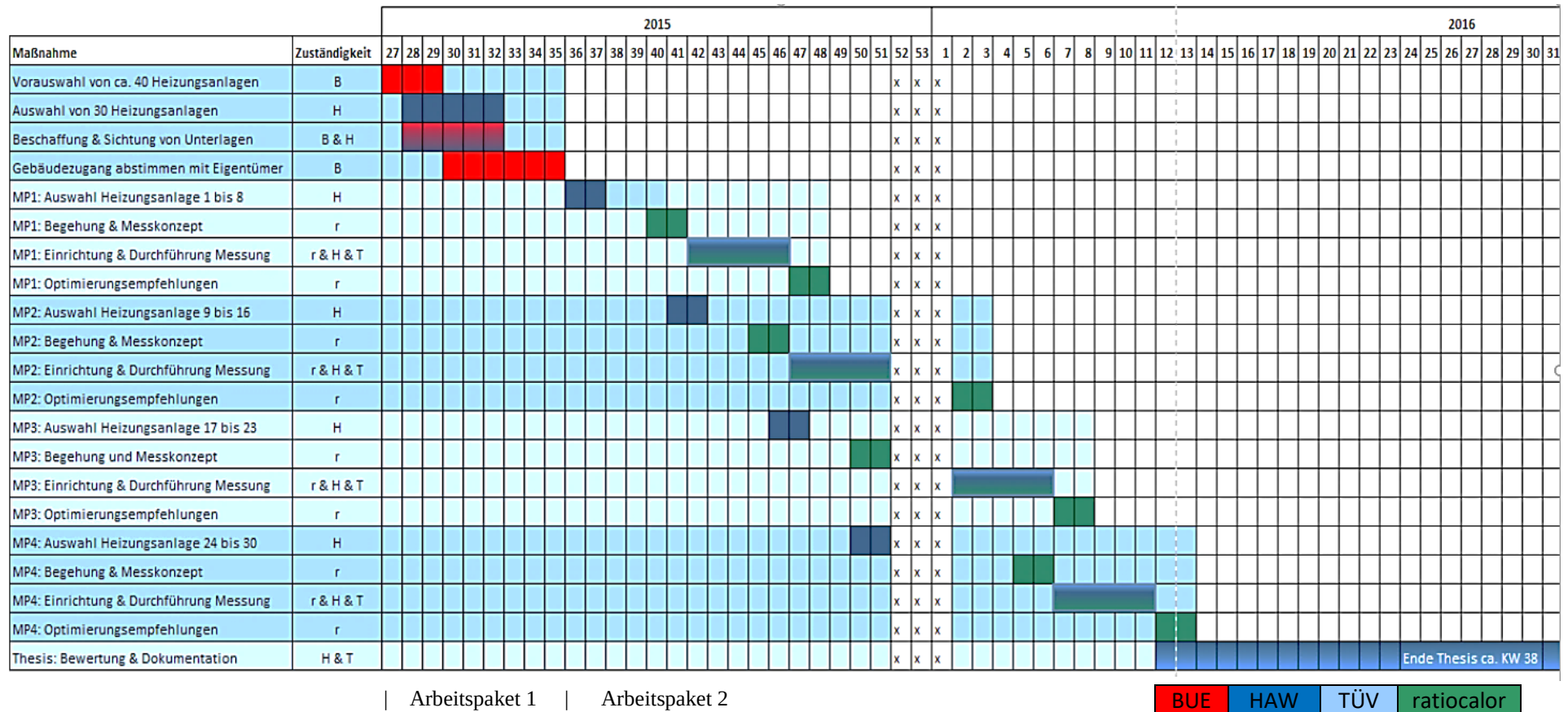


Abbildung 2.1: Projektvorplanung mit zeitlichem Ablauf und Zuständigkeiten

3 Messverfahren

Die Erfolgskontrollen im Rahmen des UfR-Programms haben gezeigt, dass die Auslegung von Heizungsanlagen nicht dessen dynamisches Betriebsverhalten abbildet. Die installierten Regeleinrichtungen in Neu- und Bestandsanlagen können vielfach durch überdimensionierte Anlagenkomponenten oder einen fehlenden hydraulischen Abgleich keinen effizienten Anlagenbetrieb gewährleisten. Deshalb wurde von ratiocalor eine Messmethode gewählt, die das Betriebsverhalten der Heizungsanlage in einer mindestens 30-tägigen kontinuierlichen Temperaturmessung aufnimmt und Fehleinstellungen der Heizungsanlage, Regelungstechnik oder Hydraulik erkennt. Diese messwertgestützte Analyse ermöglicht die Bewertung der Energieeffizienz einer Heizungsanlage.

Mit den Informationen aus den Anlagenbegehungen und dem erstellten Hydraulikschema wurde ein Messkonzept für jede Anlage erstellt. Die durchgeführten Messungen beinhalten das Aufzeichnen von Temperaturdaten an definierten Stellen in der Wärmezeugung und Verteilung einer Heizungsanlage. Die Messpunkte sind im nachfolgenden Hydraulikschema (Abbildung 3.2) beispielhaft dargestellt. Für die Messungen wurden Temperaturmessfühler des Typs PT1000 als Anlegefühler verwendet. Die Außentemperatur am Standort wurde beim Deutschen Wetterdienst abgefragt. Um die Temperatur des Abgasstroms zu messen, wurden für die Messfühler Tauchhüllen verwendet. Ein Daten-Logger hat die Messdaten aus dem Heizungsraum mittels Mobilfunk an ein von der ratiocalor entwickeltes Cloudsystem gesendet. Die empfangenen Daten wurden aufbereitet und mithilfe einer Webbrowsersoftware visualisiert. Zu den ausgewerteten Temperaturverläufen der Heizungsanlage wurden Kommentare zur Analyse des Funktionsverhaltens erstellt. Diese sind auch dem Anhang beigelegt.

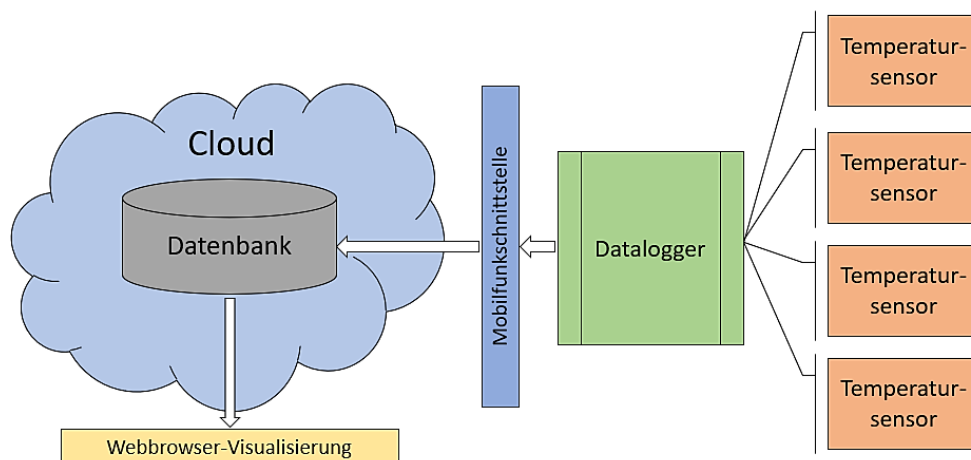


Abbildung 3.1: Schematik der Datenspeicherung in der Cloud

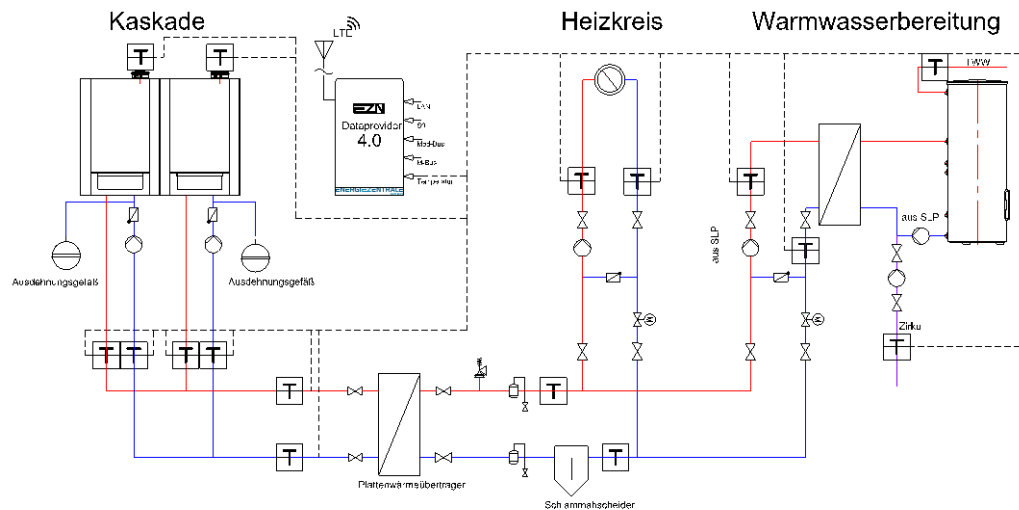


Abbildung 3.2: Beispielanlage Hydraulikschema Messpunkte Temperatur

In der Analyse der Temperaturdaten lassen sich die Energieströme im Heizungssystem nachvollziehen. Es können Einflüsse der verschiedenen Komponenten, wie beispielsweise Pumpen und Motorventile, auf das hydraulische Verhalten der Anlage bei einzelnen Betriebszuständen beobachtet werden. Je nach Wärmeanforderung der Verbraucher wechseln die Betriebszustände ständig, ohne gleichbleibenden Rhythmus. Für eine aussagekräftige Bewertung sind daher Daten aus der Historie unerlässlich. Temperaturdaten sind eine Methode, um die Interpretation der Anlagenbetriebsweise zu ermöglichen. Sie sind für eine kostengünstige thermodynamische Bewertung einer Heizungsanlage hinreichend genau.

Um monetäre Aussagen treffen zu können sind Verbrauchsberechnungen erforderlich, die auf kostenintensives Messen von Massen- bzw. Volumenströmen basieren. In diesem Projekt wurde auf eine monetäre Auswertung verzichtet.

4 Durchführung der Messungen

Die Heizungsanlagen wurden nach Ihrem Standort geclustert, was kurze Wegzeiten zu den einzelnen Objekten ermöglicht. Die nachfolgende Übersichtskarte zeigt den jeweiligen Standort der Heizungsanlagen in Hamburg.

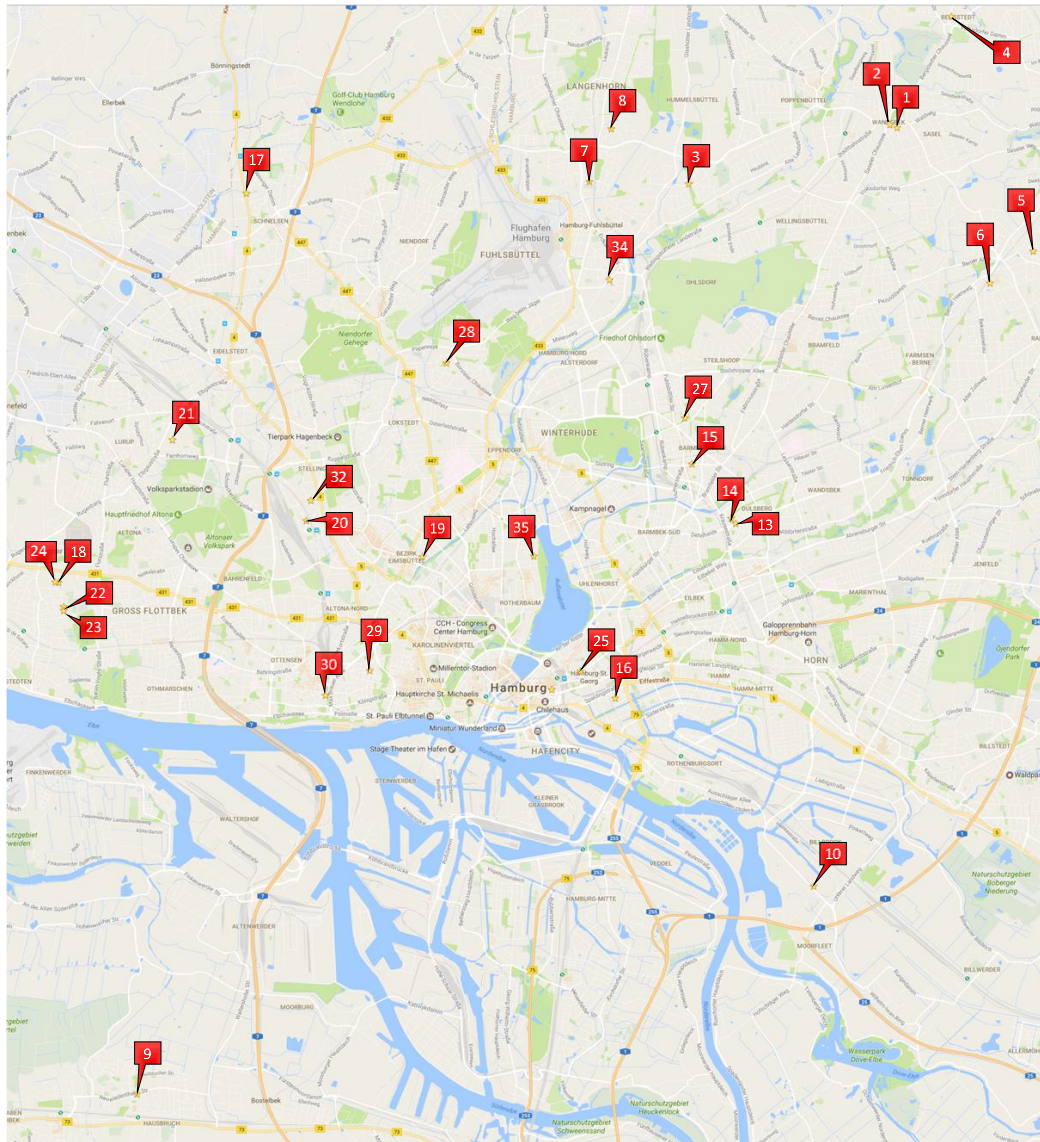


Abbildung 4.1: Übersichtskarte der Standorte (Quelle: google maps)

Während des Projektes sind aus organisatorischen Gründen einige der ursprünglich ausgewählten Anlagen (11, 12, 26, 31 und 33) nicht berücksichtigt worden. Dafür wurden einige der Ersatzanlagen (32, 34 und 35) entsprechend gemessen. Die Tabelle 4.1 zeigt alle gemessenen Anlagen (30 Stk.) mit der zugewiesenen Projektnummer. Mit dieser Projektnummer können im Ergebnisbericht alle Objekte identifiziert werden.

Tabelle 4.1: Tatsächlich gemessene Heizungsanlagen

Mess- zeitraum	Lfd. Nr.	Objekt	Straße	HNR	PLZ
MP 1 11.10. bis 11.11.	1				22393
	2				22393
	3				22339
	4*				22395
	5				22145
	6				22147
	7				22415
	8				22415
MP 2 18.11. bis 18.12.	9				21147
	10				22113
	13				22041
	14				22041
	15				22305
	16	Aus datenschutzrechtlichen Gründen können keine detaillierteren Angaben zum Standort und Eigentümer/Betreiber der Anlagen aufgeführt werden.			20097
MP 3 11.01. bis 11.02	17				22457
	18				22549
	19				20259
	20				22525
	21*				22547
	22*				22609
	23*				22609
	24				22549
MP 4 18.02. bis 18.03.	25				20099
	27				22307
	28				22453
	29				22767
	30				22765
	32				22525
	34				22335
	35*				20149

*wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt, Begründung im nachfolgenden Kapitel

5 Ergebnisauswertung

5.1 Randbedingungen und Fragestellung

Die Ergebnisse der messwertunterstützten energetischen Anlagenbewertung sind für jede Heizungsanlage separat im Anhang zusammengefasst.

Mit der Beantragung der Fördergelder bei der IFB, wurden Prognosen für die CO₂-Einsparung in Kilowattstunden (kWh) durch die Fachbetriebe und Fachplaner abgegeben. Im Rahmen eines studentischen Projektes der HAW Hamburg wurden die Daten der Energieverbräuche und die sich daraus ergebenden CO₂-Emissionen vor und nach der Fördermaßnahme untersucht.

Die Sanierungsmaßnahmen der 30 Messobjekte wurden in verschiedenen Jahren zwischen 2012 und 2014 umgesetzt. Es wurde jeweils witterungsbereinigt der Jahresenergieverbrauch vor der Maßnahme mit dem Jahresenergieverbrauch von 2015 und 2016 verglichen. Die Verbrauchsdaten in kWh pro Jahr vor der Maßnahme wurden bei dem Förderantrag mit eingereicht. Die Verbrauchsdaten nach Umsetzung der Maßnahme wurden in Form von Versorgerabrechnungen mit Unterstützung der BUE bei den Betreibern der Heizungsanlagen im Rahmen des Projektes abgefragt.

Alle Jahresenergieverbräuche in kWh/a wurden mit den Faktoren aus Tabelle 5.1 witterungsbereinigt.

Die mit einem Sternchen (*) markierten Heizungsanlagen 4, 21, 22, 23, 35 (vgl. Tabelle 4.1) wurden aus folgenden Hintergründen nicht in der Auswertung mit berücksichtigt:

- Fehlende Rückmeldungen der Verbrauchsdaten. Teilweise war ein Zugriff auf die Verbrauchsdaten nicht möglich, da die Abrechnung mit dem Energielieferanten direkt mit den Mietern erfolgt ist.
- Bei einer Anlage war der Ablesezeitraum nicht entsprechend des Auswertungszeitraums abgrenzbar.

Der unterschiedliche Berechnungsansatz bei der Umrüstung der Nachtspeicherheizungen der einzelnen Planer wurde aufgrund der Vergleichbarkeit vereinheitlicht.

Für die endgültige Auswertung wurden insgesamt 25 Heizungsanlagen ausgewählt. Dabei handelt es sich um vier Umrüstungen von Nachtspeicherheizung (NSH) auf Erdgas, drei sanierte Fernwärmeanlagen, drei Umrüstungen von Öl auf Erdgas und 15 Anlagen, die von einem alten Erdgasgerät auf ein neues Erdgasgerät umgerüstet wurden. Alle neuen

Heizkessel verwenden die Brennwerttechnologie. Jede Gruppe für sich ist aufgrund der unterschiedlichen Anzahl der Messproben nicht miteinander vergleichbar.

Tabelle 5.1: Grundlage der Witterungsbereinigung (Quelle: BUE)

Jahr	Heizgrenze 18 °C									
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Normgradtagszahl = 100 %	3393	3393	3393	3393	3393	3393	3393	3393	3393	3393
in %										
Januar	11,2	11,9	16,0	19,3	14,5	13,9	15,3	14,9	13,5	15,6
Februar	11,6	11,3	13,4	15,2	13,7	15,4	14,4	10,5	13,0	12,4
März	9,8	12,0	11,6	12,1	12,4	9,9	16,9	9,8	11,1	12,4
April	6,0	8,9	5,0	8,0	5,5	9,0	9,2	6,6	8,7	9,0
Mai	4,1	3,5	4,5	7,4	4,0	4,1	5,0	5,2	6,1	3,5
Juni	1,5	1,7	3,4	2,3	1,9	3,2	2,7	2,2	3,0	1,4
Juli	1,7	1,1	0,9	0,3	1,4	1,5	0,6	0,3	1,3	1,0
August	1,2	0,9	0,6	1,2	1,4	0,9	1,0	2,2	0,5	1,4
September	3,9	3,8	2,9	4,2	2,6	3,9	4,2	2,0	4,1	1,3
Oktober	8,2	7,3	8,8	7,8	7,1	7,7	6,0	4,6	8,1	8,0
November	11,4	10,2	8,3	11,7	11,0	10,6	10,8	9,6	8,7	12,4
Dezember	13,4	14,0	15,6	19,6	12,0	14,9	11,6	13,3	9,2	12,4
gesamt in %	84,0	86,6	91,0	109,1	87,5	95,0	97,7	81,2	87,3	90,8
Jahresgradtagszahl	2852	2939	3080	3702	2969	3226	3315	2755	2962	3081
Faktor zur Witterungsbereinigung (NormGTZ/JahresGTZ)	1,1897	1,1545	1,1016	0,9165	1,1428	1,0518	1,0235	1,2315	1,1455	1,1013

Zur Umrechnung von den Verbräuchen auf die CO₂ Emissionen, wurden folgende Umrechnungsfaktoren zu Grunde gelegt.

Tabelle 5.2: Grundlage CO₂ Berechnung (Quelle: BUE)

Strom (2013 Strom-Mix)	0,566	kg/kWh
Erdgas (in kWh, Hu)	0,201	kg/kWh
Heizöl EL (in kWh, Hu)	0,268	kg/kWh
Fernwärme (2013) Vattenfall	0,295	kg/kWh

5.2 Vergleich Einsparung zur Prognose der Verbrauchsdaten

Die Gegenüberstellung der prognostizierten Einsparung mit den tatsächlichen Verbräuchen für die Jahre 2015 und 2016 ist in den folgenden Abbildungen dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Maßnahmen zur Sanierung der Heizungsanlagen die Prognosen in der Regel nicht erfüllt haben. Die berechneten Einsparungen wurden in 2015 bei 22 Anlagen und in 2016 bei 18 Anlagen nicht erreicht.

Sieben der untersuchten Anlagen in 2015 und acht in 2016 zeigen sogar einen höheren Verbrauch als die alten Anlagen vor der Umsetzung der Maßnahme. Eine genaue Analyse der Messergebnisse befindet sich für jede Anlage im Anhang. Die nachfolgenden Diagramme zeigen die prognostizierten und messtechnisch erfassten Einsparungen für 2015 und 2016 in Prozent. Die Heizungsanlagen sind nach Art der Sanierungsmaßnahme

sortiert. Die Projektnummer zur direkten Objektzuordnung befindet sich auf der X-Achse. Eine größere Darstellung der nachfolgenden Abbildungen befindet sich im Anhang.

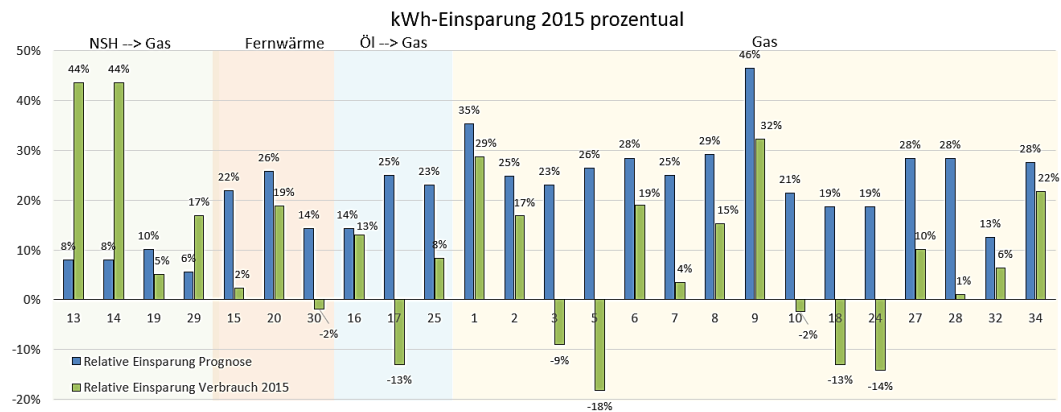


Abbildung 5.1: Vergleich Einsparung 2015 zur Prognose der Verbrauchsdaten

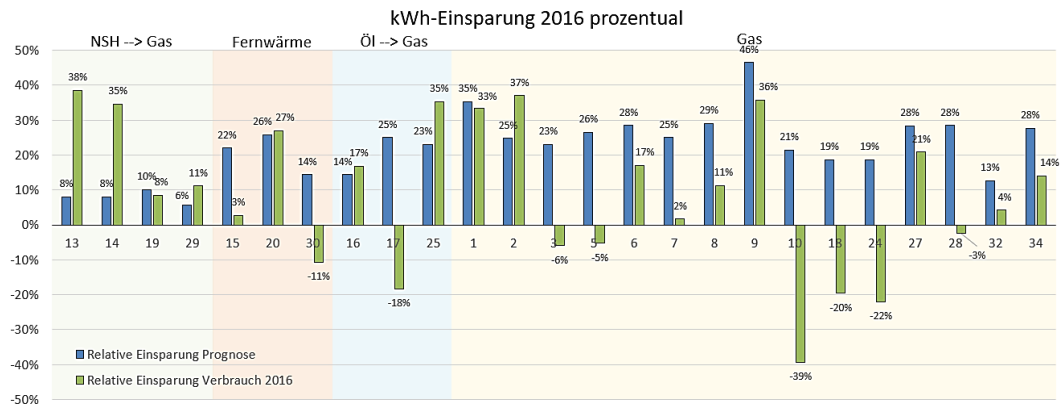


Abbildung 5.2: Vergleich Einsparung 2016 zur Prognose der Verbrauchsdaten

Eine weitere visuelle Übersicht bieten die folgenden Diagramme, in welchen die Abweichungen zu der Prognose in Prozent und sortiert dargestellt sind. Die modernisierten Anlagen blieben hinter den prognostizierten Einsparungsmöglichkeiten zurück: 17 Heizungsanlagen im Jahr 2015 und 18 Anlagen im Jahr 2016 verfehlen die Prognose um mehr als 10%:

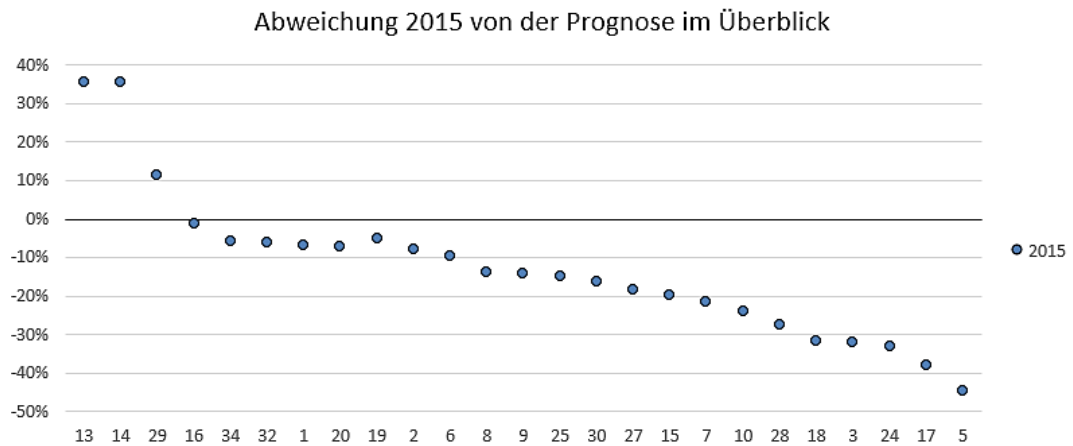


Abbildung 5.3: Abweichung in 2015 zur Prognose in Prozent

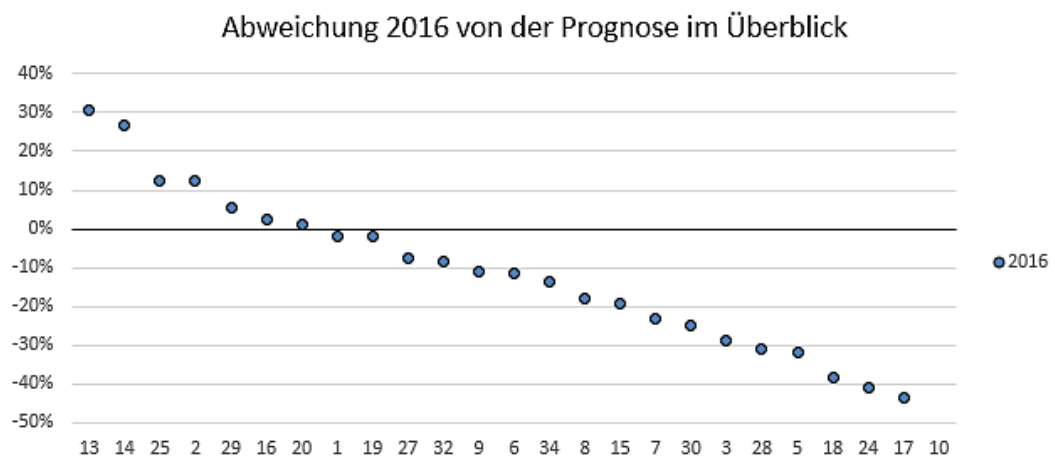


Abbildung 5.4: Abweichung in 2016 zur Prognose in Prozent

Von den im Projekt zur Auswertung ausgewählten 25 Heizungsanlagen wurden 22 mit Gasbrennwerttechnik saniert. Davon wurde bei sieben Maßnahmen ein Kesselaustausch geplant und Einzelkessel eingebaut. Bei 13 Anlagen wurden mindestens zwei Kessel als symmetrische Kaskade geplant. Sieben Sanierungsmaßnahmen sind als asymmetrische Kaskade geplant und eingebaut worden. Das nachfolgende Diagramm zeigt 22 Anlagen mit den prognostizierten und die messtechnisch erfassten Einsparungen in Prozent. Nicht enthalten sind die drei Messobjekte mit Fernwärmeversorgung, da hier zwecks Vergleichbarkeit ein gemeinsamer Energieträger betrachtet werden soll. Die Aufteilung der Anlagenkonfiguration ist wie folgt:

- Einzelkessel: 2
- Symmetrische Kaskade: 13
- Asymmetrische Kaskade: 7

Die Sortierung erfolgt nach der Anlagenkonfiguration.

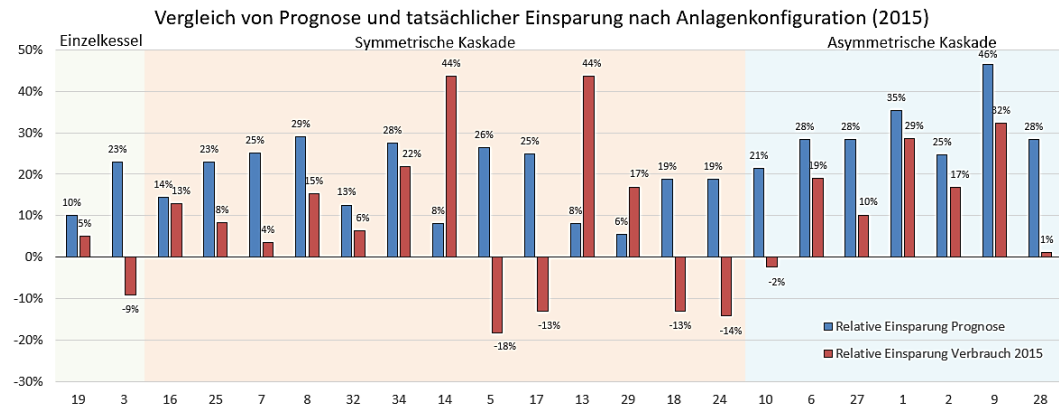


Abbildung 5.5: Vergleich Einsparung 2015 zur Prognose der Verbrauchsdaten nach Anlagenkonfiguration

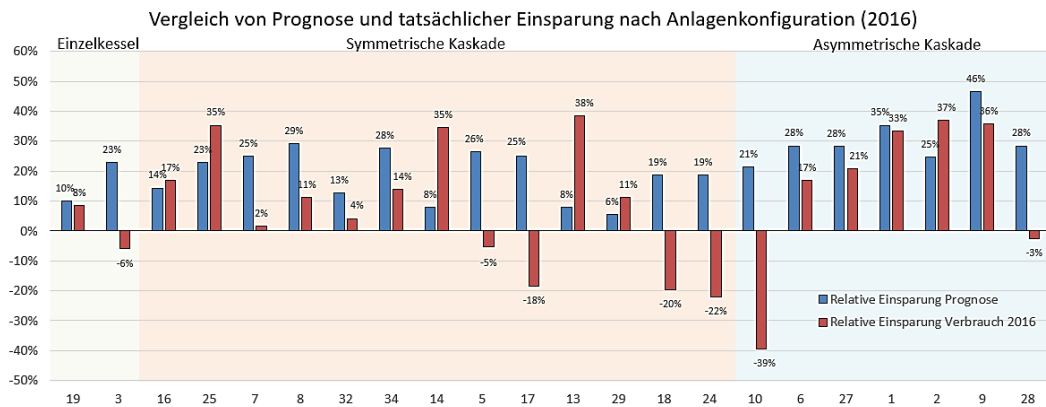


Abbildung 5.6: Vergleich Einsparung 2016 zur Prognose der Verbrauchsdaten nach Anlagenkonfiguration

Es ist zu erkennen, dass fast alle Anlagen nach der Umrüstung bzw. Erneuerung eine Einsparung erzielt haben. Die starke Schwankung des Messobjekts Nr. 10 ist durch das Nutzungsverhalten zu erklären. Allerdings wurden entgegen den prognostizierten jährlichen Einsparungen in Summe von 3,025MWh im Jahr 2015 lediglich 1,162MWh und im Jahr 2016 1,076MWh erreicht. Besonders das hohe Einsparpotential bei den Kaskaden blieb oft ungenutzt. Die Ursachen im Prognosedefizit werden im Kapitel 6 erläutert.

Fortführend zu den Primärenergieeinsparungen werden im nachfolgenden Kapitel die Prognosen zu den CO²-Emissionen untersucht.

5.3 Vergleich zwischen Einsparung und Prognose der CO₂ Emissionen

Die Darstellung in Abbildung 5.7 zeigt im Vergleich die CO₂ Emissionen der Altanlagen, die Prognose der CO₂-Vermeidung bei Förderbeantragung sowie die eingesparten Emissionen der sanierten Heizungsanlagen in 2015 und 2016. Alle Werte beziehen sich auf den Ausstoß von Tonnen CO₂ pro Jahr.

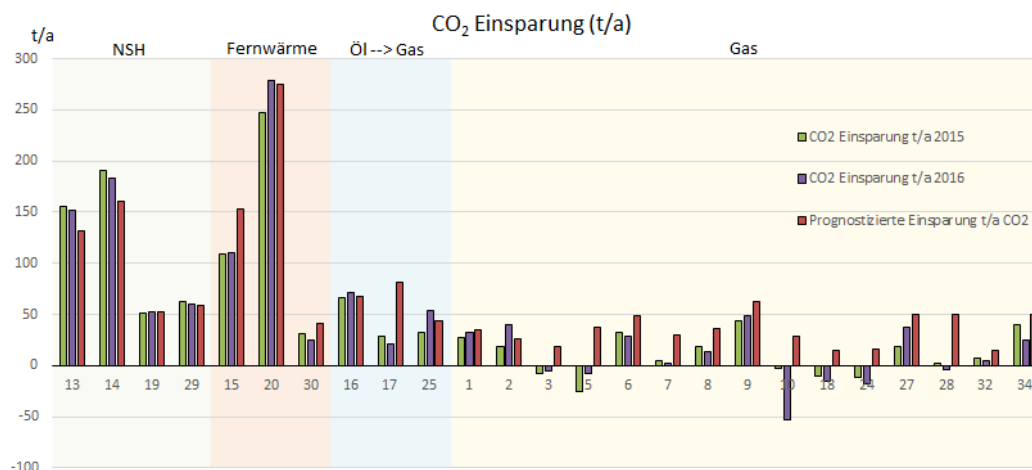


Abbildung 5.7: Vergleich zwischen Einsparung und Prognose der CO₂ Emissionen

Die gesamten Emissionen werden in der nachfolgenden Abbildung 5.8 dargestellt. Auch hier wird der Vergleich zwischen den CO₂ Emission der Altanlagen, der Prognose der CO₂-Emissionen bei Förderbeantragung sowie den Emissionen der sanierten Heizungsanlagen in 2015 und 2016 gezogen.

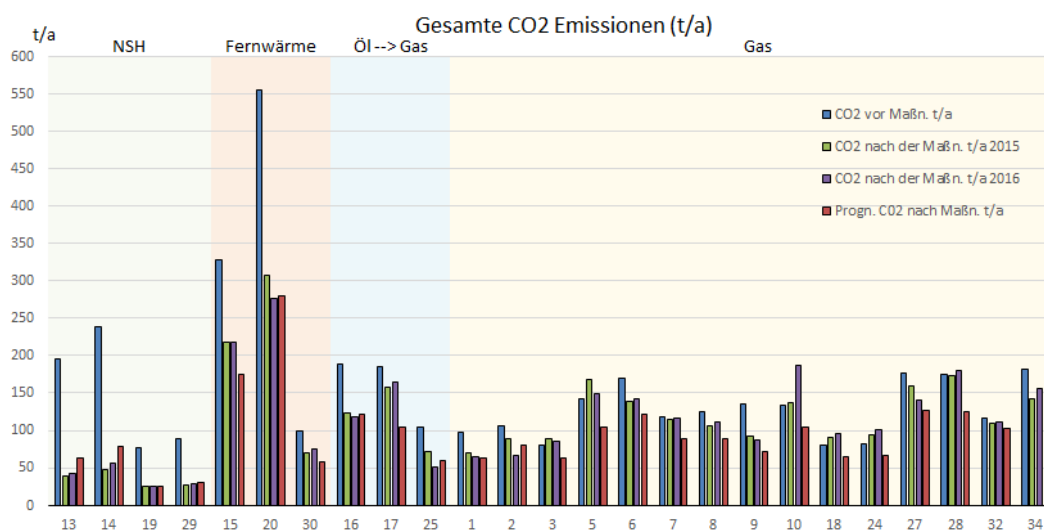


Abbildung 5.8: Vergleich zwischen den gesamten CO₂ Emissionen und der Prognose

Über die Jahre differierende Abweichungen können durch stark veränderte Nutzung verursacht sein (bspw. Objekt 10: eine Halle mit verändertem Wärmebedarf von 2015 auf 2016):

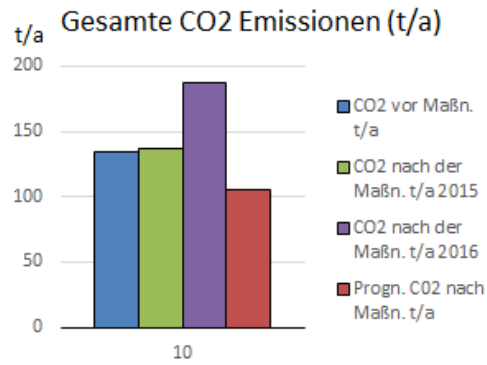


Abbildung 5.9: Vergleich zwischen Einsparung und Prognose der CO₂ Emissionen Anlage 10

Im Gesamtergebnis sind die CO₂ Einsparungen hinter den prognostizierten Zielen zurückgeblieben, auch wenn drei Anlagen 2015 (13, 14, 29) und sieben Anlagen 2016 (2, 13, 14, 16, 20, 25, 29) weniger CO₂ produzieren als die Prognose vorgab. Bei sieben Anlagen trifft die Prognose annähernd ($\pm 10\%$) zu. In weiteren sechs Heizungsanlagen (3, 5, 10, 18, 24, 28) wird mehr CO₂ emittiert, als die Altanlage zuvor emittierte.

Die folgende Abbildung 5.10 und Abbildung 5.11 verdeutlichen die Abweichung zur Prognose für die Jahre 2015 und 2016. Die Daten für den CO₂ Ausstoß wurden als prozentuale Abweichung dargestellt und sortiert. Die Projektnummern für die Zuordnung der Anlagen befinden sich auf der Y-Achse.

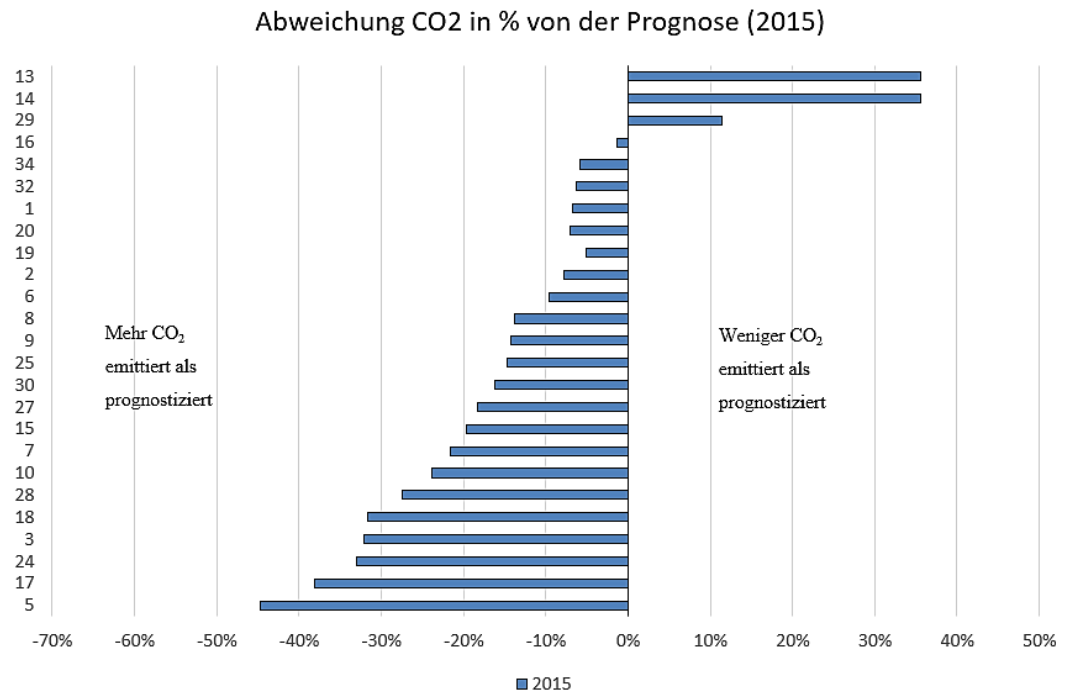


Abbildung 5.10: Abweichung zur Prognose CO₂ Emission 2015 in Prozent

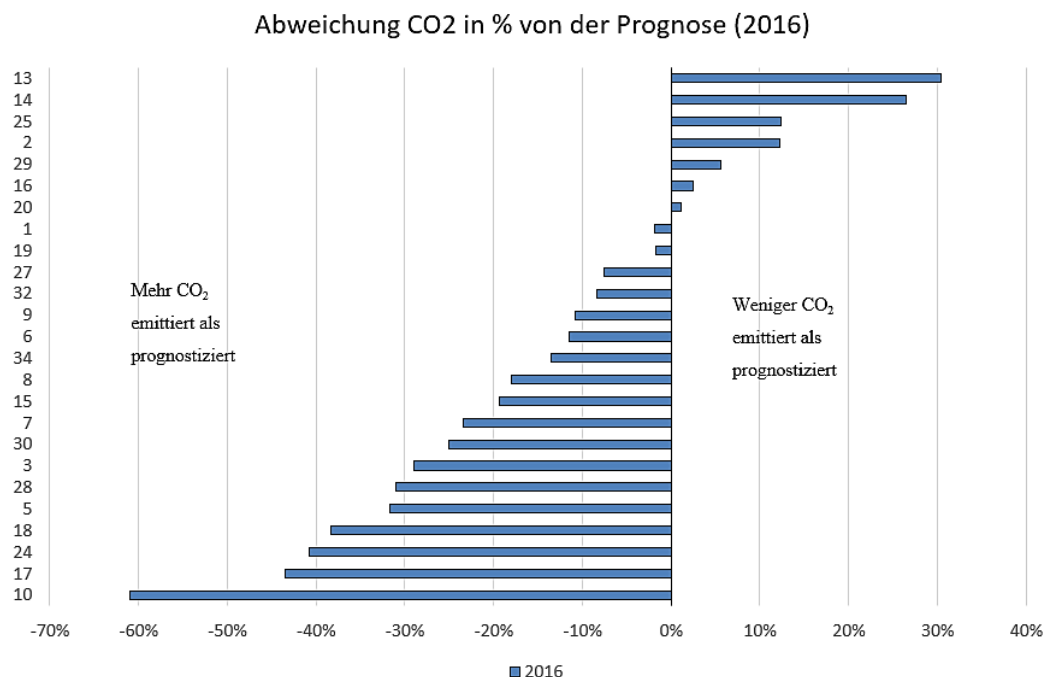


Abbildung 5.11: Abweichung zur Prognose CO₂ Emission 2016 in Prozent

Es zeigt, dass 9 Anlagen mehr als 20% über den Zielstellungen der prognostizierten CO₂ Emissionen liegen. Beispielsweise weicht die Heizungsanlage mit der Projektnummer 25 ca. 15% im Jahr 2015 gegenüber der Einsparprognose ab und emittiert somit ca. 15% mehr CO₂ als geplant.

Besonders hervorzuheben ist die Nachjustierung der Anlage 25. In der nachfolgenden Abbildung 5.12 ist dargestellt, dass die Abweichung gegenüber der Prognose im Jahr 2015 rund 15% betrug: die Anlage emittierte mehr CO₂ als geplant. Eine anschließende Nachjustierung der Anlage erfolgte im Jahr 2016. Es ist zu erkennen (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**), dass daraufhin die Anlage 12% weniger CO₂ emittierte als prognostiziert.

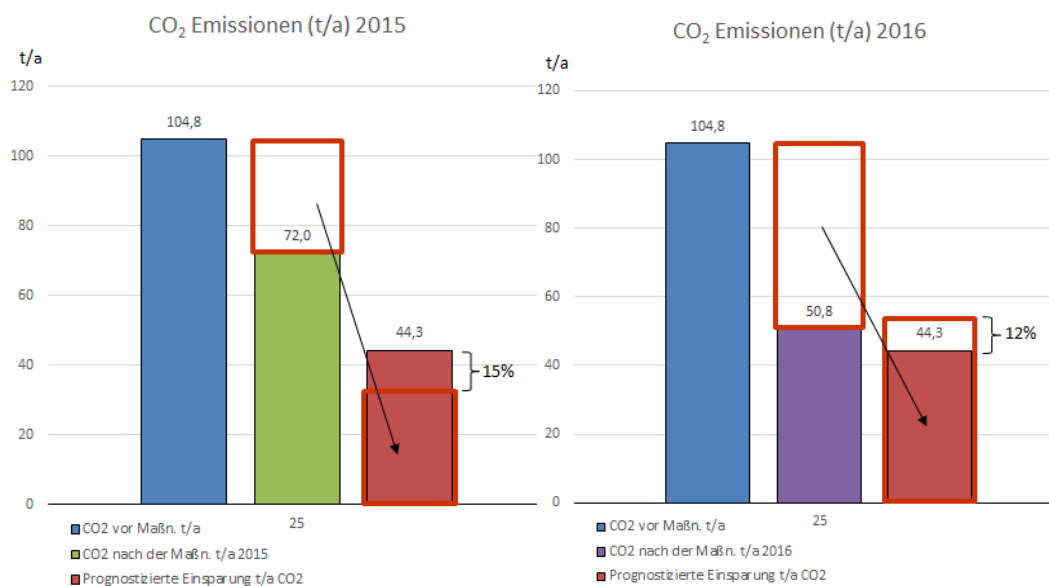


Abbildung 5.12: Beispiel Berechnung CO₂ Emissionen und Einsparung (2015 und Nachjustierung 2016)

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die tatsächlichen Einsparungen an CO₂-Emissionen hinter den prognostizierten Zielen zurückgeblieben sind. Besonders bei den asymmetrischen Kaskaden ist die Prognose und das erreichte Einsparpotential unzureichend ausgeschöpft worden. Allerdings ist das absolute Volumen an CO₂-Emissionen nach Durchführung der geförderten Maßnahmen deutlich zurückgegangen. Über alle Anlagen aufsummiert sind durch die umgesetzten Maßnahmen rund 1100 Tonnen CO₂ pro Jahr eingespart worden, was etwa 28% gegenüber dem Ausgangszeitpunkt entspricht.

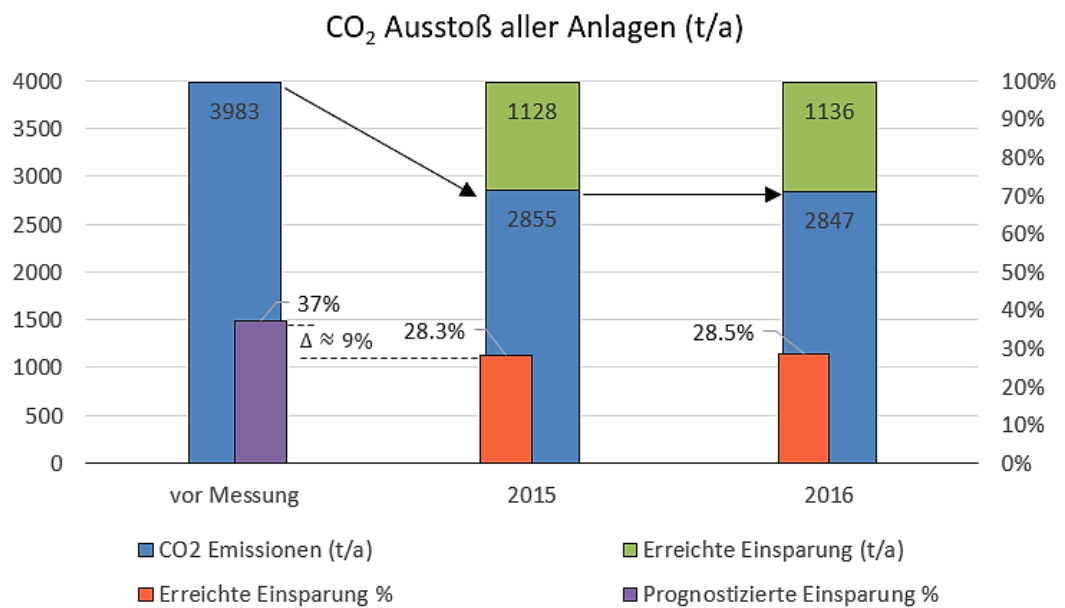


Abbildung 5.13: Übersicht der gesamten, prognostizierten und erreichten Einsparungen der CO₂-Emissionen

Zu berücksichtigen ist an dieser Stelle auch der Einfluss der Umrüstung von Nachtspeicherheizung auf Gasbrennwertkessel (Projekt Nr. 13 und 14). Hieraus resultiert ein sehr starken Anstieg der Emissionsvermeidung.

Wird die in der Berechnung auf die Projekte mit der Umrüstung auf einen anderen Energieträger und die Fernwärmeversorgung verzichtet, so ist die Abweichung in der prognostizierten CO₂-Einsparung größer: Die erfasste Differenz beträgt rund 18%.

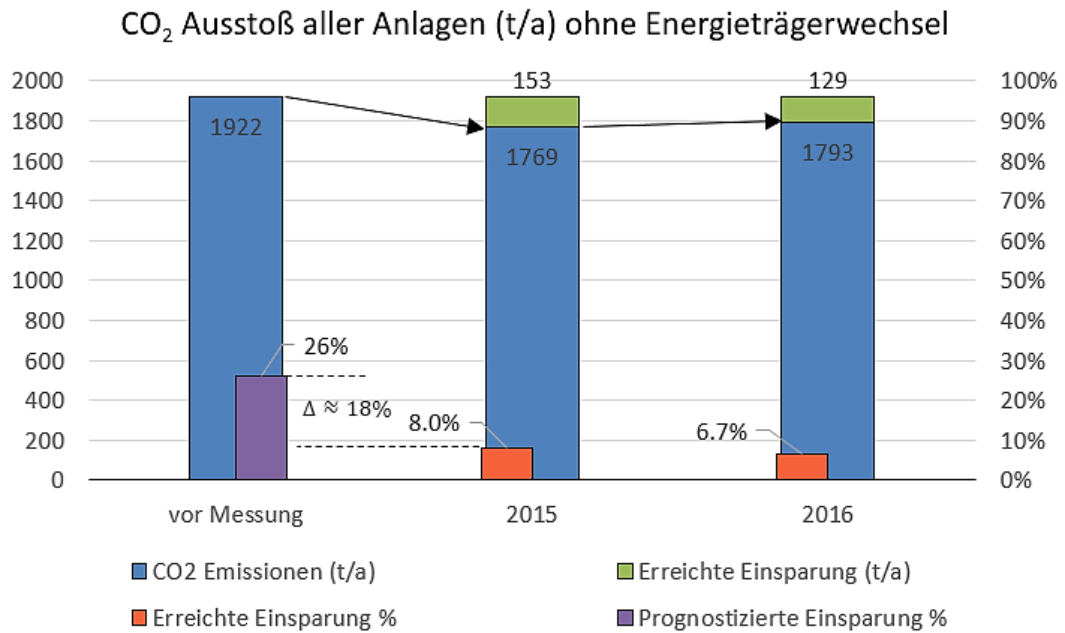


Abbildung 5.14: Übersicht der gesamten, prognostizierten und erreichten Einsparungen der CO₂-Emissionen (ohne Energieträgerwechsel)

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Prognosen hohe Abweichungen zu den tatsächlichen Verbräuchen aufweisen und diese durch ein alleiniges Austauschen von Anlagenkomponenten nicht zu erreichen sind. Hierbei ist insbesondere die Betriebsführung und Fehler beim Aufbau der jeweiligen Anlagen mit zu berücksichtigen.

Die Prognosen von Ingenieuren, Energieberatern, Handwerksmeistern basieren auf Erfahrungswerten oder theoretischen Berechnungsansätzen mit oft unterschiedlichen Annahmen von Randbedingungen. Die durchgeführten Messungen mittels Temperaturdatenaufzeichnung der Heizungsanlage zeigen das tatsächliche physikalische Verhalten und dynamischen Zuständen während des Betriebes. Es werden die Ursachen, die zu Mehrverbräuchen und den Abweichungen der Prognosen führen, sichtbar. Weiterhin sind bauliche Fehler festgestellt worden, bei denen falsche Bauteile oder falsch dimensionierte Bauteile eingebaut wurden. Die Hauptursachen sind allerdings Fehleinstellungen in der Mess-, und Regelungstechnik.

6 Fehlerauswertung bei den modernisierten Heizungsanlagen

6.1 Fehlerbetrachtung der 30 untersuchten Anlagen

In diesem Kapitel sollen die Ursachen für die nicht unerheblichen Abweichungen der tatsächlichen Verbräuche von den Verbrauchsprognosen analysiert werden. Dafür wird auf Basis der Messdaten das Betriebsverhalten der Heizungsanlagen untersucht. Insgesamt wurde bei 79% aller Anlagen ein nicht optimales Betriebsverhalten festgestellt, was zu einem erhöhten Energieverbrauch, mehr Verschleiß und einer Lebenszyklusreduzierung führt.

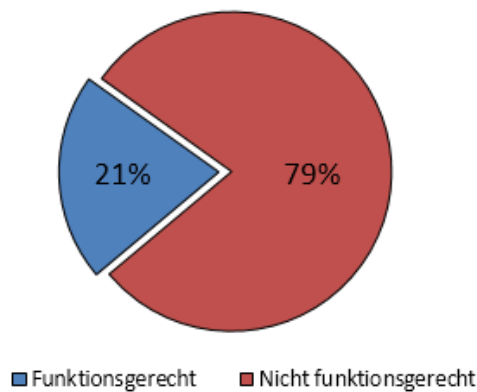


Abbildung 6.1: Verteilung: Übersicht funktionsgerechte Betriebsweise

Taktverhalten

Ein häufig beobachteter Fehler ist das Takten der Heizkessel. Von den gemessenen Wärmeerzeugern wiesen 62% einen Taktbetrieb auf, d.h. die Anlagen starteten bis zu 10-mal pro Stunde. Unter Takten ist das häufige Starten des Brenners zu verstehen, welches einen erhöhten Energieverbrauch und eine stärkere Materialbelastung verursacht. Beim Startvorgang wird bei Gasbrennwertkesseln mittels Gebläse Frischluft in die Brennkammer geblasen (Vorspülphase), wobei Stauwärme des letzten Startvorganges über den Schornstein abgeführt wird. Des Weiteren ist der feuerungstechnische Wirkungsgrad der Anlage während des Anfahrvorgangs niedrig, da bedingt durch diesen instationären Vorgang keine vollständige Verbrennung stattfinden kann. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass der energetische Mehraufwand durch häufigeres Takten bei 15-30% liegt.

Zu dem Takten kommt es durch falsche Regelungseinstellungen, Fehler von Sensordaten, zu hohe oder niedrige Volumenströme und eine zu hohe Dimensionierung der Wärmeerzeuger. Die häufigste Ursache ist allerdings die zu hoch installierte Leistung. Bei

der Installation von nur einem überdimensionierten Kessel ist die erzeugte Wärmemenge des unteren Modulationsbereichs zu hoch – die Anlage muss folglich Takten, da die Vorlauftemperatur den Grenzwert regelmäßig überschreitet. Weiterhin können eine nicht optimale Kesselrangfolge bei Kaskadenschaltungen oder auch ein zu geringes Pufferspeichervolumen der Warmwasseraufbereitung (Kompensation der Spitzenlast) ursächlich für das Taktverhalten sein.



Abbildung 6.2: Verteilung: Takt- und funktionsgerechter Betrieb

Kein Brennwertnutzen

Neben dem Taktverhalten wurde festgestellt, dass bei 65% der gemessenen Anlagen die Rücklauftemperatur zu hoch ist. Eine effektive Brennwertnutzung findet nur bei Rücklauftemperatur unterhalb von 55°C statt. Wird der Brennwert nicht ausgenutzt, ist ein Energiemehraufwand von circa 5-10% zu erwarten. Ursache für eine zu hohe Rücklauftemperatur kann u.a. ein mangelhafter oder nicht vorhandener hydraulischer Abgleich sein. Weiterhin können als mögliche Ursachen eine nicht bedarfsgerechte, d.h. vielfach zu hohe Vorlauftemperatur, hydraulischer Kurzschluss durch unsachgemäß montierte Schaltungen oder ein zu hoher Lade- bzw. Primärvolumenstrom (bedingt durch eine zu hoch eingestellte oder falsch dimensionierte Pumpe) genannt werden.

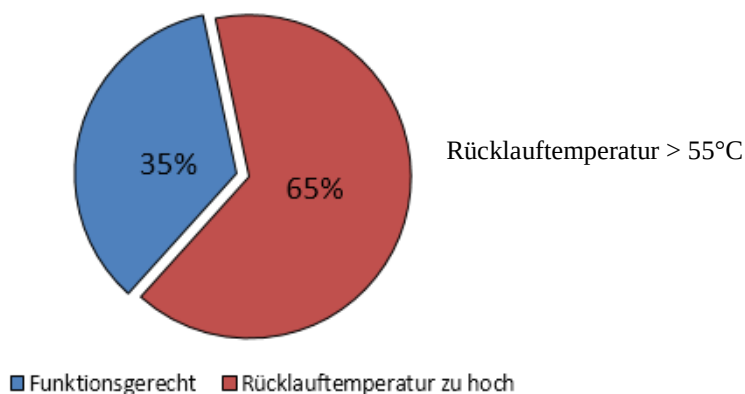


Abbildung 6.3: Verteilung: zu hohe Rücklauftemperatur und funktionsgerechter Betrieb

Zusammengefasst lässt sich erkennen, dass nur rund 21% der gemessenen Heizungsanlagen ein optimales Betriebsverhalten zeigen. Die größte Fehlerquelle ist mit 48% das häufige Takten der Wärmeerzeuger in Verbindung mit einer zu hohen Rücklauftemperatur.

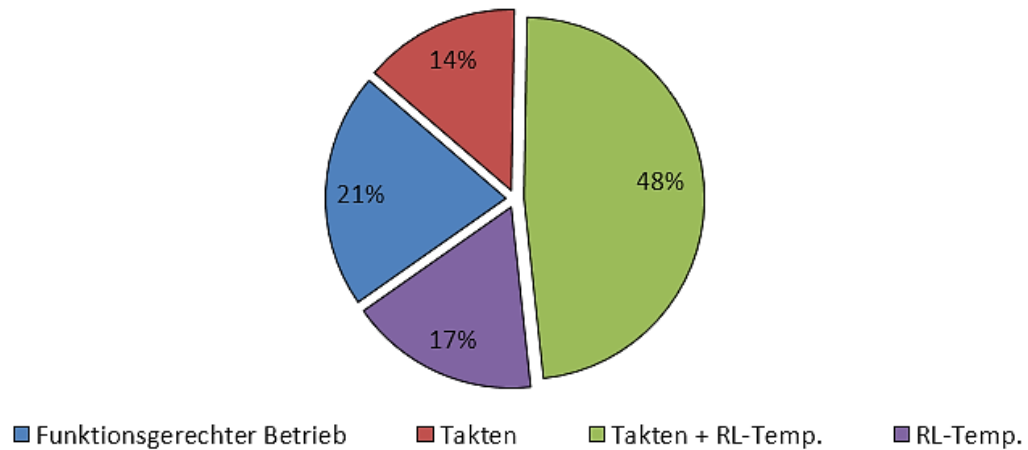


Abbildung 6.4: Gesamtverteilung Funktionsdefizite

Warmwasseraufbereitung

Werden die ermittelten Funktionsdefizite nach keiner und vorhandener Warmwasseraufbereitung (WWA) aufgeschlüsselt, so zeigt sich, dass das Vorhandensein einer WWA mit der Fehlerwahrscheinlichkeit korreliert. Rund die Hälfte aller gemessenen Anlagen besitzt eine Warmwasseraufbereitung. Von den Anlagen mit Warmwasseraufbereitung weisen 83% ein Taktverhalten und eine erhöhte Rücklauftemperatur auf.

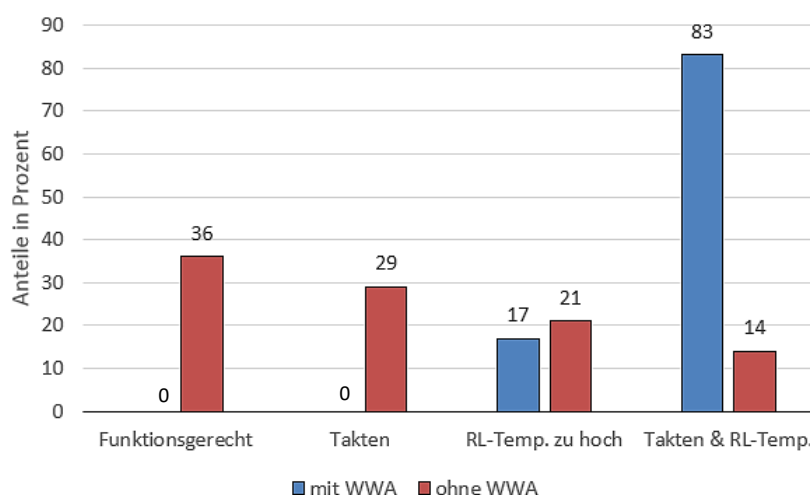


Abbildung 6.5: WWA und Fehlerverteilung

Als Ursache für das festgestellte Anlagenverhalten ist bei mehr als der Hälfte ein mangelhafter oder nicht durchgeführter hydraulischer Abgleich zu nennen. Energiemehrverbräuche von circa 10-30% können die Folge sein.

6.2 Allgemeine Fehlerbeobachtungen und Erkenntnisse aus der Praxis

In den letzten Jahrzehnten wurden Heizungsanlagen oft zu groß dimensioniert. Der Grund liegt in den gültigen Auslegungsansätzen (Heizlastberechnung ohne Berücksichtigung von Gleichzeitigkeiten), in Sicherheitsaufschlägen sowie auch an Funktionsproblemen bestehender Altanlagen, die nicht richtig diagnostiziert werden konnten. Die Funktionsprobleme überdimensionierter Heizungsanlagen werden durch einen nicht vorhandenen hydraulischen Abgleich, zu großen Pumpenleistungen oder fehlerhaften Regelungseinstellungen verstärkt und verursacht. Aufgrund von fehlenden dynamischen Daten des Betriebsverhaltens einer Anlage wurde häufig eine zu geringe Kesselleistung für die Unterversorgung verantwortlich gemacht. Die Folge war eine Vergrößerung der Kesselleistung bei der Erneuerung. Durch diesen Vorgang sind nun viele Wärmeerzeugungsanlagen stark überdimensioniert, was zu einem starken Taktbetrieb mit erhöhtem Energieverbrauch, mehr Verschleiß sowie einem reduzierten Lebenszyklus führt. In den Anlagen der hier vorliegenden Analyse wurde die Kesselleistung nicht vergrößert. Trotz berechneten Heizleistung zeigt sie dennoch im Ergebnis bei 62 % der geförderten Anlagen eine zu häufige Taktung, siehe Abbildung 6.2. Die Heizleistung hätte im Rahmen der Maßnahmen weiter reduziert werden können.

Dieser Entwicklung muss entgegengewirkt werden und mit geeigneten Maßnahmen ist die richtige Kesselleistung vor einer anstehenden Erneuerung der Wärmeerzeugung zu ermitteln.

Diese Erkenntnisse bezüglich der Neudimensionierung der Wärmeerzeugung sind bereits bei der Planung zu berücksichtigen. Hierfür kann entweder auf vorhandene Funktionsaufzeichnungen (Temperatur und Verbrauchsdaten) oder auf eine Gebäudeanschlusswertmessung mit einem mobilen Ultraschallvolumenstrommessgerät zurückgegriffen werden.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Regelung. Hier sind umfassende Kenntnisse notwendig, sodass die Regelung auch die gewünschte Anlagenkonstellation regeln kann. So kann beispielsweise nicht jede Regelung eine asymmetrische Kaskade optimal und effizient regeln oder die Regelungen der einzelnen Hersteller können nicht miteinander kommunizieren, was in den meisten Fällen zu einem nicht bestimmungsgemäßen Betrieb führt.

Sind diese Punkte bei der Auswahl der neuen Anlagentechnik berücksichtigt worden, folgt die Installation der neuen Wärmeerzeugung, gefolgt von einer Inbetriebnahme, die in der

Regel auf Momentaufnahmen und Mangelmeldungen aus dem Gebäude basiert. Zur Behebung der Mangelmeldungen werden oftmals die Pumpenleistungen oder Temperaturen erhöht. Folglich liegt der Energieverbrauch 2-3-mal höher als geplant, der Verschleiß steigt stark an und die Lebenserwartung der Komponenten sinkt.

Bei der heutigen, sehr komplexen Anlagentechnik mit verschiedenen Herstellerkomponenten, nicht miteinander kommunizierenden Regelungen und diversen Programmierungsmöglichkeiten, ist es nur durch eine Inbetriebnahmemessung inklusive Erfassung von Temperaturverläufen und Verbrauchsdaten möglich, die Wärmeerzeugung auf das Gebäude abzustimmen und einen energieeffizienten und verschleißreduzierten Betrieb zu gewährleisten.

Nach der Inbetriebnahmephase und Abstimmung der Wärmeerzeugung auf die Gebäudebedürfnisse, sollte die Überwachung der Verbrauchsdaten weitergeführt werden. Nur so ist es möglich, Mehrverbräuche durch neue Fehlfunktionen, Bauteildefekte und Regelungsveränderungen zeitnah und nicht erst bei der nächsten Nebenkostenabrechnung oder Mangelmeldung durch die Bewohner zu entdecken.

Nachdem eine Verschlechterung der Effizienz festgestellt wurde, ist in vielen Fällen die erneute Installation einer Temperaturdatenaufzeichnung zur Funktionsanalyse notwendig. Auf Basis dieser Erkenntnis, ist gerade bei komplexen Wärmeerzeugungsanlagen mit beispielsweise Gasbrennwerttherme, Wärmepumpe und Solarthermie zu empfehlen, die Betriebsdaten (Verbrauch und Temperaturen) in einer energetischen Betriebsführung dauerhaft aufzuzeichnen.

Der Verschleiß und auch die Notdiensteinsätze können mit der Aufzeichnung von Temperatur- und Verbrauchsdaten deutlich reduziert und die Lebenserwartung sowie die Zuverlässigkeit der Wärmeerzeugung verlängert werden.

Auf Grundlage der Erfahrungen aus diesem Projekt wird das nicht ausgeschöpfte energetische Einsparpotential auf circa 20-30% geschätzt.

7 Zusammenfassung

Bei den Ortsbegehungen wurden für die jeweiligen Heizungsanlagen eine Vielzahl von Informationen gesammelt und aufbereitet. Es wurden alle Komponenten der Wärmeerzeugung sowie Verteilung erfasst und ein vereinfachtes Hydraulikschema gezeichnet, sofern kein aktuelles vorhanden war. Auf Grundlage der erstellten Hydraulikschemas wurden Messkonzepte erstellt und die Messdaten visualisiert. Alle Projektteilnehmer sowie die jeweiligen Anlagenbetreiber hatten Zugang zu den jeweiligen Messobjekten und den Messdaten auf der von der ratio calor (heute Energiezentrale Nord) zur Verfügung gestellten Visualisierungsplattform.

Die Heizungsanlagen wurden von den Spezialisten der Firma ratio calor analysiert sowie für jede Anlage ein Bericht erstellt. Vereinzelt haben Anlagenbetreiber sofort reagiert und sind ersten Optimierungsempfehlungen gefolgt. Diese Änderungen wurden jedoch nicht separat in der Verbrauchs- und CO₂ Auswertung erfasst.

Die Auswertung der HAW Hamburg zeigt deutliche Abweichungen in den Prognosen bei Beantragung der Fördermittel und den tatsächlichen Energieverbräuchen der Anlage nach Umsetzung der Maßnahme. Sieben der untersuchten Heizungsanlagen verbrauchen im Jahr 2015 mehr als die Altanlagen zuvor. Im Jahr 2016 sind es acht Anlagen die einen Mehrverbrauch gegenüber der alten Heizungsanlage zeigen. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass es nicht an der Technik der Heizungsanlage selbst liegt, sondern andere Einflüsse für den Effekt ineffizienter und verschleißerhöhter Betriebsweisen verantwortlich sind.

Ursachen, die innerhalb des Projektes ermittelt wurden, sind beispielsweise Planungsfehler und falsche Anlagenauswahl, Überdimensionierung in der Leistung, Fehler im Aufbau der Anlage sowie nicht funktionsgerechter Mess- und Regelungseinstellungen.

Die Überprüfung der Verbrauchsdaten zeigt, dass Prognosen stark abweichen und in dieser Form keine zuverlässige Aussagekraft bieten. Lediglich eine Anlage hat die Prognose fast erfüllt und 17 (2015) bzw. 18 (2016) Anlagen weichen mehr als 10% ab. D.h. die Prognosen wurden korrekt ermittelt und wären bei optimalem Betrieb der Anlagen erreichbar, jedoch ist erkennbar, dass die Prognosen keine Planungssicherheit bieten.

Die Messungen zeigen, dass alle Anlagen weiteres Verbesserungspotenzial haben und optimiert weit weniger Energie verbrauchen und damit weniger CO₂ emittieren könnten als prognostiziert. Die planerische Auswahl der richtigen Wärmeerzeugung und die richtige

hydraulische Verteilung der Wärme, verbunden mit einer kontinuierlichen Überwachung der Betriebsweise, sind hier der Schlüssel.

Es fehlt eine angemessene Qualitätssicherung für die Inbetriebnahme neu errichteter Heizungsanlagen sowie nach Reparaturen und Wartungen. Der statische Betriebszustand einer Anlage bei der Inbetriebnahme an einem zufälligen Tag im Jahr ist als Qualitätssicherung nicht ausreichend. Die zudem immer komplexer werdende Heizungstechnik führt zu gesteigerter Fehlerhäufigkeit im Aufbau und Betriebsweise. Auffällig ist dies bei den asymmetrischen Kaskaden. Diese haben das höchste Potenzial genau auf die Wärmeanforderung eines Gebäudes zu reagieren und damit sehr effizient Wärme zu erzeugen. Bei falscher Betriebsführung zeigt sich hier ein deutlicher Mehrverbrauch an Energie.

Herausforderungen entstehen beim Verteilen der Wärme und Programmieren der Kesselschaltzeiten in Abhängigkeit der Außentemperaturen sowie der Kessel untereinander. Die Programmierung der Schaltzeiten ist ohne eine messtechnische Überwachung nicht sinnvoll lösbar.

Hinzu kommt der politisch geforderte Energiemix mit Nutzung regenerativer Wärmeerzeuger, die häufig von unterschiedlichen Herstellern geliefert werden und deren Regelungen untereinander nicht kommunizieren können. Hier sollte sichergestellt werden, dass regenerative Wärmeerzeuger die Grundlasten abdecken und fossile Brennstoffkessel nur bei Spitzenlasten zugeschaltet werden.

Gerade mit der Vielzahl von Herstellerprodukten und dem Ideenreichtum der Ingenieure bei der Wärmeerzeugung lässt sich ohne eine messtechnische Evaluierung der optimale und effiziente Betrieb in einem bestimmten Zeitraum nicht erreichen.

8 Fazit

Die Analysen zu den hier betrachteten Heizungsanlagen zeigen, dass vorhandene Einsparungspotentiale nicht ausgeschöpft werden. Bei 79 Prozent wurde eine nicht optimale Betriebsweise festgestellt. Heizungsanlagen wurden im Laufe der Zeit durch ihre Vielfalt und den technischen Anforderungen immer komplexer in Planung, Betrieb und Wartung. In der Zusammenfassung sind die vielfältigen Ursachen, die zur Ineffizienz der Anlagen führen können, beschrieben. Um den bestimmungsgemäßen, funktionsgerechten und energieeffizienten Betrieb einer Heizungsanlage zu garantieren, ist eine Messung bei der Inbetriebnahme neuer Heizungsanlagen ein eminent wichtiger Punkt. Verbunden mit einem Monitoring der Anlage können Fehler rechtzeitig erkannt und behoben werden.

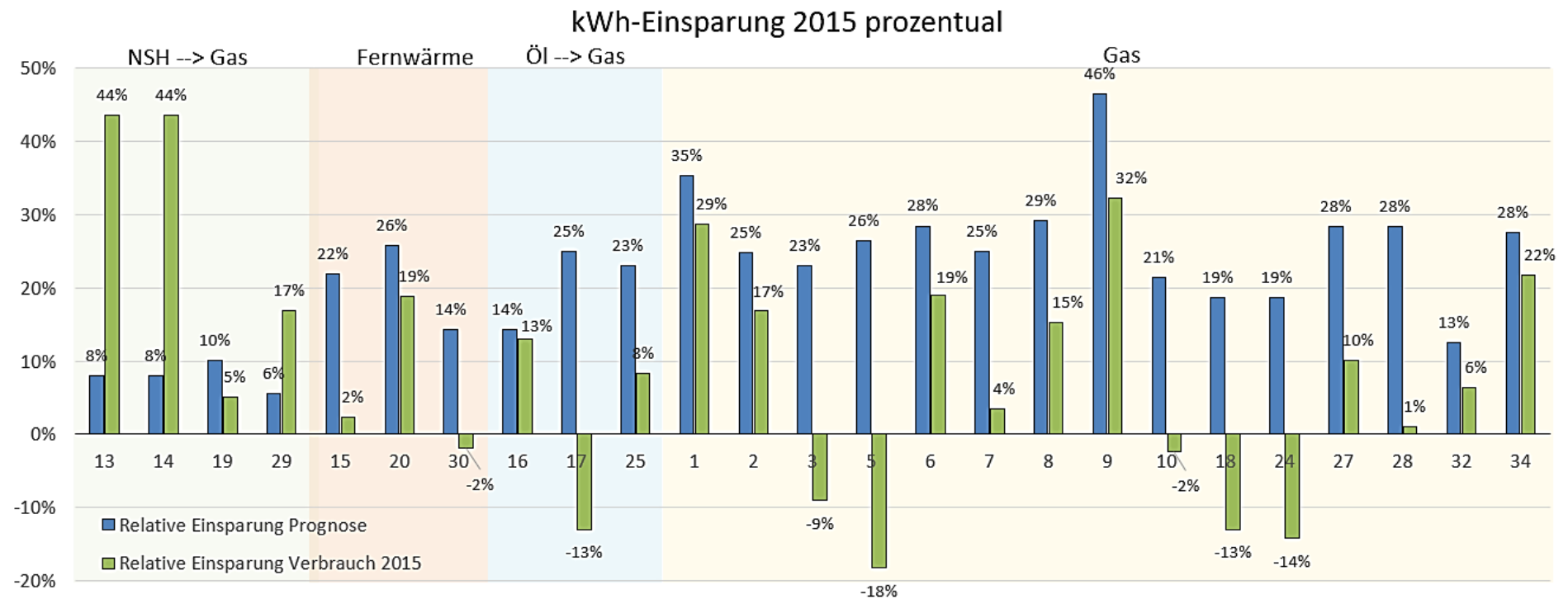
Die rechnerisch kalkulierten Energieeinsparungen wurden bei den meisten Heizungsanlagen nicht erreicht, sogar Mehrverbräuche nach Durchführung der geförderten Maßnahme wurden festgestellt. Über alle Maßnahmen wurde der Energieverbrauch zwar um ca. 10 Prozent gesenkt, dennoch wurden die im Rahmen der Maßnahme prognostizierte Emissionsvermeidung nicht erreicht.

Nichts desto trotz konnte im Ergebnis der Gesamtausstoß der Emissionen, summiert über alle hier untersuchten Fördermaßnahmen, um 1.100t CO₂ (28%) jährlich reduziert werden. Betrachtet man jedoch die Einsparung ohne den Energieträgerwechsel verringert sich die Einsparung auf ca. 140t CO₂ (7%).

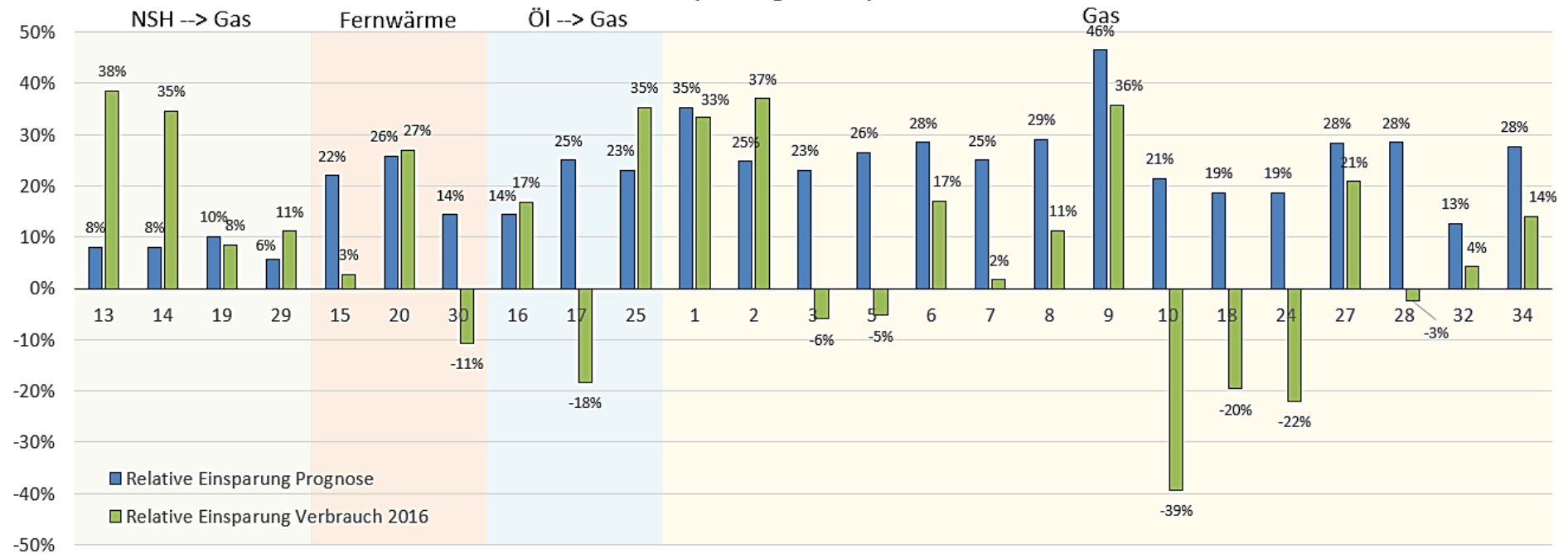
Die messtechnischen Analysen und deren Auswertungen zeigen, dass das vorhandene Einsparpotential bei Weitem nicht ausgeschöpft wurde, jedoch durch Optimierung und über verschiedene Lösungsansätze, wie sie in der Zusammenfassung ausführlich beschrieben, erreichbar sind.

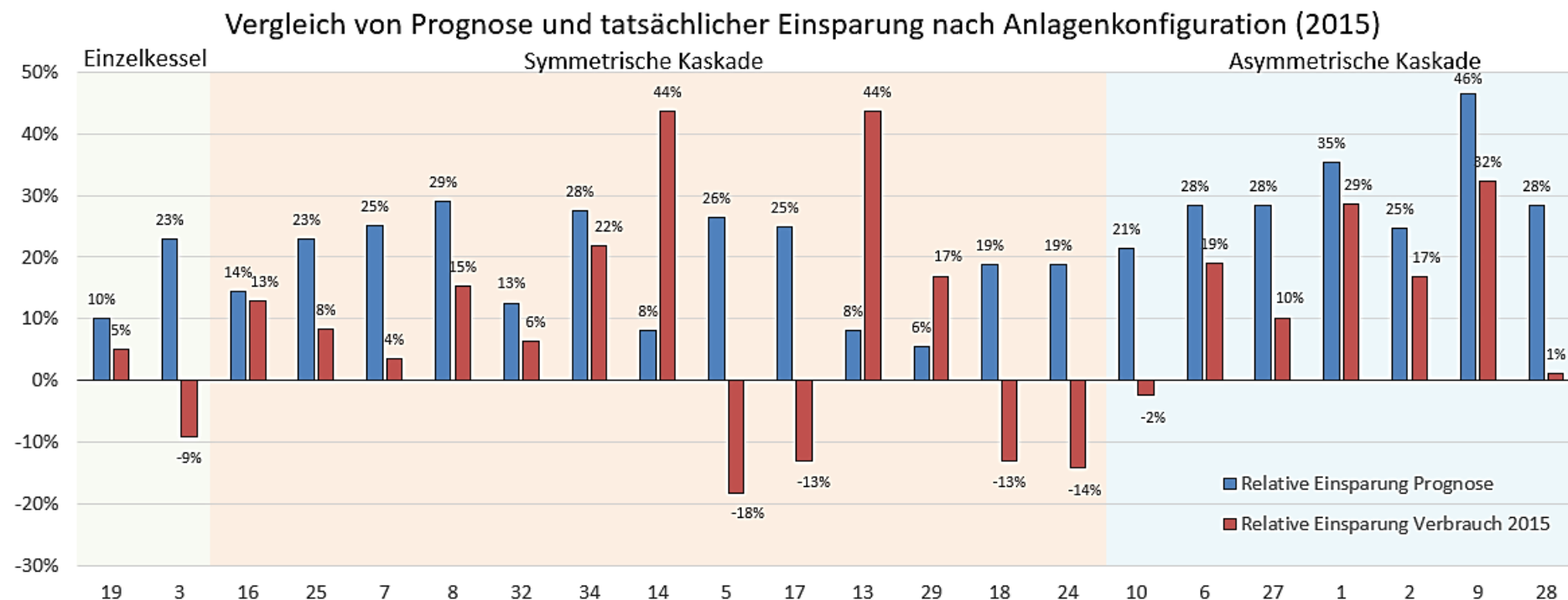
Das Ergebnis erfordert ein neues Handlungskonzept im Bereich der Förderung mit dem Ziel, dass die geförderten Anlagen zukünftig das Einsparungspotential deutlich besser ausschöpfen.

Anhang

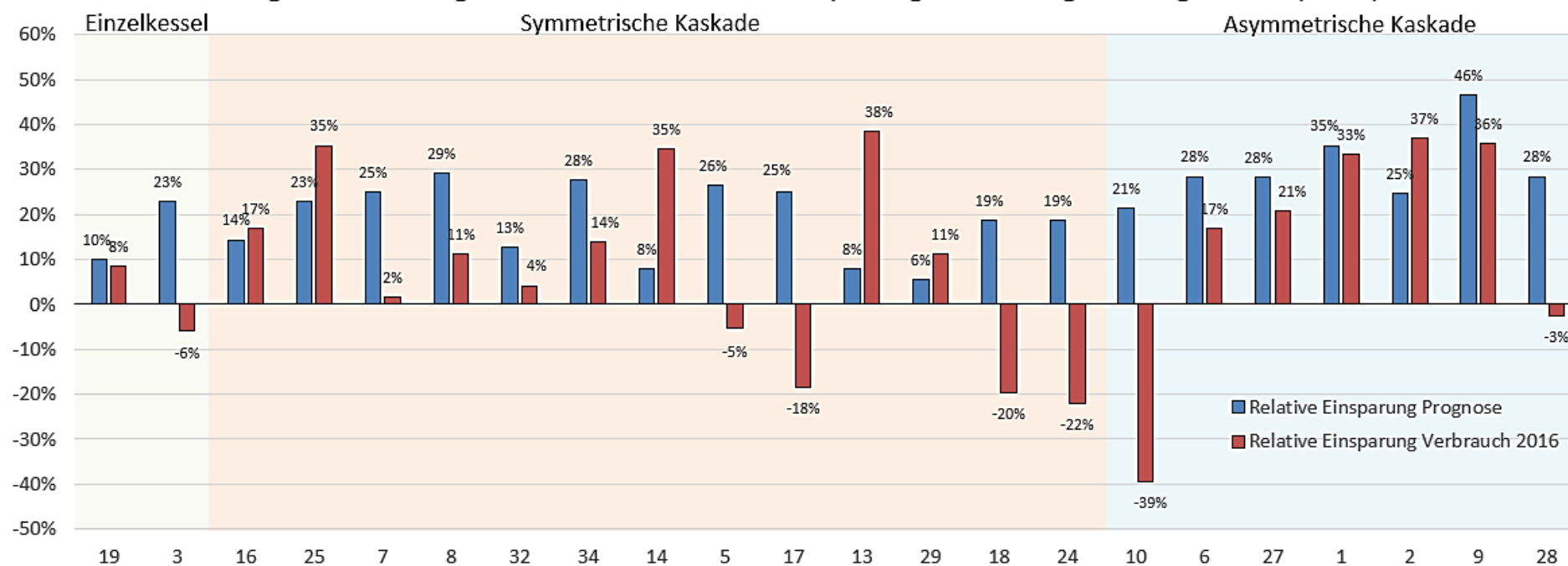


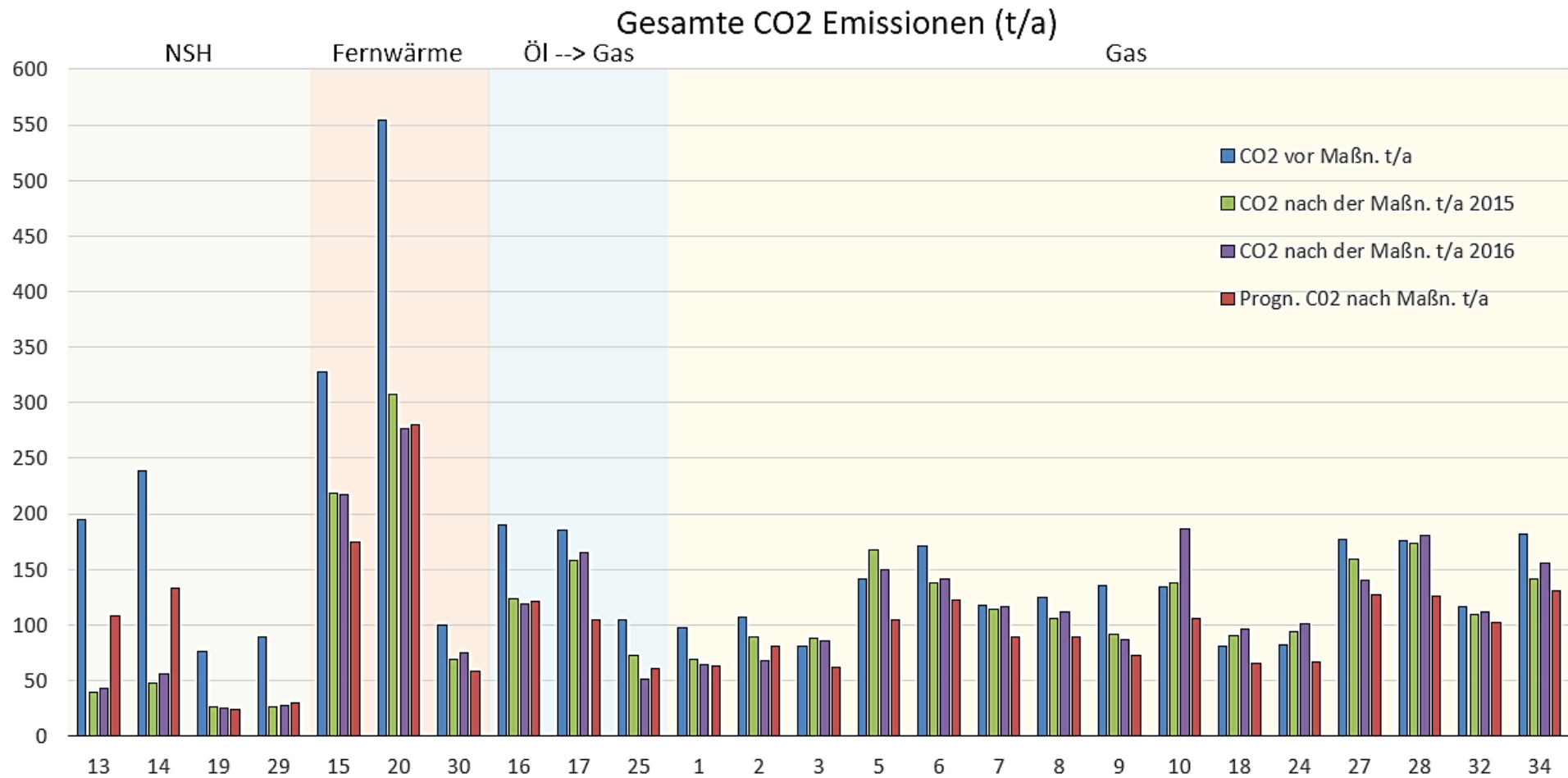
kWh-Einsparung 2016 prozentual

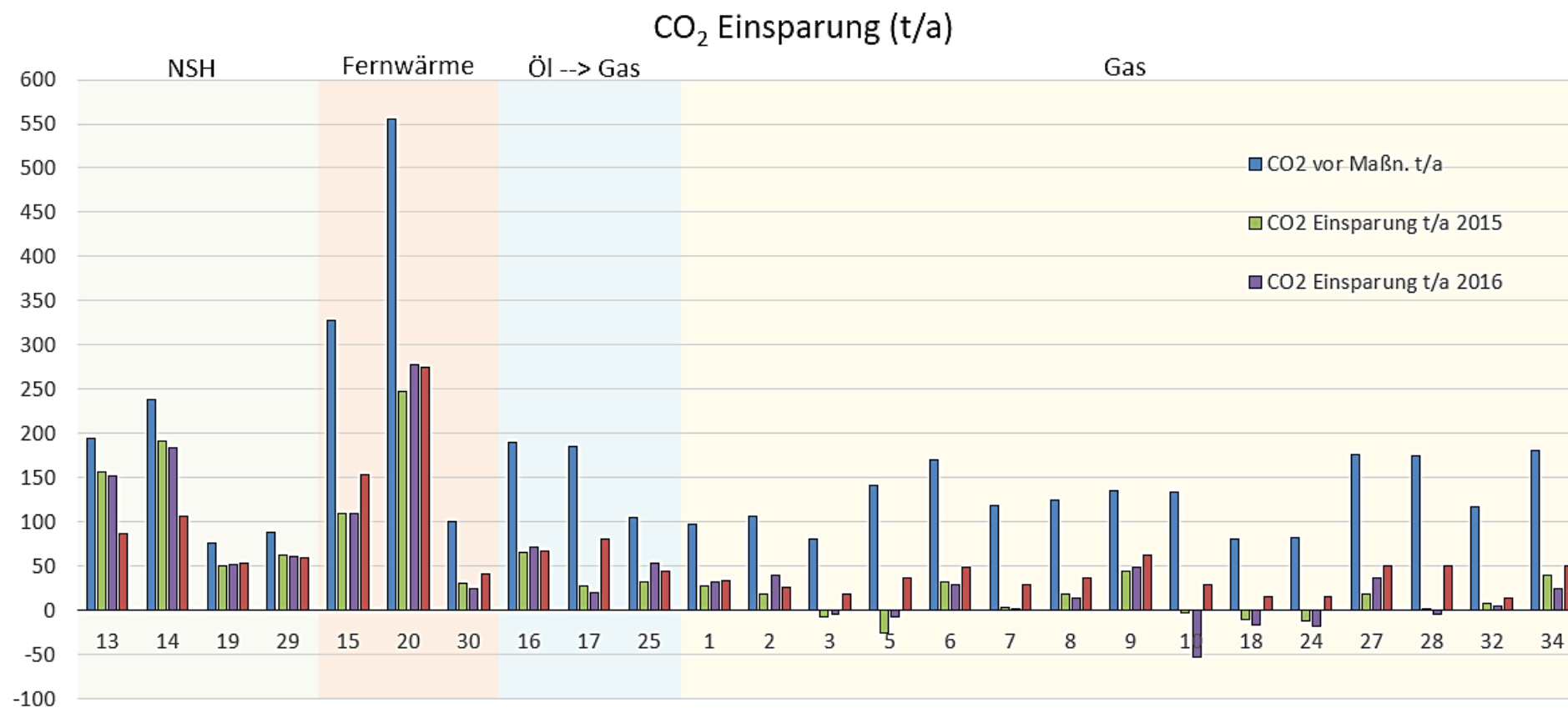




Vergleich von Prognose und tatsächlicher Einsparung nach Anlagenkonfiguration (2016)







Die in dieser Analyse verwendeten Messdaten werden
mit freundlicher Genehmigung
der Hamburgischen Investitions- und Förderbank zur Veröffentlichung durch die Behörde für Umwelt und Energie
zur Verfügung gestellt.

