

Handlungsoptionen zur Ablösung des HKW Wedel

Vermerk: Emissionsminderung und Mehraufwand durch
Ersatzoptionen für das HKW Wedel und
Gebäudesanierung

Ansprechpartner:

Carsten Diermann
Unternehmensberater
carsten.diermann@lbd.de
Tel.: +49 30 617 85 363
Mobil: +49 160 90 38 75 52

Adresse:

LBD-Beratungsgesellschaft mbH
Mollstraße 32
(D) 10249 Berlin
Tel.: +49 30 617 85 310
Fax: +49 30 617 85 330
www.lbd.de

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Hintergrund	4
2 Zusammenfassung	5
3 Vorgehen	6
4 Analyse zum Vergleich der Modernisierung des Erzeugungsparks und von Gebäudesanierung	7
4.1 Die Beispielwohnung	7
4.2 Mehraufwand aus Gebäudesanierung als Maßstab	7
4.2.1 Energiebedingte Mehrkosten.....	7
4.2.2 Einsparungen aus Energieeffizienz	9
4.3 Dekarbonisierung durch emissionsarme Erzeugung	11
4.4 Analyseergebnisse	13

1 Hintergrund

Die Freie und Hansestadt Hamburg hat die Option zum 01.01.2019 das Unternehmen Vattenfall Wärme Hamburg GmbH (VWH) vollständig zu erwerben und damit zukünftig selbst zu bestimmen, wie sich das Fernwärmegeschäft entwickeln soll. Der Auftrag des Volksentscheids zum Rückkauf der Energienetze verknüpft den Rückkauf mit dem Ziel einer sozial gerechten, klimaverträglichen und demokratisch kontrollierten Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energien. Eine besondere Herausforderung ist die Ausgestaltung der vielfältigen Lösungsoptionen hinsichtlich der Anforderungen Klimaverträglichkeit (emissionsarm) und soziale Gerechtigkeit (also möglichst geringes Preisniveau).

Die Behörde für Umwelt und Energie (BUE) hat mit gutachterlicher Unterstützung Lösungsoptionen zum Ersatz des auf dem Brennstoff Kohle basierten Heizkraftwerk (HKW) Wedel präsentiert. Interessensverbände äußern Bedenken hinsichtlich der sozialen Gerechtigkeit der vorgestellten Ersatzlösungen und verweisen auf Alternativen (wie z.B. Gebäudedämmung) zur langfristigen Minderung des Treibhausgasausstoßes im Zuge der Wärmeerzeugung für die Wohnungswirtschaft.

Vor diesem Hintergrund werden in diesem Vermerk vergleichend ökonomische und ökologische Auswirkungen der energetischen Gebäudemodernisierung und des Ersatzes des HKW Wedel durch innovative und emissionsarme Erzeugungstechnologien aufgezeigt. Als Betrachtungsobjekt für die Untersuchung dient eine exemplarische, fernwärmeversorgte Wohneinheit in einem Mehrfamilienhaus in Hamburg.

2 Zusammenfassung

Der Vergleich der Wirkung von Emissionsminderungen in der Hamburger Wärmeversorgung auf Mieter oder Wohnungseigentümer zeigt deutlich, dass die angestrebten Maßnahmen zur Minderung von CO₂-Emissionen in der Erzeugung wettbewerbsfähig und in der Regel günstiger als Energieeffizienzmaßnahmen sind.

Unter der Voraussetzung, dass sie vom Fernwärmeunternehmen vollständig an die Kunden weitergegeben und nicht vom Unternehmen aufgefangen werden (z.B. durch Effizienzsteigerung im Betrieb oder Minderung der Gewinnmarge), führen die Mehrkosten der Erzeugung in einem durchschnittlichen Haushalt rechnerisch zu Mehrkosten zwischen 35 und 69 Euro pro Jahr bzw. 3 bis 6 Euro/Monat.

Demgegenüber stehen die Mehrkosten von Effizienzmaßnahmen durch energetische Gebäudesanierung. Zwar sparen Haushalte durch Sanierung einen Teil ihrer Energiekosten (246 bis 414 Euro/Jahr), gleichzeitig steigt jedoch die Miete um 424 bis 1.218 Euro/Jahr. Dabei werden tendenziell konservative Ansätze gewählt, was die Umlage der Sanierungskosten auf die Mieter angeht.

Die Mieter werden durch Sanierungsmaßnahmen somit um 178 bis 804 Euro jährlich belastet. Dies entspricht Mehrkosten von 15 bis 67 Euro monatlich.

Während in der Erzeugung bis zu 35% der Emissionen durch den vorgesehenen teilweisen Kohleausstieg (Ersatz des HKW Wedel) eingespart werden können, sind in der Sanierung Minderungen von 40% bis zu 70% denkbar.

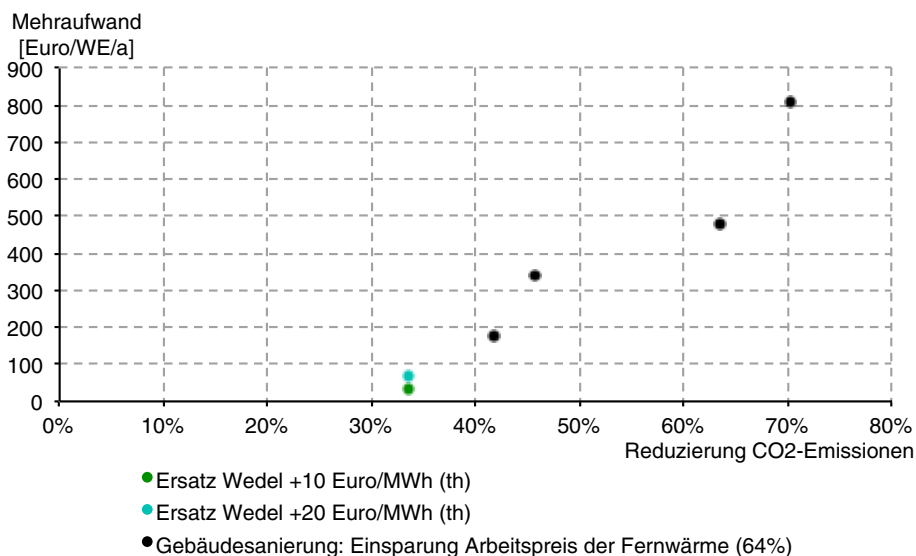


Abbildung 1: Jährlicher Mehraufwand durch Ersatz Wedel und energetische Gebäudesanierung

Der Vergleich zeigt, dass mit der Emissionsminderung in der Erzeugung deutliche Kostenvorteile gegenüber entsprechenden Minderungen durch Effizienzmaßnahmen (energetische Sanierung) am Gebäude verbunden sind. Für die Gesamtbilanz des Gebäudebestands ist zudem wichtig, dass Emissionsminderungen in der Erzeugung unmittelbar bei allen Fernwärme-Abnehmern wirksam werden, während die Wirksamkeit von Gebäude-Effizienzmaßnahmen nicht nur von der Qualität der einzelnen Sanierungen sondern zusätzlich maßgeblich von der Rate der Sanierungen im Bestand abhängt. Dabei ist eine Gesamtstrategie für die Erzeugung und für Sanierungsmaßnahmen zu entwickeln, mit der die Wärmeverbraucher nicht überlastet werden und die Klimaziele der Freien und Hansestadt Hamburg erreicht werden können.

3 Vorgehen

In der Analyse werden die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen energetischer Sanierungsmaßnahmen (u.a. Gebäudedämmung) und einer Modernisierung des Erzeugungsparks – exemplarisch für eine Wohneinheit in einem Mehrfamilienhaus in Hamburg – untersucht. Hierfür wird in einem ersten Schritt das Betrachtungsobjekt »Wohneinheit« anhand von Wohnfläche und spezifischem Energieverbrauch charakterisiert.

Im zweiten Schritt werden anhand typischer Fälle der energetischen Sanierung von Mehrfamilienhäusern zunächst Wärmebedarfs- und Emissionsminderungen sowie Investitionskosten abgeleitet. Unter Berücksichtigung von Energiekosteneinsparungen wird im Anschluss der Mehraufwand pro Wohneinheit und Jahr für die Sanierungsvarianten berechnet.

Im dritten Schritt werden erwartete Emissionsminderungen und Mehrkosten durch innovative und emissionsarme Ersatzlösungen für das HKW Wedel dargestellt sowie der jährlicher Mehraufwand für eine Wohneinheit abgeleitet.

Als vergleichende Kennzahl dient zum einen der jährliche Mehraufwand für eine exemplarische Wohneinheit in einem Mehrfamilienhaus und zum anderen die Emissionsminderungskosten aus jährlichem Mehraufwand und CO₂-Einsparung.

4 Analyse zum Vergleich der Modernisierung des Erzeugungsparks und von Gebäudesanierung

4.1 Die Beispielwohnung

Betrachtungsobjekt für die Untersuchungen ist eine Wohneinheit (WE) typischer Größe in Hamburg in einem Mehrfamilienhaus (MFH). Die Energieeffizienz des Gebäudes (spez. Endenergieverbrauch bezogen auf die Wohnfläche) und die Wohnfläche bestimmen – neben der Emissionsintensität der Wärme – den jährlichen Energieverbrauch und die Emissionen aus der Versorgung einer Wohneinheit. Als Orientierungswert für den spezifischen Endenergieverbrauch für ein unsaniertes Mehrfamilienhaus wurde der Durchschnittswert im deutschen Gebäudebestand herangezogen.

In Tabelle 1 sind die Kennzahlen zur Charakterisierung des Betrachtungsobjekts »Wohneinheit« zusammengefasst.

	Einheit	Parameter
spez. Endenergieverbrauch (Raumwärme und Trinkwarmwasserbereitung)	kWh / m ² _{Wfl.} / a	175
Wohnungsgröße	m ² _{Wfl.} / WE	66
Endenergieverbrauch	kWh / WE	11.550

Tabelle 1: Energetische Charakterisierung des Betrachtungsobjekts¹

Der jährliche **Wärmebedarf** einer **typischen Wohneinheit** mit 66 m² Wohnfläche in einem fernwärmeversorgten Mehrfamilienhaus mittleren Energiestandards beträgt rd. **12 MWh_{th}**.

4.2 Mehraufwand aus Gebäudesanierung als Maßstab

4.2.1 Energiebedingte Mehrkosten

Die Dekarbonisierung im Wärmesektor kann durch Gebäudesanierung (u.a. Dämmmaßnahmen) erreicht werden. Bei der Beurteilung der ökonomischen Auswirkungen von Investitionen in die energetische Modernisierung sind anstatt der Vollkosten die anteiligen energiebedingten Mehrkosten zu betrachten.

In Tabelle 2 sind Endenergiebedarfe und Emissionsminderungen für typische Varianten der Gebäudesanierung aufgelistet. Für die Berechnung der Emissionsminderung ist eine Emissionsintensität von 350 g_{CO2}/kWh_{th} für das

¹ Vgl. Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V.: Gebäudebestand: Modernisierung oder Neubau – Potenziale und Grenznutzen, 11. GRE-Kongress 2016 Kassel, 17./18.03.2016; Deutsche Energieagentur: dena-Sanierungsstudie. Teil 1: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung im Mietwohnungsbestand, 08.12.2010; Statistisches Landesamt für Hamburg und Schleswig Holstein: Hochbautätigkeit und Wohnungsbestand Hamburg 2016 (Korrektur), 18.08.2017.

HKW Wedel bzw. $250 \text{ g}_{\text{CO}_2}/\text{kWh}_{\text{th}}$ für den Fernwärme-Erzeugungsmix angesetzt.

Endenergiebedarf nach Sanierung	Wärmebedarfsminderung ggü. Status Quo	Wärmebedarfsminderung ggü. Status Quo typische WE	Emissionsminderung ggü. Status Quo typische WE
$\text{kWh} / \text{m}^2_{\text{WH}} / \text{a}$	$\text{kWh} / \text{m}^2_{\text{WH}} / \text{a}$	kWh / WE	$\text{kg}_{\text{CO}_2} / \text{WE}$
102	73	4.818	1.205
95	80	5.280	1.320
64	111	7.326	1.832
52	123	8.118	2.030

Tabelle 2: Reduzierung Endenergiebedarf und Emissionen von Sanierungsvarianten²

Die zugehörigen energiebedingten bzw. sanierungsbedingten Mehrkosten ergeben sich aus den gesamten Investitionskosten (Vollkosten) für die Gebäudesanierung abzüglich der Ohnehin- bzw. Sowieso-Kosten. Hierunter werden Kosten verstanden, die im Zuge einer Sanierung »sowieso« anfallen (Gerüst, Verputz etc.) und folglich nicht der energetischen Modernisierung zugeordnet werden. In Tabelle 3 sind energiebedingte Mehrkosten in Abhängigkeit der Sanierungsvariante dargestellt. Dabei ist auf die Unterschiede zwischen der Annuität der energiebedingten Mehrkosten sowie dem gesetzlich zulässigen Mieterhöhungsanspruch zu achten.

Nach § 559 BGB wären im Vergleich zu den annuitätisch ermittelten Mehrkosten sogar noch 37% höhere Mieterhöhungen durchsetzbar. Die Kosten der Sanierungsmaßnahme könnten zu 11% in eine Mieterhöhung umgesetzt werden. Dies würde bedeuten, dass Vermieter ihre Mehrkosten bereits nach 9 Jahren über eine höhere Miete zurückverdienen. Würde diese Mieterhöhung über eine Betrachtungsdauer von 20 Jahren angesetzt, würde dies einer Verzinsung in Höhe von 9% entsprechen. Im Folgenden wird als konservativer Ansatz der niedrigere annuitätische Wert verwendet. Dabei wird unterstellt, dass entsprechende Mieterhöhungen im Wohnungsmarkt durchgesetzt werden könnten.

² Vgl. Deutsche Energieagentur: dena-Sanierungsstudie. Teil 1: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung im Mietwohnungsbestand, 08.12.2010.

Endenergiebedarf nach Sanierung	Reduzierung Endenergiebedarf	Spezifische energiebedingte Mehrkosten der Sanierung	Energiebedingte Mehrkosten der Sanierung typische WE	Jährliche sanierungsbedingte annuitätische Mehrkosten typische WE ³	Jährliche sanierungsbedingte Mehrkosten (nach § 559 BGB 11% der Kosten)
kWh / m ² _{WHI} / a	%	Euro / m ² _{WHI}	Euro / WE	Euro / WE / a	Euro / WE / a
102	42%	80	5.280	424	581
95	46%	115	7.590	609	835
64	63%	160	10.560	847	1.162
52	70%	230	15.180	1.218	1.670

Tabelle 3: Energiebedingte Mehrkosten von Sanierungsvarianten⁴

Die aus den Sanierungsvarianten resultierenden Emissionsminderungen gegenüber dem Status Quo und zugehörige jährliche energiebedingte Mehrkosten sind in Tabelle 4 dargestellt.

Endenergiebedarf nach Sanierung	Emissionsminderung ggü. Status Quo typische WE	Jährliche sanierungsbedingte Mehrkosten typische WE
kWh / m ² _{WHI} / a	kg / WE / a	Euro / W / a
102	1.205	424
95	1.320	609
64	1.832	847
52	2.030	1.218

Tabelle 4: Emissionsminderung und energiebedingte Mehrkosten von Sanierungsvarianten

4.2.2 Einsparungen aus Energieeffizienz

Den energiebedingten Mehrkosten stehen Einsparungen aus dem reduzierten Wärmebezug gegenüber. Dabei wird unterstellt, dass maximal die variablen Energiekosten eingespart werden können. Die Fixkosten des Fernwärmesystems (u.a. Bereitstellung der Netzinfrastruktur und der Erzeugungsanlagen) können langfristig nicht eingespart werden.

Die Einsparungen betragen

- maximal 100% des Wärmepreises, wenn unterstellt wird, dass der gesamte Wärmepreis vermieden werden kann, ohne dass dies Wirkung auf das Preissystem des Versorgers hätte
- ca. 64%⁵ des Wärmepreises, wenn unterstellt wird, dass nur der variable Anteil des Arbeitspreises am Gesamtpreis vermieden werden kann.

³ Bei einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren und einer Gesamtkapitalverzinsung von 5%.

⁴ Vgl. KfW Bankengruppe: Ermittlung der Wachstumswirkungen der KfW-Programme zum Energieeffizienten Bauen und Sanieren, durchgeführt von der Prognos AG, 08.03.2013; Deutsche Energieagentur: dena-Sanierungsstudie. Teil 1: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung im Mietwohnungsbestand, 08.12.2010.

⁵ Vgl. AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V.: Fernwärme – Preisübersicht, Stand 01.04.2018.

Der Wärmepreis in Hamburg beträgt ca. 79 Euro/MWh_{th}.⁶ Für die folgenden Untersuchungen wird davon ausgegangen, dass lediglich der Arbeitspreis nachhaltig vermieden werden kann.

In Tabelle 5 sind energiebedingte Einsparungen für eine typische Wohneinheit in Abhängigkeit der Sanierungsvariante dargestellt.

Endenergiebedarf nach Sanierung	Wärmebedarfsminderung ggü. Status Quo typische WE	Einsparung aus Arbeitspreis (rd. 64% des Wärmepreises)	Sanierungsbedingte Einsparungen typische WE
kWh / m ² _{WHI} / a	kWh / WE / a	Euro / MWh	Euro / WE / a
102	4.818	51	246
95	5.280	51	269
64	7.236	51	369
52	8.118	51	414

Tabelle 5: Einsparpotenziale Wärmekosten von Sanierungsvarianten

Aus den durch die Sanierung bedingten Mehrkosten und der effizienzgetriebenen Energiekosteneinsparung ergibt sich der Mehraufwand einer typischen Wohneinheit (siehe Tabelle 6).

Endenergiebedarf nach Sanierung	Jährliche sanierungsbedingte Mehrkosten typische WE	Sanierungsbedingte Einsparungen typische WE	Jährlicher Mehraufwand typische WE
kWh / m ² _{WHI} / a	Euro / WE / a	Euro / WE / a	Euro / WE / a
102	424	246	178
95	609	269	340
64	847	369	478
52	1.218	414	804

Tabelle 6: Mehraufwand und Energiekosteneinsparungen von Sanierungsvarianten

Mit dem Mehraufwand je Wohneinheit können unter Berücksichtigung der Emissionsminderungen die Emissionsminderungskosten hergeleitet werden (siehe Tabelle 7).

Endenergiebedarf nach Sanierung	Jährlicher Mehraufwand typische WE	Emissionsminderung ggü. Status Quo typische WE	Emissionsminderungskosten
kWh / m ² _{WHI} / a	Euro / WE / a	kg _{CO2} / WE / a	Euro / t _{CO2}
102	178	1.205	148
95	340	1.320	258
64	478	1.832	261
52	804	2.030	396

Tabelle 7: Emissionsminderungskosten von Sanierungsvarianten

⁶ Vgl. AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V.: Fernwärme – Preisübersicht, Stand 01.04.2018.

4.3 Dekarbonisierung durch emissionsarme Erzeugung

Der Ersatz der kohlebasierten Wärmeerzeugung aus dem HKW Wedel mit innovativen und emissionsarmen Technologien geht mit einer anteiligen Reduzierung der Emissionsintensität der Hamburger Fernwärme einher.

Der Ersatz der bestehenden Versorgung aus dem HKW Wedel mit einer Emissionsintensität in Höhe von ca. 350 g_{CO2}/kWh_{th} durch neue Erzeugungsanlagen senkt die Hamburger Emissionsintensität. Bei einem Erzeugungsanteil von ca. 30% des HKW Wedel sinken die Emissionen im gesamten Hamburger Fernwärmesystem von 250 g_{CO2}/kWh_{th} auf ca. 165 g_{CO2}/kWh_{th} (siehe Tabelle 8). Die spezifischen Emissionen der Wedel-Folgelösung beträgt je nach Ausgestaltung der Ersatzoptionen ca. 50–100 g_{CO2}/kWh_{th}.

	Einheit	Änderung Emissionsintensität
Emissionsintensität FW Hamburg Status-quo vor Wedel-Ersatz	g _{CO2} / kWh _{th}	ca. 250
Anteil Wedel an Gesamterzeugung	%	ca. 30%
Emissionsintensität FW Hamburg nach Wedel-Ersatz	g _{CO2} / kWh _{th}	165
Emissionsvermeidung ggü. Status Quo typische WE	kg _{CO2} / WE / a	970

Tabelle 8: Emissionsintensität der Fernwärme in Hamburg durch Ersatz des HKW Wedel

Demgegenüber stehen Mehrkosten der Wärmemenge aus neuen Erzeugungsanlagen von 10–20 Euro/MWh_{th} gegenüber der aus Wedel bereitgestellten Wärmemenge. Mit dieser Bandbreite können unterschiedliche Erzeugungsoptionen abgebildet werden.

Dazu gehören verschiedene Optionen zur Integration erneuerbarer Energien:

- Abfallwirtschaftliches Konzept am Standort Stellingen,
- Integration der Müllverbrennungsanlage Rugenberger Damm,
- Abwasser-Wärmepumpe Dradenau.

Außerdem kann auch der Umbau der Abfallverwertungsanlage am Standort Borsigstraße, mit dem Ziel einer Erhöhung der möglichen Wärmeauskopplung, spätestens mit der Ablösung des HKW Tiefstack einen Beitrag dazu leisten.

Zusätzlich könnten auch Erdgas-KWK-Anlagen in einem Erzeugungsportfolio eine Rolle spielen.



Abbildung 2: Standortoptionen für die Ablösung des HKW Wedel

Die Nutzung des Standorts Wedel nach Stilllegung des Steinkohle-HKW Wedel ist nicht vorgesehen und nicht erforderlich um die beabsichtigte Kostenbandbreite zu realisieren.

Die folgende Tabelle zeigt die realistischen Lösungsoptionen und die zu erwartende Bandbreite der Erzeugungskosten. Abhängig von der realisierten Technologiekombination und den tatsächlichen Kosten der Elb-Querung würde somit ein Aufpreis von bis zu 20 Euro/MWh_{th} (bei sehr großen Anteilen der Wärmepumpe und hohen Kosten der Elb-Querung) möglich.

Lösungsbestandteil	Einheit	Kostenbandbreite
Referenz-Wert in Wedel	Euro/MWh _{th}	ca. 15
Abfallwirtschaftliches Konzept Stellingen	Euro/MWh _{th}	ca. 15–20
MVA Rugenberger Damm	Euro/MWh _{th}	ca. 15–20
Umbau MVA Borsigstraße	Euro/MWh _{th}	ca. 15
Abwasser-Wärmepumpe Dradenau	Euro/MWh _{th}	ca. 25–30
Erdgas-KWK	Euro/MWh _{th}	ca. 25
Mehrkosten Trasse Elb-Querung	Euro/MWh _{th}	ca. 5–10

Tabelle 9: Bandbreiten für Wärmegestehungskosten aus den Lösungsoptionen zur Ablösung des HKW Wedel

Ein realistischerer Wert für die Mehrkosten aus der Wedel-Folgelösung, gegenüber den bestehenden Wärmebezugsbedingungen, liegt jedoch eher im Bereich 10–15 Euro/MWh_{th}. Dies wird durch die relativ hohen Anteile günstiger Wärme aus den Abfallverwertungsanlagen gewährleistet. Die Wedel-Folgelösung hat einen Anteil von rd. 30% an der Gesamtwärmemenge im Fernwärmesystem der Vattenfall. Bezogen auf die Gesamtmenge entspricht ein um 10–20 Euro/MWh_{th} höherer Wärmebezug Mehrkosten von 3-6 Euro/MWh_{th}.

Der Mehraufwand für eine typische Wohneinheit beträgt bei der unterstellten Teuerung der Wärmebereitstellung 35–69 Euro pro Wohneinheit und Jahr.

Diese Mehrkosten könnten durch den Fernwärmeversorger gedämpft werden, z.B. durch Effizienzmaßnahmen im Betrieb oder durch Minderung der Gewinnmarge. Unter Berücksichtigung der Emissionsminderung durch den Ersatz des HKW Wedel ergeben sich Minderungskosten in Höhe von 36–71 Euro/t_{CO2}.

4.4 Analyseergebnisse

Der Ersatz des HKW Wedel durch innovative und emissionsarme Erzeugungsanlagen und die Gebäudesanierung gehen mit einem Mehraufwand für eine typische, fernwärmeversorgte Wohneinheit in einem Mehrfamilienhaus einher. Bei der Darstellung des Mehraufwands der Sanierungsalternativen wurde das energiewirtschaftliche Rational berücksichtigt, dass Fixkosten der Erzeugung zu decken sind und folglich langfristig nur der Anteil der variablen Kosten des Versorgers eingespart werden kann. Das Energiekosteneinsparpotenzial (variabler Preisbestandteil) liegt bei ca. 64%.

Während der Mehraufwand neuer Erzeugungsanlagen 35–69 Euro pro Wohneinheit und Jahr beträgt, ergeben sich in Abhängigkeit des Ambitionsniveaus der Gebäudesanierung und der einzusparenden Wärmekosten 178–804 Euro pro Wohneinheit und Jahr (siehe Abbildung 3).

In Folge des Ersatzes des HKW Wedel durch innovative und emissionsarme Erzeugungsanlagen reduzieren sich die CO₂-Emissionen um ca. 35%. Bei der Gebäudesanierung beträgt die Reduzierung der CO₂-Emissionen ca. 40–70%.

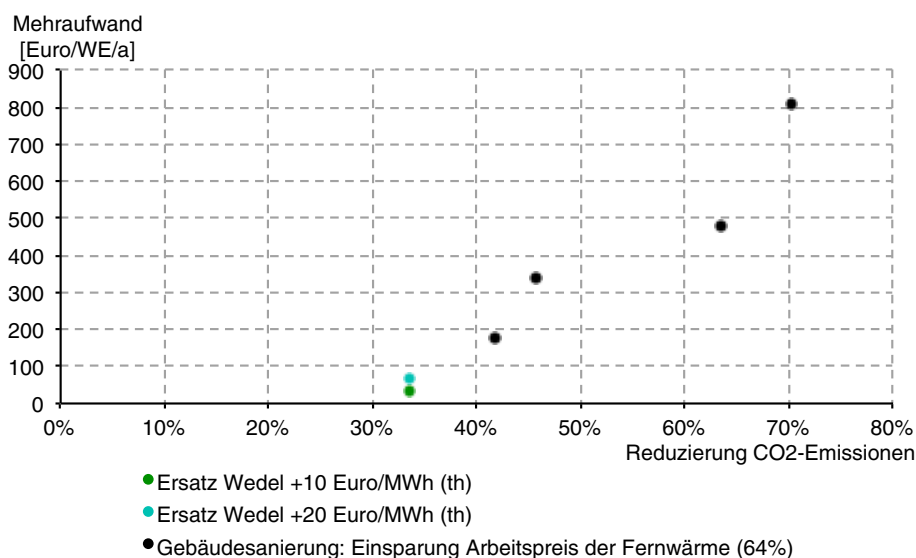


Abbildung 3: Jährlicher Mehraufwand durch Ersatz Wedel und Gebäudesanierung

Als Emissionsminderungskosten für den Ersatz des HKW Wedel durch neue Erzeugungsanlagen ergeben sich 36–71 Euro/t_{CO2}. Diese liegen somit unter den vergleichbaren Emissionsminderungskosten von Maßnahmen der Gebäudesanierung (siehe Abbildung 4). In Abhängigkeit des Ambitionsniveaus

der energetischen Modernisierung und der einzusparenden Wärmekosten betragen die Minderungskosten 148–396 Euro/t_{CO2}.

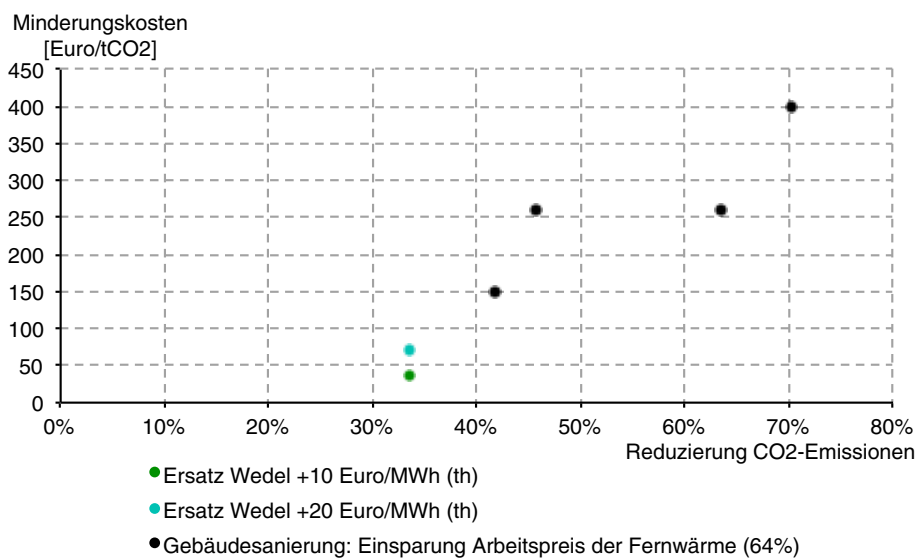


Abbildung 4: CO₂-Minderungskosten durch Ersatz Wedel und Gebäudesanierung