

Feinkonzept der Stadt Krefeld

zum Projektauftrag „KWK Modellkommune 2012 bis 2017“ des Ministeriums für Klimaschutz,
Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Wirtschaftlich orientierte Betriebsführung von dezentralen Mini-BHKW in einem virtuellen Kraftwerk

– KWK-Inno.Net Krefeld –



Krefeld, 2014

Dieses Projekt wurde durch das
Ministerium für Wirtschaft, Ener-
gie, Industrie und Handwerk des
Landes Nordrhein Westfalen

Ministerium für Wirtschaft, Energie,
Industrie, Mittelstand und Handwerk
des Landes Nordrhein-Westfalen



und den EFRE-Fond der Europäi-
schen Union gefördert.



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. Der je Kapitel verantwortliche Projektpartner wird mit den Kürzeln Kr, SWK, HN und InnoE gekennzeichnet. Die jeweiligen Ansprechpartner werden im Folgenden aufgeführt.

Ansprechpartner und Projektbeteiligte

Projektkoordination:

Stadt Krefeld (Kr),
Von-der-Leyen-Platz 1, 47798 Krefeld

Herr Thomas Visser (Umweltdezernent der Stadt Krefeld)
Telefon: +49 (0)2151 86 10 60
E-Mail: thomas.visser@krefeld.de

Herr Michael Schmeink
Telefon: +49 (0)2151 86 10 66
E-Mail: michael.schmeink@krefeld.de

Operatives Projektmanagement und Entwicklung der wirtschaftlich orientierten Betriebsführung:

SWK ENERGIE GmbH (SWK),
St. Töniser Straße 124, 47804 Krefeld

Herr Andreas Benz (Leiter Energiemanagement)
Telefon: +49 (0)2151 98 26 47
E-Mail: andreas.benz@swk.de

Herr Sebastian Rubin
Telefon: +49 (0)2151 98 26 91
E-Mail: sebastian.rubin@swk.de

Energetische Situationsanalyse und Systembetrachtung:

SWK-Energiezentrum E² der Hochschule Niederrhein (HN),
Reinarzstraße 49, 47805 Krefeld

Frau Prof. Dr. Ingela Tietze (Wissenschaftliche Leitung)
Telefon: +49 (0)2151 822 66 91
E-Mail: ingela.tietze@hs-niederrhein.de

Frau Janine Bruchmann
Telefon: +49 (0)2151 822 4756
E-Mail: janine.bruchmann@hs-niederrhein.de

Herr Raimund Pörtner
Telefon: +49 (0)2151 822 4756
E-Mail: raimund.poertner@hs-niederrhein.de

Ingenieurbüro Innovative Energieberatung (InnoE)
Bayenthalgürtel 23, 50968 Köln

Frau Gisela Renner (Geschäftsführung)
Telefon: +49 (0)221 760 95 72
E-Mail: g.renner@rennergie.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	1
2	Die Energieversorgungsstruktur in Krefeld	1
3	Umsetzung der KWK-Systeme im virtuellen Kraftwerk	3
3.1	Geplante Versorgungsstruktur.....	4
3.2	Umsetzungskonzept.....	4
4	Ergebnisse der Feinkonzeptphase	7
4.1	Wirtschaftlichkeit des Konzeptes KWK-Inno.Net Krefeld	8
4.2	Systemrelevante Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit	12
4.3	Zukünftiges Entwicklungspotential.....	14
4.4	Energiewirtschaftliche Konzeptbewertung	15
5	Beschreibung der Kennzahlenermittlung	16
6	Beitrag zu den grundlegenden Zielen des Ziel-2-Programms	16
7	Beitrag zu den Querschnittszielen des Ziel-2-Programms	17
7.1	Chancengleichheit.....	17
7.2	Beitrag zur umweltgerechten Entwicklung	17
7.3	Beitrag zum Ausbau von kommunalen und regionalen KWK-Netzwerken	17
8	Zusammenfassung	18
9	Anhang	20
9.1	Werte der Kapitalwertmethode	20
9.2	Mittlere jährliche Modernisierungsquote in Deutschland	25
9.3	Liste der statistischen Bezirke der Stadt Krefeld.....	26
9.4	Abbildungen zur Quartiersauswahl.....	27
10	Literaturverzeichnis	32

1 Einleitung und Zielsetzung

Im Konzept KWK-Inno.Net Krefeld werden dezentrale Kraft-Wärme-Kopplungssysteme (KWK-System) mit dem neuen von der SWK ENERGIE GmbH entwickelten Konzept der „Wirtschaftlich Orientierten Betriebsführung“ (WOB) ausgelegt, in die Versorgungsstruktur der Gebäude integriert und in einem virtuellen Kraftwerk gemeinsam betrieben. Hiermit kann das KWK-Potential einer Kommune auch in den Bezirken erschlossen werden, in denen sich der Ausbau eines Fernwärmenetzes wirtschaftlich nicht lohnt.

Die betrachteten, dezentralen KWK-Systeme bestehen aus mindestens einem BHKW, Wärmespeichern mit installierten Elektroheizstäben und einem Brennwärmtessel. Das Betriebsverhalten des KWK-Systems wird täglich für den Folgetag vom virtuellen Kraftwerksbetreiber (VKW-Betreiber) viertelstundenscharf berechnet und den Anlagenkomponenten vorgegeben. Hierbei werden externe Führungsgrößen (Börsenpreise für Gas- und Strom) und lokale Führungsgrößen (Wärme- und Stromdirektverbräuche) zur Steuerung und Regelung berücksichtigt. Eine Zugriffsmöglichkeit auf das KWK-System durch den Verteilnetzbetreiber könnte zukünftig auch zur Spannungsstabilisierung und Vermeidung von Netzausbaumaßnahmen beitragen.

Zusammenfassend kann das entwickelte Konzept der WOB als Kombination einer Wärme-, Strom- und Preisführung mit Option zur Netzführung verstanden werden.

Ziel ist hierbei ein gewinnmaximierender Betrieb des KWK-Systems, um für die Kunden und den VKW-Betreiber eine Win-Win-Situation gewährleisten zu können. Zusätzlich können gezielt steuerbare Anlagen das Stromnetz entlasten sowie hohe Primärenergie- und CO₂-Einsparungen ermöglichen. Dieses im Wesentlichen auch auf weitere Technologien und Verbraucher übertragbare Konzept stellt daher auch eine gute Ergänzung zum Ausbau erneuerbarer Energien dar und kann die Energiewende nachhaltig stärken. In der Umsetzungsphase wird zusätzlich das Potential weiterer Gebäudetypen und kommunaler Liegenschaften geprüft und bei positiver Bewertung in das Konzept aufgenommen.

Im Anschluss an die Umsetzungsphase ist das Konzept für den breiten, kommerziellen Zubau in Krefeld und auf weitere Kommunen und Regionen in NRW übertragbar.

2 Die Energieversorgungsstruktur in Krefeld (HN)

Der Grundversorger für Energie in der Stadt Krefeld ist die SWK ENERGIE GmbH. Die SWK ENERGIE GmbH ist eine 100%-ige Tochtergesellschaft der SWK Stadtwerke Krefeld AG, die wiederum ein 100%-ige Tochter der Stadt Krefeld ist. Die Aufgaben der SWK ENERGIE GmbH sind die Erzeugung, die Beschaffung und der Vertrieb von Strom, Gas und Wärme.

Das Verteilnetz zur elektrischen Energieversorgung, das Gasnetz und das größere der beiden Fernwärmenetze im Krefelder Stadtgebiet sind im Besitz der SWK ENERGIE GmbH.

Das Verteilnetz zur elektrischen Energieversorgung ist an den Netzbetreiber Westnetz GmbH (100%-ige RWE Tochter) verpachtet [1], [2].

Das Gasnetz der Stadt Krefeld wird von der SWK Netze GmbH betrieben. Diese ist ebenfalls eine 100%-ige Tochtergesellschaft der SWK Stadtwerke Krefeld AG. Das Gasnetz besteht aus einem Hoch- und Niederdrucknetz und deckt den Großteil der bewohnten Bereiche der Stadt Krefeld ab [1].

In Krefeld betreiben zwei Unternehmen die Fernwärmeversorgung. Zum Einen ist dies die SWK ENERGIE GmbH, welche den größten Teil der Fernwärme aus der Müll- und Klärschlammverbrennungsanlage (MKVA) Krefeld-Elfrath bezieht und mit drei ergänzenden Heizkraftwerken die Versorgung sicherstellt. Die Müll- und Klärschlammverbrennungsanlage und eines der Heizkraftwerke zur Fernwärmeversorgung sind KWK-Anlagen. Zum Anderen betreibt die Fernwärmeversorgung Niederrhein GmbH ein Fernwärmenetz und versorgt kleine Teile der Krefelder Bezirke Benrad (seit 1968) und Fischeln (seit 1970) mit Nahwärme [3], [4].

Für das Konzept KWK-Inno.Net Krefeld werden die statistischen Bezirke der Stadt Krefeld hinsichtlich ihres Potentials zur Umsetzung des Konzeptes kategorisiert. Die statistischen Bezirke, die im Fernwärmevorranggebiet liegen oder keinen Gasnetzanschluss haben, werden ausgeschlossen. Abbildung 1 zeigt die Versorgungsstruktur der Fernwärme und des Gasnetzes in den statistischen Bezirken der Stadt Krefeld. Eine Liste mit der Zuordnung der Bezirksnummern zu den Bezirksnamen befindet sich im Anhang 9.3.

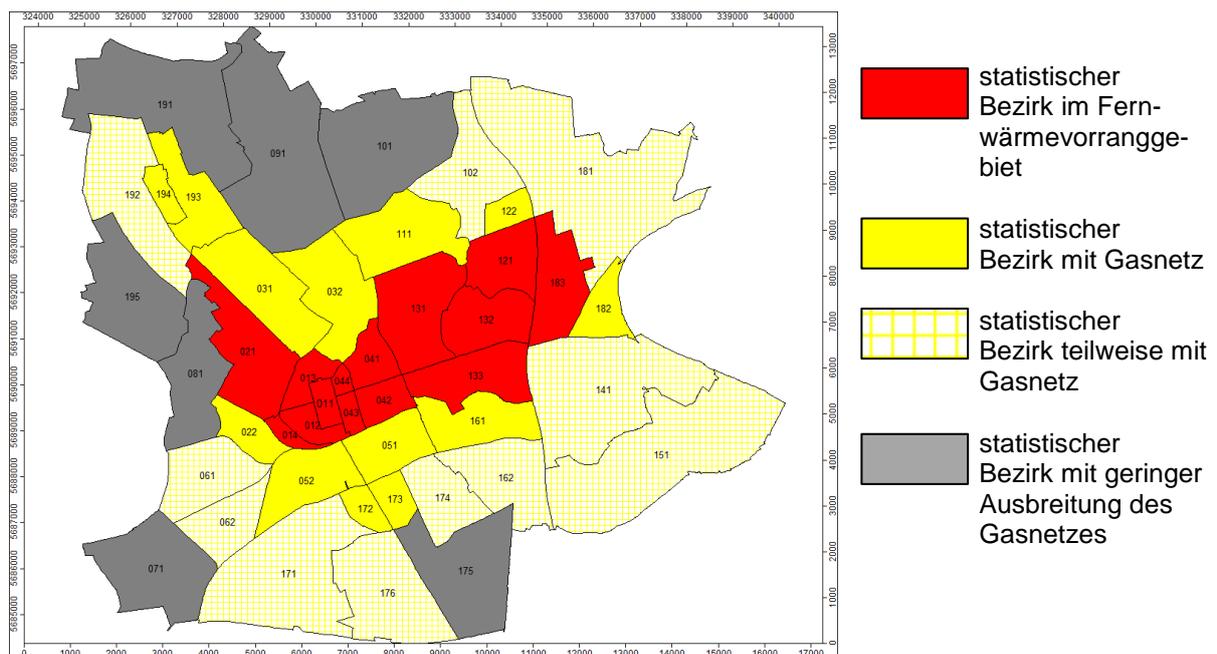


Abbildung 1: Kategorisierung der statistischen Bezirke der Stadt Krefeld für das Konzept

Für das Konzept KWK-Inno.Net Krefeld ist der jährliche Heizwärmebedarf des Wohngebäudes eine kritische Größe. Ist der jährliche Heizwärmebedarf zu gering, können die für die Wirtschaftlichkeit des Konzeptes notwendigen Laufzeiten des BHKW nicht erreicht werden. Der Wärmebedarf ist abhängig vom Gebäudealter (Dämmung) und der zu beheizenden Wohnfläche [5]. Deshalb wird den Bezirken die Altersstruktur der Wohngebäude [6] und die verfügbare Wohnfläche [7], zugeordnet. Bezirke mit einer großen Anzahl an Wohngebäuden, die diese Kriterien erfüllen, sind in Krefeld:

- Lehmheide (Bezirksnr. 052, HWB: 13.928 MWh/a)
- Inrath (Bezirksnr. 031, HWB: 8.258 MWh/a)
- Oppum (Bezirksnr. 161, HWB: 3.808 MWh/a)
- Uerdingen-Markt (Bezirksnr. 182, HWB: 2.854 MWh/a)
- Dießem (Bezirksnr. 051, HWB: 2.844 MWh/a)

(Abbildungen zur Quartiersuntersuchung im Anhang 9.4)

3 Umsetzung der KWK-Systeme im virtuellen Kraftwerk (SWK)

Abgrenzend zu den konventionellen wärme¹- und stromgeführten² Betriebsstrategien oder einer konsequent börsenpreisgeführten³ Strategie, werden im Steuerungs- und Auslegungsalgorithmus der Wirtschaftlich Orientierten Betriebsführung (WOB-Algorithmus) mehrere Führungsgrößen für die gewinnmaximierende Marktintegration durch einen virtuellen Kraftwerksbetreiber (VKW-Betreiber) berücksichtigt.

Die Realisierung und Erprobung des intelligenten Steuerungs- und Regelungssystems für die WOB kann bereits mit mindestens zwei Versuchsanlagen (vgl. Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) ermöglicht werden. Aufbauend auf den Erfahrungen mit diesen Erstanlagen ist die Implementierung weiterer Anlagen vorgesehen, um die Systemstabilität für eine breite Umsetzung in Krefeld gewährleisten zu können. Ergänzend zu den Erstanlagen wird das Potential von kommunalen Liegenschaften in Krefeld geprüft und bei positiver Bewertung ebenfalls direkt realisiert.

¹ Bislang i.d.R. die wirtschaftlichste Option für Fernwärme-KWK und Eigenbetrieb von Blockheizkraftwerken.

² Einsatz in der Regel nur bei isolierten Netzen.

³ Wird nach Möglichkeit im Bereich der Biogas-KWK mit Volleinspeisung angestrebt.

3.1 Geplante Versorgungsstruktur (SWK)

Das angestrebte Konzept erschließt die ökonomisch nicht zur Nah- oder Fernwärme geeigneten Bezirke mittels einer virtuellen Kraftwerksstruktur. Die für das Konzept KWK-Inno.Net Krefeld notwendigen Versorgungsstrukturen sind in Krefeld bereits vorhanden.

3.2 Umsetzungskonzept (SWK)

Dezentrale energetische Anlagenimplementierung: Jedes dezentrale KWK-System besteht im Wesentlichen aus mindestens einem BHKW, Wärmespeichern mit installierten Elektroheizstäben und einem Brennwertkessel (vgl. Abbildung 2). Vom VKW-Betreiber wird täglich für das BHKW und die Elektroheizstäbe ein viertelstundenscharfes Betriebsverhalten vorgegeben.

Die Speicherbewirtschaftung und der Ausgleich von unvorhergesehenen Wärmebedarfschwankungen erfolgen durch einen lokalen Heizungsregler. Dieser wird ausschließlich mit lokalen Führungsgrößen geregelt, um auf individuelles Verbraucherverhalten reagieren und

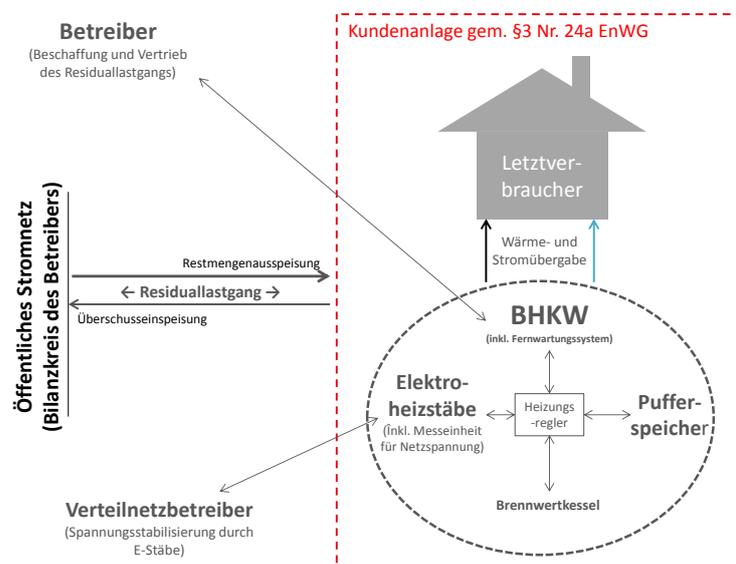


Abbildung 2: Strukturskizze zum KWK-Inno.Net Krefeld

ggf. einen Notfallbetrieb der Anlage gewährleisten zu können. Die zeitliche Entkopplung von Wärmeerzeugung und Wärmebedarf mittels einer intelligenten Speicherbewirtschaftung wird hier als „Entkoppelndes Wärmemanagementsystem“ (EWMS) bezeichnet.

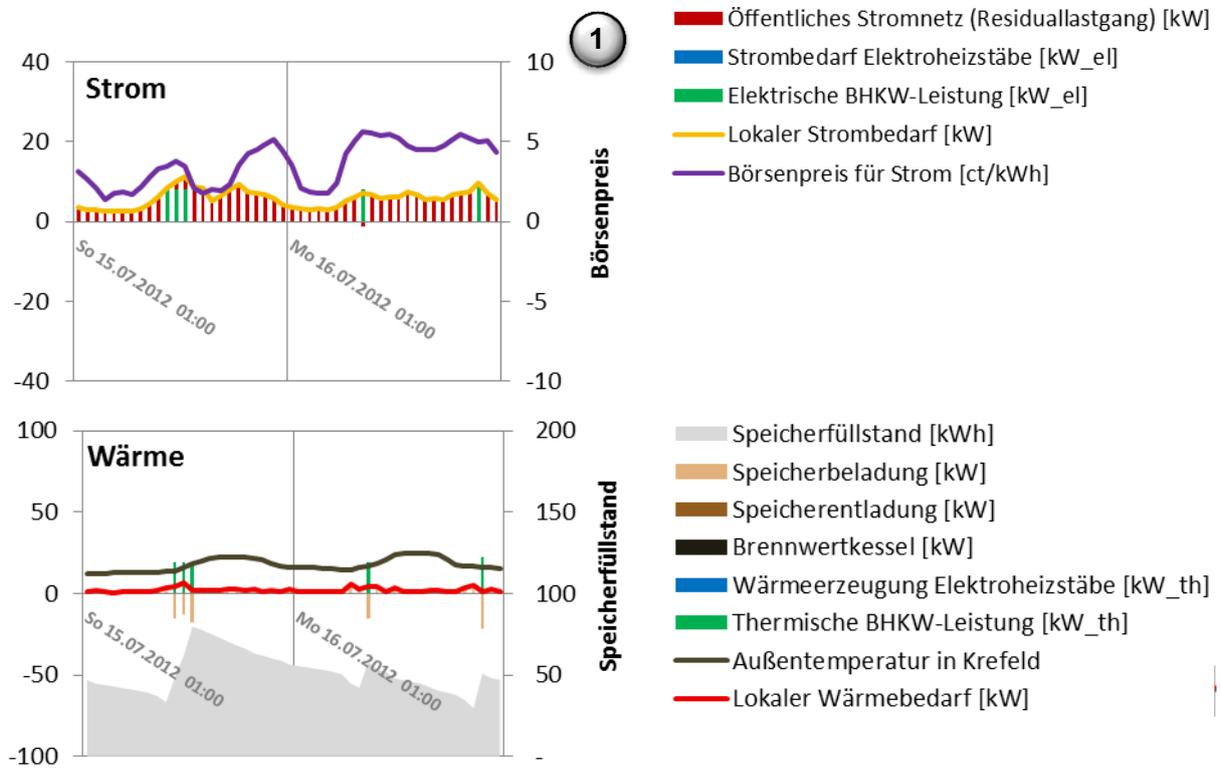
Abweichend von den Vorgaben des VKW-Betreibers könnten die steuerbaren Elektroheizstäbe im KWK-Inno.Net auch vom zuständigen Verteilnetzbetreiber zur Spannungsstabilisierung des Niederspannungsnetzes angesteuert werden (Power-to-Heat). Hierbei sollten insbesondere Erzeugungsspitzen von angrenzenden Fotovoltaikanlagen ausgeglichen werden, ohne deren weiteren Zubau stoppen oder zeitweilige Abschaltungen erzwingen zu müssen. Die unplanmäßig erzeugte Wärme der Elektroheizstäbe wird in den Pufferspeichern aufgenommen und anschließend bedarfsgerecht verteilt. Das ökonomische und technische Potential zur Vermeidung von Netzausbaumaßnahmen wird in der Umsetzungsphase detailliert untersucht.

Informations- und Kommunikationsstruktur: Idealer Weise In Kooperation mit einem Smart-Meter-Gateway-Administrator (SMGW-Administrator) und Messstellenbetreiber, bzw. Messdienstleister werden die bestehende Kommunikationsstruktur, das Datenmanagement und die Abrechnungssystematik der SWK ENERGIE GmbH an die Anforderungen eines virtuellen Kraftwerksbetriebs angepasst (vgl. Abbildung 2). Deren Erfahrungen im E-Energy Projekt E-DeMa [8] und mit dem bereits etablierten System Eco-Portal [3] werden als Ansatz genutzt. Die kommunikationstechnische Realisierung der zentralen Ansteuerung und digitalen Messwerterhebung soll nach Möglichkeit entsprechend den Anforderungen des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) erfolgen (vgl. Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

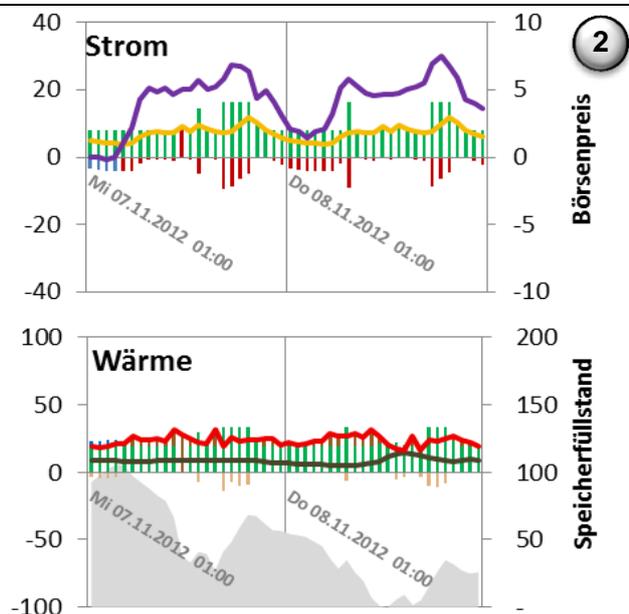
Geschäftsmodell: In Anlehnung an das etablierte Energieliefercontracting wird den Letztverbrauchern eines Gebäudes Wärme und Strom zu festen Preisen bereitgestellt. Diese sind an die Konditionen der günstigen Fernwärmeversorgung und einem attraktiven Tarif für die Strombelieferung gekoppelt. Wirtschaftlich orientierte Betriebsführung: Kern der WOB ist ein von der SWK ENERGIE GmbH aus [9] weiterentwickeltes Konzept, das mit einem mathematischen Optimierungsmodell (Dimensionierungs- und Betriebsführungsoptimierung) die physikalischen Zusammenhänge im EWMS unter Berücksichtigung der Energiemärkte und Konditionen im Geschäftsmodell, abbildet. Hiermit kann täglich die gewinnmaximierende Anlagensteuerung berechnet werden, was bereits auf repräsentative Anlagen und die angestrebten Erstanlagen erfolgreich angewendet wurde.

Dieses Modell kann auch unter Verwendung historischer Markt- und Verbrauchswerte und in Verbindung mit Kennzahlen zum Anlagenverhalten die optimalen Anlagendimensionen (BHKW, Elektroheizstäbe, Wärmespeicher und Brennwertkessel) berechnen. Für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit wird die in der Energiewirtschaft übliche Kapitalwertmethode genutzt. Anhand der bereits durchgeführten Rechnungen für die Jahre 2012 und 2013 wird das Betriebsführungsverhalten entsprechend der WOB im Folgenden entlang einzelner Beispieltage verdeutlicht.

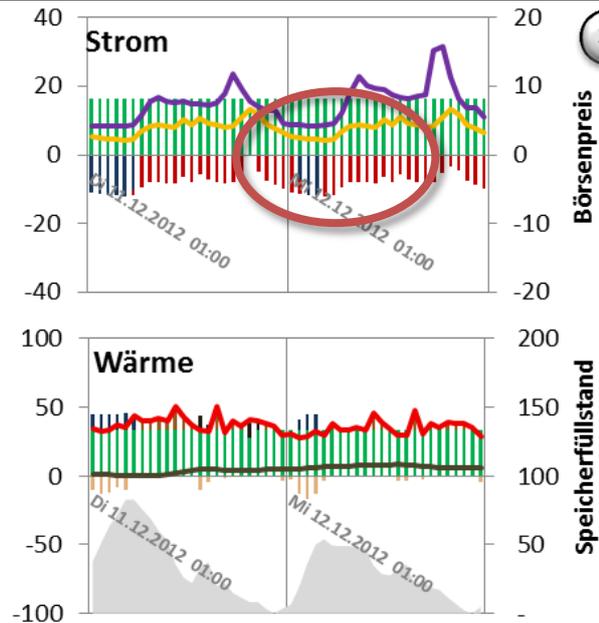
(1) Bei wenig Wärmebedarf in den Sommermonaten (nur Brauchwasserwärmebedarf) wird das BHKW überwiegend im Teillastbetrieb betrieben. Die wärmeseitige Speicherentladung erfolgt mit sehr geringer Leistung zwischen den Betriebspunkten des BHKW.



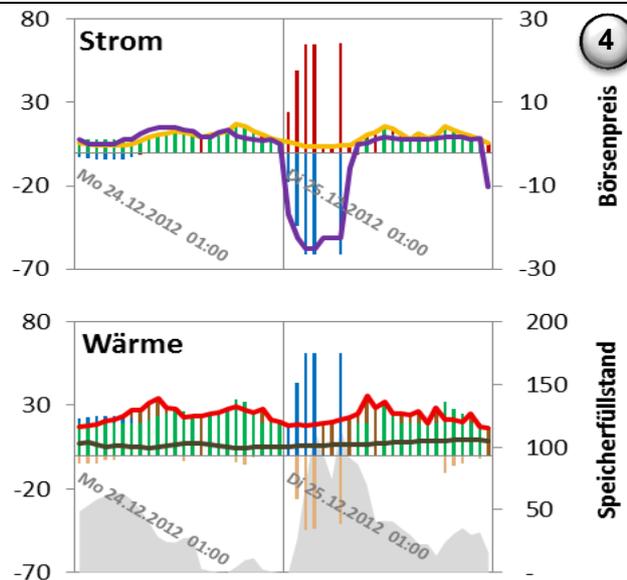
(2) Ist der Wärmebedarf in der Übergangszeit (Frühling, Herbst) höher als im Sommer, werden die Betriebszeiten des BHKW vorrangig auf die Zeiten mit den höchsten Börsenpreisen im Tagesverlauf gelegt. Die erzeugte Wärme steht den Letztverbrauchern mittels EWMS bedarfsgerecht zur Verfügung.



(3) Bei entsprechend hohem Wärmebedarf im Winter wird das BHKW konstant unter Volllast betrieben. Dann entscheidet der WOB-Algorithmus, ob trotz tiefer Börsenpreise der Strom in das öffentliche Netz eingespeist wird, oder stattdessen den Elektroheizstäben für eine zusätzliche Wärmeerzeugung zugeführt wird.



(4) Bei negativen Strompreisen kann auch das Abschalten des BHKW bei gleichzeitig größtmöglicher Stromnutzung mittels der Elektroheizstäbe vorgegeben werden. Die hier dargestellte Preisentwicklung an Weihnachten 2012 verdeutlicht diese Situation exemplarisch. Zurückzuführen ist diese Preisentwicklung auf starken Wind, wenig industriellen Strombedarf und den beschränkten Möglichkeiten zur flexiblen An- und Abschaltung von Grundlastkraftwerken.



4 Ergebnisse der Feinkonzeptphase (HN/SWK)

Der Schwerpunkt bei der Ausarbeitung des Feinkonzeptes liegt auf der Wirtschaftlichkeitsanalyse des Konzeptes KWK-Inno.Net Krefeld. Das Konzept zur dezentralen Wärme- und Stromversorgung mittels wirtschaftlich orientiert betriebenen KWK-Systemen kann nur erfolgreich umgesetzt werden, wenn sowohl für die Stadt Krefeld, für den Betreiber des Versorgungssystems, als auch für den Kunden ein ökonomischer und ökologischer Vorteil entsteht. Um das ökologische Potential der Stadt Krefeld und das ökonomische Potential für den Betreiber zu ermitteln, wird im ersten Schritt das Umsetzungspotential in der Stadt Krefeld ermittelt (vgl. Kapitel 4.1). Anschließend wird die Wirtschaftlichkeit des Konzeptes aus den

unterschiedlichen Blickwinkeln berechnet und ausgewertet. Die Auswirkung der systemrelevanten Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit wird anhand zukünftiger Entwicklungsprognosen bewertet. Zusätzlich werden zukünftige Entwicklungschancen und mögliche Erweiterungen des Konzeptes analysiert und bewertet.

4.1 Wirtschaftlichkeit des Konzeptes KWK-Inno.Net Krefeld (HN/SWK)

Die Wirtschaftlichkeit des Konzeptes KWK-Inno.Net Krefeld wird am Beispiel von Krefelder Mehrfamilienhäusern aus den Perspektiven des VKW-Betreibers, des Vermieters der Wohnanlage (WA) und des Mieters der Wohneinheit (WE) bewertet. Für die Wirtschaftlichkeitsbewertung wird die Kapitalwertmethode [10] genutzt. Diese beschreibt die Wirtschaftlichkeit einer Investition im Vergleich zur Anlageverzinsung am Kapitalmarkt. Die realisierbaren Zinsen am Kapitalmarkt werden hier für Unternehmen mit 6% höher als bei normalen Privatanlegern angenommen. Für Privatpersonen wurden die Kapitalwerte unter Berücksichtigung verschiedener Zinssätze von Sparanlagen zwischen 1,14 % und 4,71 % (vgl. Tabelle 5 in Kapitel 9.1) berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass sich durch die unterschiedlichen Zinssätze in allen Betrachtungen lediglich die absoluten Werte der Kapitalwerte ändern, nicht aber die Verhältnisse der Kapitalwerte der Investitionsalternativen zueinander, so dass in diesem Bericht nur die Ergebnisse des aktuellen Zinssatzes der 10-Jahres Bundesanleihe aufgeführt werden. Der Betrachtungszeitraum für die Berechnung des Kapitalwertes wird mit 10 Jahren angesetzt.⁴

4.1.1 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung aus Sicht des VKW-Betreibers (SWK)

Für die Krefelder Mehrfamilienhäuser existieren noch keine stundenscharfen Messwerte zum Wärme- und Strombedarfsverhalten. Daher werden realistische Verbrauchsprofile mit den etablierten Kennzahlen der Energiewirtschaft bezogen auf Krefeld berechnet (vgl. Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Neben den Außentemperaturen werden auch die historischen Marktdaten für den Referenzzeitraum vom 27.06.2012 bis zum 26.06.2013 betrachtet. Die historischen Spotmarktpreise der EEX werden anschließend normiert und auf die aktuell realistischen Jahresdurchschnittspreise an den Energiemärkten (Base-Preise) angepasst. Es gilt für Strom ein Base-Preis von 3,7 ct/kWh und für Gas 2,6 ct/kWh. Des Weiteren werden

⁴ Der Betrachtungszeitraum entspricht voraussichtlich der Vertragslaufzeit im Konzept KWK-Inno.Net Krefeld zwischen dem Betreiber und dem Vermieter der Wohnanlage.

aktuelle Steuern und Umlagen aus dem Jahr 2014 angesetzt. Die Letztverbraucherbedingungen werden entsprechend ortsüblicher Tarife angesetzt.

Die Ergebnisse der Feinkonzeptphase zeigen, dass im Konzept KWK-Inno.Net Krefeld nach der Umsetzungsphase für jede weitere Anlage ein positiver Kapitalwert abgeschätzt werden kann und es somit ein selbsttragendes Geschäftsmodell für regionale Energieversorger als VKW-Betreiber ist. Im Anschluss an die Umsetzungsphase kann jedes weitere KWK-System mit ausreichend Wärmebedarf in das virtuelle Kraftwerk integriert werden.

4.1.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung aus Sicht der Kunden (HN)

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung aus Sicht der Kunden werden 6 verschiedene Heizungssysteme als Alternativen zum KWK-Inno.Net Krefeld unter der Voraussetzung, dass die alte Heizungsanlage ausgetauscht werden muss, miteinander verglichen. Die Alternativen sind ein gasbetriebener Brennwertkessel, ein mit Holzpellets betriebener Brennwertkessel, eine Solarthermieanlage (30% der benötigten Heizlast) ergänzt um einen gasbetriebenen Brennwertkessel, eine Solarthermieanlage (30% der benötigten Heizlast) ergänzt um einen mit Holzpellets betriebenen Brennwertkessel, eine Erdwärmepumpe (30% der benötigten Heizlast) ergänzt um einen gasbetriebenen Brennwertkessel und eine Erdwärmepumpe (30% der benötigten Heizlast) ergänzt um einen mit Holzpellets betriebenen Brennwertkessel. In den jeweiligen Investitionen werden BAFA-Förderungen und die Abschreibungszeiträume nach AfA-Tabelle berücksichtigt (vgl. Kapitel 9.1).

Die Investition wird, soweit rechtlich möglich, als Sanierungsmaßnahme auf die Kaltmiete umgelegt. Für die Umlage der Investition auf die Kaltmiete wird der durchschnittliche Mindestmietpreis pro Quadratmeter in Krefeld konservativ mit 5 €/m² angesetzt. Die Wartungs-, Instandhaltungs- und Betriebskosten und die Kosten für den Energieträger werden auf die Nebenkosten umgelegt. Bei Heizungsanlagen mit einer Nutzungsdauer von mehr als 10 Jahren (Betrachtungszeitraum) wird ein Restwert nach AfA-Abschreibungstabelle berücksichtigt. Um einen möglichst großen Bereich verschiedener Anlagengrößen berücksichtigen zu können, werden die Gebäude nach Baujahr, Wohnungsgröße und Anzahl der Wohneinheiten kategorisiert (vgl. Abbildung 4 in Kapitel 9.1). Aus dieser Stichprobe werden der Maximalwert, der Median, das untere und das obere Quartil als Anlagengröße für die Wirtschaftlichkeitsanalyse ausgewählt. Die Kapitalwerte sind negativ, da sich aus der Wärmeversorgung für den Vermieter bzw. den Mieter keine Gewinne ergeben.

Die Analyse der Gebäude- und Wohnstrukturen der geeigneten Quartiere in Krefeld zeigt, dass Mietwohnungen das größte Potential zur Umsetzung des Konzeptes aufweisen. Prinzipiell lassen sich die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auch auf Eigentümerge-

meinschaften übertragen. Eine detaillierte Betrachtung zur Erweiterung des Konzeptes auf Eigentümergemeinschaften wird in der Umsetzungsphase erfolgen.

4.1.2.1 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung aus Sicht des Vermieters (HN)

Die Investitionen erfolgen aus Eigenkapital. Der durch die Sanierungsmaßnahme erstattungsfähige Steuervorteil für den Eigentümer der Immobilie wird nicht berücksichtigt. Die Kapitalwerte der Investitionsalternativen sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Der Kapitalwert des KWK-Inno.Net Krefeld beträgt aus Sicht des Vermieters Null, da die Kosten entweder vom Betreiber oder vom Endenergienutzer, also dem Mieter getragen werden. Die Ergebnisse zeigen darüber hinaus, dass durch die Investition in die Kombinationen von Solarthermieanlage oder Erdwärmepumpe mit einem Brennwertkessel unabhängig des Brennstoffes und unabhängig der benötigten Heizleistung des Gebäudes aus der Sicht des Immobilieneigentümers höhere Kosten erzeugt werden.

Tabelle 1: Kapitalwerte der Investitionsalternativen aus Sicht des Vermieters

Heizleistung der Anlage	KWK-Inno.Net Krefeld	Brennwertkessel mit Erdgas	Brennwertkessel mit Holzpellets	Solarthermieanlage mit Brennwertkessel (Erdgas)	Solarthermieanlage mit Brennwertkessel (Holzpellets)	Wärmepumpe mit Brennwertkessel (Erdgas)	Wärmepumpe mit Brennwertkessel (Holzpellets)
Maximalwert: 910 kW	0,- €	- 4.674 €	- 11.299 €	- 354.809 €	- 368.627 €	- 755.665 €	- 769.974 €
oberes Quartil: 235 kW	0,- €	- 1.601 €	- 4.188 €	- 94.409 €	- 104.096 €	- 196.313 €	- 206.492 €
Median: 127 kW	0,- €	- 1.113 €	- 3.059 €	- 53.056 €	- 62.087 €	- 107.484 €	- 117.007 €
unteres Quartil: 96 kW	0,- €	- 849 €	- 2.449 €	- 30.712 €	- 39.390 €	- 59.490 €	- 68.659 €

Eine zusätzliche Berücksichtigung der steuerlichen Vorteile des Immobilienbesitzers durch die Investition in seine Immobilie kann dazu führen, dass die Investition in einen Brennwertkessel unabhängig vom Brennstoff in einer Einzelfallbetrachtung im Vergleich zu KWK-Inno.Net Krefeld einen wirtschaftlichen Vorteil aufweist. Dieser Vorteil ist abhängig von den Vermögens- und Lebensumständen des Immobilienbesitzers und kann daher an dieser Stelle nicht einkalkuliert werden. Das Konzept KWK-Inno.Net Krefeld bietet im Vergleich zu den Investitionsalternativen für den Vermieter allerdings den besonderen Vorteil, sich nicht um die Wartung, und den Betrieb der Heizungsanlage kümmern und keine Investition tätigen zu müssen, so dass ihm sein Eigenkapital zur Verfügung steht.

4.1.2.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung aus Sicht des Mieters (HN)

Für jede Kombinationsmöglichkeit von Wohnungsgrößen und Gebäudealter (vgl. Abbildung 9, Kapitel 9.1) wird der benötigte jährliche Wärmebedarf der jeweiligen Wohnung berechnet. In Abhängigkeit zu diesem Wärmebedarf wurden die Heizkosten inkl. der Mieterhöhung durch die Sanierungsmaßnahme in der Kapitalwertmethode berücksichtigt.

Die Auswertung der Analyse zeigt, dass die Wärmeversorgung über KWK-Inno.Net Krefeld für den Endkunden in den meisten Fällen die günstigste Alternative ist. In wenigen Fällen ist die Wärmeversorgung mittels eines Brennwertkessels, der mit Holzpellets betrieben wird, günstiger als die anderen Alternativen. Das ist der Fall in Wohnungen < 80 m² in einem Gebäude mit einem Baujahr zwischen 1949 und 1986 und in Wohnungen < 60 m² in einem Gebäude mit einem Baujahr vor 1949.⁵ Das entspricht ca. 38% der geeigneten Wohnungen in den alten Bundesländern [11]. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung aus Sicht des Vermieters zeigt jedoch, dass die Investition in einen Brennwertkessel betrieben mit Holzpellets für den Vermieter nur mit evtl. erzielbaren steuerlichen Vorteilen wirtschaftlicher ist, als die Entscheidung für das Konzept KWK-Inno.net Krefeld. Somit ist die Wahrscheinlichkeit, dass dem Mieter zur Wärmeversorgung ein Brennwertkessel betrieben mit Holzpellets als Alternative zur Verfügung gestellt wird gering.

Zusätzlich zur Wärmeversorgung wird den Mietern mit dem Konzept KWK-Inno.Net Krefeld ein günstiger Stromtarif angeboten. Die sich daraus ergebenden Einsparungen sind abhängig von der Personenanzahl im Haushalt und können deshalb nicht in den Kosten der Wärmeversorgung berücksichtigt werden.

Die Tabellen der Kapitalwerte aller alternativen Heizungsanlagen aus Sicht des Mieters befinden sich im Kapitel 9.1.

4.1.3 Analyse kommunaler Liegenschaften für eine zukünftige Konzeptübertragung (InnoE)

Die Stadt Krefeld bewirtschaftet einen Gebäudebestand von ca. 1.500 Gebäuden. Wie bei vielen Kommunen gibt es einen Sanierungsstau, der durch die angespannte Haushaltslage weiter verschärft wird. Wie die Untersuchungen zeigen, bietet KWK-Inno.Net das Potential einer für die Kommune kostengünstigen Sanierung von Heizungsanlagen. Im Feinkonzept wurden die Liegenschaften analysiert und der Fernwärmebereich ausgeklammert (u.a. Rathaus, Theater, Eishallen). Weitere Liegenschaften haben keinen sommerlichen Wärmebedarf (z.B. Verwaltungen) oder sind zu klein. Die Voruntersuchung zeigt, dass mehrere Lie-

⁵ Der Brennwertkessel betrieben mit Holzpellets ist für Mieter dieser Wohnungen günstiger, da in diesen Fällen der niedrigere Brennstoffpreis nicht vollständig durch die Mieterhöhung kompensiert wird.

genschaften aus dem Bereich Schule, Kindertagesstätte, Turnhalle, Sportplatz, Feuerwehr und Schwimmbad, die aufgrund ihrer Nutzung und dem Alter der Heizungsanlage für das Modell passend sind. Zwar lässt die derzeitige Datenlage mangels aussagekräftiger Lastprofile noch keine abschließende Bewertung zu, die bisherigen Analysen sind aber vielversprechend.

Die praktische Umsetzung im Rahmen von Contracting ist ein komplexer Entscheidungsprozess innerhalb der Kommune. Hierzu verfügt die Stadt Krefeld bereits über einige Erfahrungen. Der Abbau von Wissensdefiziten und die Verbesserung von Kommunikationsstrukturen ist trotzdem ein wichtiges Element für eine erfolgreiche Umsetzung. Ein interkommunaler Erfahrungsaustausch fördert die Übertragbarkeit auf andere Kommunen.

4.2 Systemrelevante Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit (HN/SWK)

Das Konzept KWK-Inno.Net Krefeld wird im Wesentlichen durch die Wärme- und Strombedarfe direkt angeschlossener Letztverbraucher und die Börsenpreise für Gas und Strom beeinflusst. Um die Auswirkungen zukünftiger Entwicklungen dieser Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit des Konzepts nach der Umsetzungsphase abschätzen zu können, wird die Stabilität der Wirtschaftlichkeitsberechnung mittels Prognosen über die demographische Entwicklung, die Maßnahmen zum energieeffizienten Sanieren und die Preisentwicklungen an den Energiemärkten geprüft.

4.2.1 Börsenpreisentwicklungen (SWK)

Durch die Kopplung der Letztverbrauchertarife an die Fernwärmepreise und Standardtarife zur Stromversorgung werden langfristige Trends der Energiemärkte berücksichtigt. Unvorhergesehene kurzfristige Sprünge des Gaspreises zwischen den regulären Tarifierpassungen beeinflussen die Gesamtwirtschaftlichkeit für einen begrenzten Zeitraum (in der Regel weniger als ein Jahr). Ein geringer Einfluss von Preissteigerungen am Strommarkt ist durch die Betriebsführungsoptimierung im WOB-Algorithmus zu erklären. Die Anlagensteuerung gleicht die Reststrombeschaffung und Überschusseinspeisung nahezu wertneutral aus.

4.2.2 Demographische Entwicklung (HN)

Nach aktueller Datenlage [11] ist bis 2030 eine deutliche Steigerung der 1- (+14%) und 2- (+9,4%) Personen Haushalte bei gleichzeitiger deutlicher Abnahme der 4- (-22%) und mehr (-20%) Personen Haushalte zu erwarten. Die demographische Entwicklung in Krefeld zwischen den Jahren 2008 bis 2012 (vgl. Tabelle 2) bestätigt den bundesweiten Trend für Krefeld. Aufgrund der steigenden Anzahl der Haushalte ist mit einem steigenden Bedarf an Raumwärme, aber nicht zwingend mit einem steigenden Warmwasserbedarf zu rechnen.

Der Zusammenhang zwischen der Haushaltsgröße (Personenanzahl) und der Größe der Wohnung (Wohnfläche) ist nicht linear.

Tabelle 2: Anzahl der Haushalt in Krefeld kategorisiert nach der Haushaltsgröße von 2008 - 2012

Jahr	Anzahl 1-Personen Haushalte	Anzahl 2-Personen Haushalte	Anzahl 3-Personen Haushalte	Anzahl 4- und mehr-Personen Haushalte
2008	50.204	34.166	15.749	15.599
2009	50.311	34.238	15.583	15.340
2010	51.248	34.302	15.361	15.130
2011	52.060	34.739	15.053	14.717
2012	53.173	34.880	14.976	14.508

Quelle: [7]

Für das Konzept KWK-Inno.Net Krefeld ist der Heizwärmebedarf des Wohngebäudes eine entscheidende Größe. Die zu erwartende Veränderung der Haushaltssituation wirkt sich somit nicht signifikant auf das Marktpotential und die Wirtschaftlichkeit des Konzeptes aus.

4.2.3 Prognose zur Gebäudesanierung in Krefeld (HN)

Zurzeit wird in Deutschland jährlich ca. 1% des Hausbestandes durch energetische Maßnahmen saniert (vgl. Tabelle 10 in Kapitel 9.2) [12]. In Krefeld lag die Förderquote der KfW Bankengruppe im Jahr 2012 unter dem bundesweiten Durchschnitt (vgl. Tabelle 3) [13]. Auch aus den vorliegenden Daten ist eine Steigerung dieser Quote nicht zu erwarten.

Tabelle 3: KfW Bankengruppe Förderungen im Bereich „Energieeffizient Sanieren“ (Bei gleichzeitiger Inanspruchnahme mehrere Förderprodukte sind Doppelzählungen möglich)

Effizienzhaus		Einzelmaßnahmen		Wohneinheiten in Krefeld (ges.)	Sanierungsquote	
Anzahl Förderung	Geförderte Wohneinheiten	Anzahl Förderung	Geförderte Wohneinheiten		Effizienzhaus	Einzelmaßnahmen
20	87	122	332	77.869	0,11 %	0,43 %

Quelle: [13]

Die zurückhaltende Umsetzung der Energieeffizienzmaßnahmen im Wohnbereich führen dazu, dass das Marktpotential und die Wirtschaftlichkeit des Konzeptes voraussichtlich in den nächsten Jahren stabil bleiben.

4.2.4 Ergänzende Technologien für das KWK-System (HN)

Im Rahmen der Feinkonzeptphase wurde die Möglichkeit des Parallelbetriebs mit weiteren, allerdings ungesteuerten, energieeffizienten Technologien zur Erweiterung des Konzeptes untersucht. Anhand eines Musterhauses wurden verschiedene technologische Ergänzungsmöglichkeiten bewertet. Hierbei wurden folgende Kriterien angesetzt: Primärenergieeinspa-

rung, Minderung der CO₂-Emissionen, Wirtschaftlichkeit und Auswirkung auf die Steuerung des virtuellen Kraftwerks.

Aufgrund der durchgeführten Analyse sind Fotovoltaik-, Mikro-Windenergie-, Solarthermie- und Geothermie-Anlagen aus ökologischer Sicht als Ergänzungen zur Kraft-Wärme-Kopplung sinnvoll. Die zusätzliche Installation von ungesteuerten Wärmeversorgungsanlagen, neben dem hier betrachteten KWK-System, beeinflusst aber die Betriebszeiten der BHKW. Dies führt in den meisten Fällen zu einer unwirtschaftlichen Auslastung der BHKW.

Der Einsatz von Technologien zur Niedertemperaturabwärmenutzung des Abgasstroms der BHKW, ist auf Grund der für das Konzept eingeplanten Brennwertnutzung im BHKW nicht sinnvoll, da die Restwärme der Abgasströme bereits effizient ausgenutzt wird und somit für eine weitere Nutzung zu gering ist.

4.3 Zukünftiges Entwicklungspotential der WOB (SWK)

Die mit den steuerbaren Elektroheizstäben im KWK-Inno.Net erzielbaren Spannungsstabilisierungen im Niederspannungsnetz könnten Netzausbaumaßnahmen verringern (vgl. Kapitel 3.2). Das ökonomische Potential bei der Vermeidung von Netzausbaumaßnahmen durch diese Power-to-Heat-Anwendungen wird in der angestrebten Umsetzungsphase dezidiert ermittelt und im Rahmen der regulatorischen Möglichkeiten bewertet.

Darüber hinaus ist das mathematische Optimierungsmodell der WOB grundsätzlich erweiterbar. In der angestrebten Umsetzungsphase werden daher geeignete Modellerweiterungen des hier betrachteten KWK-Systems und dessen Möglichkeiten in anderen Branchen und Einsatzbereichen geprüft (z.B. Kleine- und mittelständische Unternehmen, landwirtschaftliche Betriebe und Nahwärme- und Stromnetzsysteme). Hierbei wird auch untersucht, wie die im Feinkonzept als ökologisch sinnvoll definierten, dezentralen Energiesysteme mittels der WOB in die bestehende, virtuelle Kraftwerksstruktur des Konzeptes implementiert werden können. Neben den beschriebenen Energieerzeugern und EEG-Anlagen sind insbesondere auch die Möglichkeiten der Brennstoffzellen-KWK, der Batteriespeicher und der Heizanlagen mit Flüssiggasspeicher für Bereiche ohne Gasnetz zu untersuchen. Auch wird das Potential der WOB für Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungssysteme mit thermischen Speichern, steuerbaren Verbrauchern mit vorhandenen Speichern (z.B. Kühlhäuser oder Gewächshäuser) oder verschiebbaren Lasten (u.a. E-Mobility) untersucht.

4.4 Energiewirtschaftliche Konzeptbewertung (SWK)

Erneuerbare Energien werden an der Strombörse vereinfacht betrachtet umsonst angeboten. Daher korreliert z.B. eine hohe Erzeugungsleistungen aus Wind- und Sonnenenergie häufig auch mit niedrigeren Börsenpreisen in den entsprechenden Stunden, was mit dem Einspeisevorrang gem. EEG zu erklären ist (vgl. Abbildung 3). Der WOB-

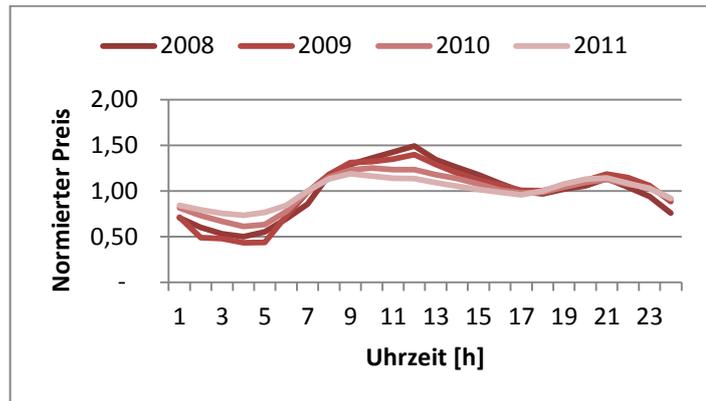


Abbildung 3: Entwicklung der „Solardelle“ im Frühling an einem Werktag von 2008 bis 2011

Quelle: Eigene Darstellung, auf Datengrundlage [14]

Algorithmus ermöglicht folglich auf Grund der Berücksichtigung von Börsenpreisen die KWK-Stromerzeugung in Zeiten mit geringer Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen. Neben diesem marktbasieren Ausgleich der volatilen EEG-Anlagen wirkt die Stromerzeugung zu besonders hohen Preisen auch dem Vorhalten von Kraftwerksreserven entgegen und würde bei ausreichender Verbreitung die Anzahl der lukrativen Stunden für den Einsatz von teuren und in der Regel wenig effizienten Großkraftwerken⁶ senken. Dieser Effekt würde auch bei einem zukünftig konsequenter umgesetzten CO₂-Zertifikatehandel einer besonders CO₂-intensiven Stromerzeugung entgegen wirken.

Zusammenfassend wirken die Effekte einer „Wirtschaftlich Orientierten Betriebsführung“ von dezentralen KWK-Systemen den negativen Auswirkungen der Energiewende entgegen. Preisstabilisierungen für Letztverbraucher, Netzentlastungen und Ergänzung der EEG-Einspeisungen können folglich mit dem intelligenten Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung realisiert werden.

⁶ Bei besonders hohen Börsenpreisen werden auch Ölkraftwerke und reine Gasturbinen mit schlechten Wirkungsgraden eingesetzt (vgl. „Merit-Order“).

5 Beschreibung der Kennzahlenermittlung (SWK)

Für die Ermittlung der Primärenergie- und CO₂-Einsparungen wurde ein energetischer Bilanzkreis um das dezentrale KWK-System entsprechend Abbildung 2 (Seite 4) gezogen (rote gestrichelte Linie). Als Referenzszenario werden Wärmebedarfe mit einem konventionellen Brennwertkessel und Strombedarfe aus dem öffentlichen Stromnetz betrachtet.

Zur Berechnung des Ausbaupotentials nach der Umsetzungsphase (vgl. Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) wurde ein realistisches Marktpotential [Rubin, 2012] in den bevorzugten Bezirken (vgl. Kapitel 2) abgeschätzt. Hierbei wurden mittels des Kesselwirkungsgrades entsprechend **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und den Gasbezügen Krefelder Wohnanlagen [15] Wärmebedarfscluster für verschiedene Gebäudegrößen gebildet und ein absolutes Marktpotential berechnet. Für die Berechnung realistischer Ausbauziele wurden anschließend jährlich 20 % der Anlagen kumuliert, die ausreichend Wärmebedarf haben und statistisch betrachtet eine neue Heizungsanlage benötigen (Annahme: Kessellebensdauer von 17 Jahren mit einer Standardabweichung von 3 Jahren). Mit diesem Marktpotential wurden die nach der Umsetzungsphase anzustrebenden Ausbauziele bis 2020 und bis 2027 berechnet.

Für die Berechnung der spezifischen Kosten werden die Investitionskosten linear über 10 Jahre abgeschrieben und zu den jährlichen Kosten für die Gas- und Strombeschaffung (inkl. Steuerung und Umlagen bzw. Mess- und Abrechnungskosten) sowie Wartungs-, Betriebs- und Instandhaltungskosten gerechnet. .

6 Beitrag zu den grundlegenden Zielen des Ziel-2-Programms (Kr/SWK/HN)

Mit dem Konzept KWK-Inno.Net Krefeld kann in der Stadt Krefeld ein einzigartiges und marktreifes virtuelles Kraftwerk „Made in NRW“ etabliert werden. Die BHKW begünstigen eine schnelle Anpassung an zukünftige Rahmenbedingungen und das Projekt verbessert die Wettbewerbsfähigkeit der Kommune. Von den zusätzlichen Energieerzeugungsanlagen profitieren direkt und indirekt die privaten Haushalte, denn die BHKW erzeugen unter dem wirtschaftlich optimierten Betriebsführungssystem kostengünstig Wärme und Strom für die Region. Zudem erhalten die Krefelder Firmen und das örtliche Handwerk bereits in der Umsetzungsphase durch regionale Ausschreibungen die Möglichkeit, sich aktiv am Konzept zu beteiligen. Die Kooperation eines regional agierenden Stadtwerkes, der örtlichen Betriebe sowie der Hochschule Niederrhein unterstreicht die Potentialsteigerung im Bereich der Inno-

vationskraft auf dem Gebiet der Energieeffizienz und der Ressourcenschonung, ganz im Sinne des Ziel 2-Programmes.

7 Beitrag zu den Querschnittszielen des Ziel-2-Programms (Kr/SWK/HH)

7.1 Chancengleichheit

Die Ziele der Gleichstellung von Frauen und Männern und die Einbeziehung der Nichtdiskriminierung finden bereits bei der Ausarbeitung des Feinkonzeptes, bei der Umsetzungsphase und bei der Besetzung zukünftiger projektbezogener Positionen und Kommissionen Anwendung. Als Arbeitgeber in öffentlicher Hand sind die Ziele der Gleichstellung von Frauen und Männern und der Nichtdiskriminierung Teil der unternehmerischen Leitlinien aller Projektpartner.

7.2 Beitrag zur umweltgerechten Entwicklung

In der technischen Grundauslegung produzieren die BHKW bei gleichzeitiger Stromerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung effizient vor Ort nutzbare Wärme. Die Wärme kann kurzfristig gespeichert und damit auch zeitversetzte Nachfragekapazitäten bedienen, ohne weitere Wärme zur Verfügung stellen zu müssen. Dieses Ziel wird u.a. durch den Einsatz steuerbarer Techniken erfüllt. Die Technik sorgt für eine Netzentlastung bzw. ein stabiles Netz und sichert damit wirtschaftlich vertretbare Strompreise. Die BHKW und die vorgelagerte Steuerungstechnik tragen hierzu bei und können mittels einer energetisch hoch effizienten Technik die ökonomische Tragfähigkeit der volatilen Einspeisung aus Wind- und Sonnenenergie nachhaltig stärken.

7.3 Beitrag zum Ausbau von kommunalen und regionalen KWK-Netzwerken

Mit der Umsetzung des Konzeptes und besonders mit den geplanten Veranstaltungen für die Öffentlichkeit entsteht ein Netzwerk in Krefeld, um weitere Kooperationen mit Synergieeffekten in den Bereichen Energieversorgung, -erzeugung und -effizienz zwischen lokalem Energieversorger, Krefelder Handwerk, Industrie und Forschung zu gründen. Innerhalb des während der Förderung aufgebauten Netzwerkes können in der Stadt Krefeld innovative Folgeprojekte initiiert werden.

Für eine Marktpotentialerweiterung des Konzeptes KWK-Inno.Net Krefeld sind neben den Mehrfamilienhäusern zusätzliche Gebäudetypen geeignet. Bei vorhandenem Wärmebedarf erstreckt sich der Bereich der Anwendungsobjekte von KMU über Lagerhallen, Kühl- und Gewächshäuser. Auch landwirtschaftliche Betriebe und Einrichtungen sowie öffentliche Liegenschaften mit einem entsprechend hohen Wärmebedarf wie Krankenhäuser, Schwimmbä-

der, Turnhallen und Schulen bilden ein Potential. Bei fehlendem Gasnetz kann die Einrichtung von Flüssiggasspeichern zusätzliches Potential generieren. Das wirtschaftliche und ökologische Potential einer Versorgung mittels Flüssiggasspeicher soll in der Umsetzungsphase geprüft werden.

Des Weiteren ist auch die Einbindung von BHKW in bestehende Nahwärme- und Stromnetze in Siedlungsgebieten bei entsprechenden technischen Anpassungen möglich.

Die WOB kann grundsätzlich auch auf weitere Technologien angewendet werden. Somit können zukünftig auch andere dezentrale Energiesysteme mit unterschiedlichen Technologien der Energiewende in das angestrebte virtuelle Kraftwerk integriert werden.

Das für Krefeld entwickelte Konzept kann grundsätzlich auch auf weitere Kommunen und dessen regionale Energieversorger übertragen werden.

Die Bedingungen zur Umsetzung des Konzepts KWK-Inno.Net Krefeld beschränken sich nicht auf kommunale Strukturen, so dass das Konzept grundsätzlich regionalübergreifend angewendet werden kann. Hierbei können auch ländliche Regionen mit speziellen Netzproblemen durch den Ausbau von EEG-Anlagen unterstützt werden. Die Auswahlmethoden der geeigneten Quartiere, Technologien und Gebäude können auch in anderen Kommunen angewendet werden. Während der Umsetzungsphase wird der Aspekt insbesondere bei der Entwicklung von Marketingstrategien und der Quantifizierung volkswirtschaftlicher Wirkungen berücksichtigt. Das Projekt wirkt dämpfend auf die Energiepreissteigerung, vermindert das Risiko der Energiearmut und ist daher insbesondere für einkommensschwache Haushalte von Vorteil.

Skaliert auf die durchschnittlichen Verhältnisse in Nordrhein-Westfalen kann alleine mit dem Konzept KWK-Inno.Net Krefeld in Wohngebäuden der KWK-gestützte Stromanteil um bis zu 19 % auf 7,2 % in 10 Jahren gesteigert werden (Basisjahr 2010/2011). Diese Potentiale können wirtschaftlich nicht durch Fernwärmenetze erschlossen werden. Das hier angestrebte Konzept stellt also eine ideale Ergänzung für den ganzheitlichen Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung in den nordrhein-westfälischen Kommunen dar.

8 Zusammenfassung

Das Konzept KWK-Inno.Net Krefeld verbindet die Minderung des Primärenergieverbrauches und der CO₂-Emissionen durch dezentrale Kraft-Wärme-Kopplungssysteme mit einem Steuerungs- und Regelungssystem zur gewinnmaximierenden Einspeisung von elektrischer Energie in das Verteilnetz. Das Konzept erschließt das KWK-Potential der ökonomisch nicht zur Nah- oder Fernwärme geeigneten Bezirke der Stadt Krefeld.

Kern des Konzeptes ist der Steuerungsalgorithmus der SWK ENERGIE GmbH zur „Wirtschaftlich Orientierten Betriebsführung“ (Rubin, 2012 [9]) (WOB-Algorithmus) der KWK-

Systeme in einem virtuellen Kraftwerk. Der WOB-Algorithmus optimiert die Betriebsweise der KWK-Systeme zur lokalen Wärme- und Stromversorgung in Mehrfamilienhäusern und gewinnmaximierenden Einspeisung der überschüssigen elektrischen Energie ins lokale Verteilnetz. Zusätzlich könnte das KWK-System zur Spannungsstabilisierung des Niederspannungsnetzes beitragen, indem die im System installierten Elektroheizstäbe vom zuständigen Verteilnetzbetreiber angesteuert werden (Power-to-Heat). Die Berechnung der täglichen Anlagensteuerung wurde bereits für die angestrebten Erstanlagen erfolgreich durchgeführt.

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalysen zeigen nicht nur, dass das Konzept KWK-Inno.Net Krefeld ein selbsttragendes Geschäftsmodell für regionale Energieversorger als Betreiber sein kann, sondern auch, dass das Konzept ein lukratives Angebot für Mieter und Vermieter der Wohneinheiten ist. In Anlehnung an das etablierte Energieliefercontracting wird den Mietern Wärme und Strom zu festen Preisen bereitgestellt. Für den Vermieter belaufen sich aufgrund des Contractingvertrags die Kosten zur Wärmeversorgung seiner Immobilie auf null und er hat keinen Zeitaufwand. Für den Mieter ist das Konzept des KWK-Inno.Net Krefeld in den meisten Fällen die günstigste Alternative zur Wärme- und Stromversorgung. Das Konzept wurde auf die Stabilität gegenüber zukünftigen Entwicklungen des Energiemarktes, der demographischen Entwicklung und der energetischen Gebäudesanierung geprüft. Die Auswertung zeigt, dass die zu erwartenden Entwicklungen in diesen Bereichen keine signifikanten Auswirkungen auf das Marktpotential und die Wirtschaftlichkeit des Konzeptes KWK-Inno.Net Krefeld haben.

In der Umsetzungsphase wird das ausgearbeitete Konzept mit Erstanlagen im realen Umfeld realisiert. Anhand der Betriebsdaten dieser Pilotanlagen wird evtl. vorhandenes Optimierungspotential im WOB-Algorithmus frühzeitig erkannt und kann direkt umgesetzt werden. Auch wird das Potential zur Einbindung weiterer Technologien und Verbrauchergruppen detailliert untersucht. Hierzu wird der WOB-Algorithmus erweitert und weiterführende Simulationen durchgeführt. Die zukünftigen Entwicklungschancen des Konzeptes KWK-Inno.Net Krefeld liegen in der Vermeidung von Netzausbaumaßnahmen und in der Einbindung weiterer dezentraler Energiesysteme, bzw. Übertragung auf weitere Verbrauchergruppen.

Nach Abschluss der Förderphase bietet das Konzept KWK-Inno.Net Krefeld nicht nur eine weitreichende Umsetzung in Krefeld, sondern lässt sich aufgrund der angewendeten Methoden auf weitere Kommunen und Regionen in NRW übertragen. Ein besonderes Übertragungspotential bietet das Konzept auch für ländliche Regionen ohne Fernwärmepotential, in denen mit der WOB ein virtuelles Kraftwerk mit weiträumig verteilten, dezentralen KWK-Systemen umgesetzt werden kann.

9 Anhang

9.1 Werte der Kapitalwertmethode (HN)

Die Kosten der Investitionen setzen sich zusammen aus Anschaffungs-, Installations- und Montagekosten, abgebildet wird das in der Kostenfunktion $K(P_{inst})$:

$$K(P_{inst}) = K_v(P_{inst}) + K_f$$

mit:

$K_v(P_{inst})$ = variable Kosten in Abhängigkeit der installierten Heizleistung

K_f = Fixkosten

Die Fixkosten für die Investition in Solarthermieanlagen und Erdwärmepumpen können nicht pauschal angegeben werden, da sie stark von den Rahmenbedingungen im Einzelfall abhängen. Für diese Anlagen werden die Kosten der Montage- und Installationsarbeiten mit einem Faktor von 0,4 [16]:

$$K(P_{inst}) = K_v(P_{inst}) + 0,4 * K_v(P_{inst}) \quad (\text{Werte in Tabelle 4})$$

Tabelle 4: Kosten der Investitionen in Heizungsanlagen

Heizungsanlage	Variable Kosten [€/kW _{inst}]	Fixkosten [€]
gasbetriebener Brennwertkessel	47,82	5.600
Brennwertkessel, betrieben mit Holzpellets	110,64	18.050
Solarthermieanlage	2.000,00	$K_v * 0,4$
Erdwärmepumpe	4.900,00	$K_v * 0,4$

Quelle: BMVBS Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Online-Publikation 08/2012

Die Abschreibungszeiträume der Heizungsanlagen nach AfA-Tabelle betragen:

- 15 Jahre für die Heizkessel und die Wärmepumpe
- 10 Jahre für die Solarthermieanlage

Die in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung angesetzten BAFA-Förderungen für Heizungsanlagen mit Erneuerbaren Energien betragen:

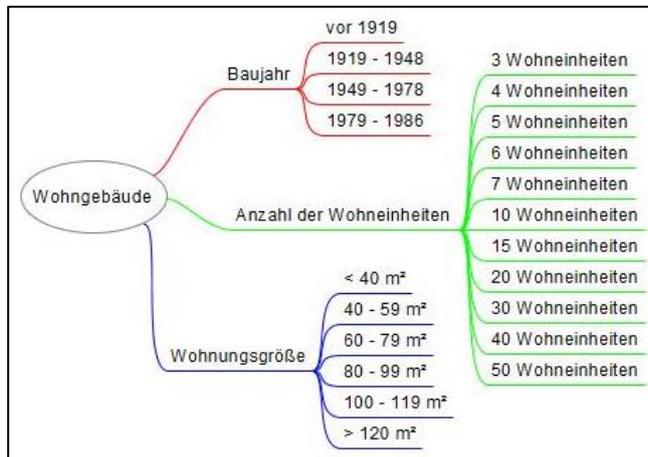
- Brennwertkessel betrieben mit Holzpellets 36 €/kW-Heizleistung
- Erdwärmepumpe 2.800 €
- Brennwertkessel betrieben mit Holzpellets kombiniert mit Solarthermieanlage zusätzliche 500 €

Tabelle 5: Kalkulatorische Zinssätze für die Wirtschaftlichkeitsanalyse

Zinssatz	Sparanlage
6%	unternehmerischer interner Zinssatz des Betreibers, nur für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung aus Sicht des Betreibers
1,737 %	10-Jahres Bundesanleihe
4,71 %	Maximum in den letzten 10 Jahren der 10-Jahres Bundesanleihe

1,14 %	Minimum in den letzten 10 Jahren der 10-Jahres Bundesanleihe
2,27 %	Sparbrief über 10 Jahre
4,66 %	Maximum in den letzten 10 Jahren des Sparbrief über 10 Jahre
2,1 %	Minimum in den letzten 10 Jahren des Sparbrief über 10 Jahre

Quelle: FMH-Finanzberatung [17]



Die Abbildung 9 zeigt die möglichen Kombinationen aus Baujahr, Anzahl der Wohneinheiten und Wohnungsgröße zur Kategorisierung der Gebäude in Abhängigkeit ihres Wärmebedarfs.

Nicht berücksichtigt werden die Kombinationen von mehr als 15 Wohnungen mit den Wohnungsgrößen 100 - 119 m² und > 120 m².

Abbildung 4: Kategorisierung der Wohngebäude

9.1.1 Ergebnistabellen der Kapitalwertmethode aus Sicht des Mieters (HN)

In den folgenden Tabellen sind die Kapitalwerte der verschiedenen Heizungsanlagen aus Sicht der Mieter in Wohngebäuden mit den Baujahren für die verschiedenen Wohnungsgrößen

- vor 1919 (Tabelle 6)
 - zwischen 1919 - 1948 (Tabelle 7)
 - zwischen 1949 - 1978 (Tabelle 8)
 - zwischen 1979 - 1986 (Tabelle 9)
- < 40 m²
 - 40 - 59 m²
 - 60 - 79 m²
 - 80 - 99 m²
 - 100 - 119 m²
 - > 120 m²

zusammengefasst.

Tabelle 6: Kapitalwerte aus Sicht der Mieter in einem Wohngebäude mit einem Baujahr vor 1919

Wohnungsgröße	KWK-Inno.Net Krefeld	Brennwertkessel (Erdgas von SWK)	Solarthermieanlage mit Brennwertkessel (Erdgas von SWK)	Wärmepumpe mit Brennwertkessel (Erdgas von SWK)	Wärmepumpe mit Brennwertkessel (Holzpellets)	Brennwertkessel (Erdgas von Fremdanbieter)	Brennwertkessel (Holzpellets)	Solarthermieanlage mit Brennwertkessel (Erdgas von Fremdanb.)	Solarthermieanlage mit Brennwertkessel (Holzpellets)	Wärmepumpe mit Brennwertkessel (Erdgas von Fremdanbieter)
< 40 m ²	-3.255 €	-4.089 €	-5.812 €	-9.277 €	-8.021 €	-4.600 €	-3.290 €	-6.246 €	-4.556 €	-9.711 €
40 bis 59 m ²	-9.467 €	-11.064 €	-12.450 €	-19.903 €	-16.838 €	-11.475 €	-8.044 €	-13.095 €	-9.385 €	-20.548 €
60 bis 79 m ²	-6.434 €	-8.432 €	-12.781 €	-20.731 €	-18.600 €	-8.891 €	-7.707 €	-13.323 €	-10.650 €	-21.273 €
80 bis 99 m ²	-4.745 €	-7.196 €	-14.028 €	-22.983 €	-21.388 €	-7.683 €	-8.110 €	-14.513 €	-12.434 €	-23.468 €
100 bis 119 m ²	-9.393 €	-12.544 €	-19.599 €	-31.951 €	-29.011 €	-12.957 €	-12.002 €	-20.242 €	-16.660 €	-32.594 €
> 120 m ²	-4.354 €	-7.568 €	-17.362 €	-28.632 €	-27.205 €	-8.062 €	-9.894 €	-17.834 €	-15.935 €	-29.104 €

Tabelle 7: Kapitalwerte aus Sicht der Mieter in einem Wohngebäude mit einem Baujahr zwischen 1919 und 1948

Wohnungsgröße	KWK-Inno.Net Krefeld	Brennwertkessel (Erdgas von SWK)	Solarthermieanlage mit Brennwertkessel (Erdgas von SWK)	Wärmepumpe mit Brennwertkessel (Erdgas von SWK)	Wärmepumpe mit Brennwertkessel (Holzpellets)	Brennwertkessel (Erdgas von Fremdanbieter)	Brennwertkessel (Holzpellets)	Solarthermieanlage mit Brennwertkessel (Erdgas von Fremdanb.)	Solarthermieanlage mit Brennwertkessel (Holzpellets)	Wärmepumpe mit Brennwertkessel (Erdgas von Fremdanbieter)
< 40 m ²	-4.779 €	-5.673 €	-6.851 €	-10.892 €	-9.183 €	-6.159 €	-4.129 €	-7.337 €	-5.143 €	-11.378 €
40 bis 59 m ²	-11.069 €	-12.728 €	-13.543 €	-21.601 €	-18.060 €	-13.114 €	-8.926 €	-14.242 €	-10.002 €	-22.300 €
60 bis 79 m ²	-8.024 €	-10.083 €	-13.865 €	-22.416 €	-19.813 €	-10.518 €	-8.582 €	-14.461 €	-11.263 €	-23.012 €
80 bis 99 m ²	-3.235 €	-5.626 €	-12.998 €	-21.382 €	-20.236 €	-6.137 €	-7.278 €	-13.432 €	-11.851 €	-21.816 €
100 bis 119 m ²	-10.981 €	-14.194 €	-20.683 €	-33.634 €	-30.223 €	-14.581 €	-12.876 €	-21.379 €	-17.272 €	-34.330 €
> 120 m ²	-5.345 €	-8.598 €	-18.038 €	-29.683 €	-27.961 €	-9.075 €	-10.440 €	-18.543 €	-16.317 €	-30.188 €

Tabelle 8: Kapitalwerte aus Sicht der Mieter in einem Wohngebäude mit einem Baujahr zwischen 1949 und 1978

Wohnungsgröße	KWK-Inno.Net Krefeld	Brennwertkessel (Erdgas von SWK)	Solarthermieanlage mit Brennwertkessel (Erdgas von SWK)	Wärmepumpe mit Brennwertkessel (Erdgas von SWK)	Wärmepumpe mit Brennwertkessel (Holzpellets)	Brennwertkessel (Erdgas von Fremdanbieter)	Brennwertkessel (Holzpellets)	Solarthermieanlage mit Brennwertkessel (Erdgas von Fremdanb.)	Solarthermieanlage mit Brennwertkessel (Holzpellets)	Wärmepumpe mit Brennwertkessel (Erdgas von Fremdanbieter)
< 40 m ²	-6.342 €	-7.297 €	-7.917 €	-12.548 €	-10.376 €	-7.758 €	-4.990 €	-8.456 €	-5.745 €	-13.087 €
40 bis 59 m ²	-3.295 €	-4.650 €	-8.239 €	-13.362 €	-12.128 €	-5.160 €	-4.645 €	-8.675 €	-7.006 €	-13.797 €
60 bis 79 m ²	-9.613 €	-11.735 €	-14.950 €	-24.100 €	-21.026 €	-12.144 €	-9.457 €	-15.600 €	-11.875 €	-24.750 €
80 bis 99 m ²	-6.294 €	-8.805 €	-15.085 €	-24.625 €	-22.570 €	-9.267 €	-8.963 €	-15.623 €	-13.031 €	-25.162 €
100 bis 119 m ²	-3.363 €	-6.279 €	-15.486 €	-25.561 €	-24.411 €	-6.788 €	-8.682 €	-15.924 €	-14.336 €	-25.999 €
> 120 m ²	-6.336 €	-9.628 €	-18.714 €	-30.733 €	-28.717 €	-10.089 €	-10.985 €	-19.253 €	-16.699 €	-31.272 €

Tabelle 9 Kapitalwerte aus Sicht der Mieter in einem Wohngebäude mit einem Baujahr zwischen 1979 und 1986

Wohnungsgröße	KWK-Inno.Net Krefeld	Brennwertkessel (Erdgas von SWK)	Solarthermieanlage mit Brennwertkessel (Erdgas von SWK)	Wärmepumpe mit Brennwertkessel (Erdgas von SWK)	Wärmepumpe mit Brennwertkessel (Holzpellets)	Brennwertkessel (Erdgas von Fremdanbieter)	Brennwertkessel (Holzpellets)	Solarthermieanlage mit Brennwertkessel (Erdgas von Fremdanb.)	Solarthermieanlage mit Brennwertkessel (Holzpellets)	Wärmepumpe mit Brennwertkessel (Erdgas von Fremdanbieter)
< 40 m ²	-7.905 €	-8.920 €	-8.984 €	-14.204 €	-11.568 €	-9.357 €	-5.850 €	-9.576 €	-6.348 €	-14.797 €
40 bis 59 m ²	-4.845 €	-6.261 €	-9.296 €	-15.004 €	-13.311 €	-6.746 €	-5.499 €	-9.785 €	-7.603 €	-15.492 €
60 bis 79 m ²	-11.243 €	-13.428 €	-16.061 €	-25.827 €	-22.269 €	-13.811 €	-10.355 €	-16.767 €	-12.503 €	-26.532 €
80 bis 99 m ²	-7.843 €	-10.415 €	-16.142 €	-26.267 €	-23.752 €	-10.852 €	-9.816 €	-16.732 €	-13.628 €	-26.857 €
100 bis 119 m ²	-2.397 €	-5.275 €	-14.827 €	-24.537 €	-23.674 €	-5.800 €	-8.150 €	-15.232 €	-13.963 €	-24.942 €
> 120 m ²	-7.352 €	-10.683 €	-19.407 €	-31.809 €	-29.492 €	-11.128 €	-11.545 €	-19.980 €	-17.090 €	-32.382 €

9.2 Mittlere jährliche Modernisierungsquote in Deutschland (HN)

Tabelle 10: Mittlere jährliche Modernisierungsquoten zwischen 2005-2010* nach [12]

Art der Modernisierung	Vermietete Mehrfamilienhäuser (bis 12 WE)
Wärmedämmung	1,7%
Fenstermodernisierung	1,7%
Heizungserneuerung	1,4%
Nutzung von Fördermitteln	1,0%
Fördermittel der KfW	0,8%
Wärmedämmung und Fenstermodernisierung	0,6%
Wärmedämmung und Heizungserneuerung	0,3%
Fenstermodernisierung und Heizungserneuerung	0,3%
Wärmedämmung und Nutzung von Fördermitteln	0,5%
Wärmedämmung und Fördermittel der KfW	0,4%
Heizungserneuerung und Nutzung von Fördermitteln	0,3%
Heizungserneuerung und Fördermittel der KfW	0,3%

*Quelle: Datenbasis Gebäudebestand (IWU 2010); *Sanierungszeitraum 1.1.2005 bis 31.1.2010*

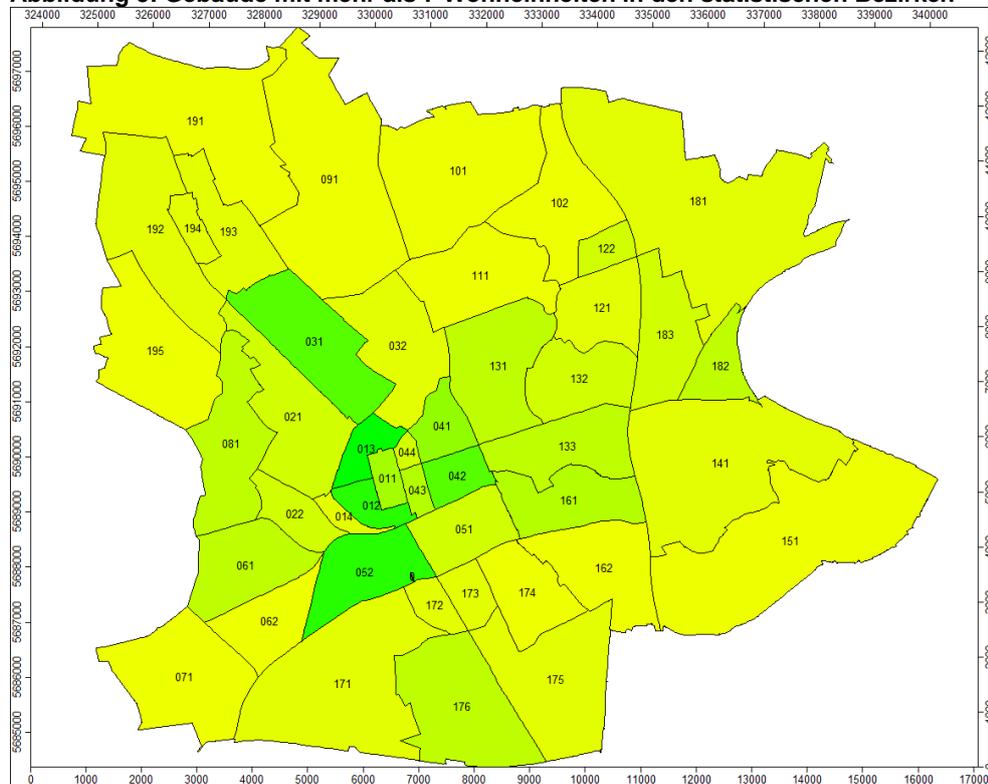
9.3 Liste der statistischen Bezirke der Stadt Krefeld (HN)

Bez.-nr.	Bezirk
011	Vier Wälle
012	Südring
013	Stadtgarten/Drießendorf
014	Hammerschmidtplatz
021	Kempener Feld
022	Baackeshof
031	Inrath
032	Kliedbruch
041	Cracau
042	Schinkenplatz
043	Stephanplatz
044	Bleicherpfad
051	Dießem
052	Lehmheide
061	Gatherhof
062	Lindental/Tackheide
071	Forstwald
081	Benrad-Nord
091	Hülser Berg
101	Traar-West
102	Traar-Ost
111	Verberg
121	Gartenstadt
122	Elfrath
131	Stadtwald
132	Sollbrüggen
133	Tierpark
141	Linn
151	Gellep-Stratum
161	Oppum
162	Oppum-Süd
171	Stahldorf
172	Königshof-West
173	Königshof
174	Niederbruch
175	Fischeln-Ost
176	Fischel-West
181	Hohenbudberg
182	Uerdingen-Markt
183	Uerdingen-Stadtpark
191	Orbroich/Hülser Bruch
192	Roßmühle/Steeg
193	Flöthbach/Plankerdyk
194	Hüls-Ortskern
195	Hülbusch

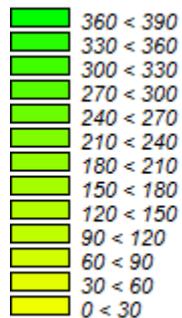
9.4 Abbildungen zur Quartiersauswahl (HN)

Die folgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Quartiersanalyse anhand der Stadtkarte Krefelds. Der Wärmebedarf ist Abhängig vom Gebäudealter (Dämmung) und der zu beheizenden Wohnfläche [7]. Für das Konzept KWK-Inno.Net Krefeld eignen sich aufgrund dieser Kriterien besonders Wohngebäude mit mehr als 7 Wohneinheiten und einem Baujahr vor 1986. In Abbildung 5 sind die statistischen Bezirke in Abhängigkeit zur Anzahl der Wohngebäude mit mehr als 7 Wohneinheiten von gelb bis grün eingefärbt. In gelb eingefärbten Bezirken gibt es weniger als 30 Wohngebäude mit mehr als 7 Wohneinheiten, mit steigendem Grünton steigt auch die Anzahl der Wohngebäude mit mehr als 7 Wohneinheiten. In Bezirken mit einem satten Grünton gibt es zwischen 360 bis 390 Wohngebäude mit mehr als 7 Wohneinheiten.

Abbildung 5: Gebäude mit mehr als 7 Wohneinheiten in den statistischen Bezirken

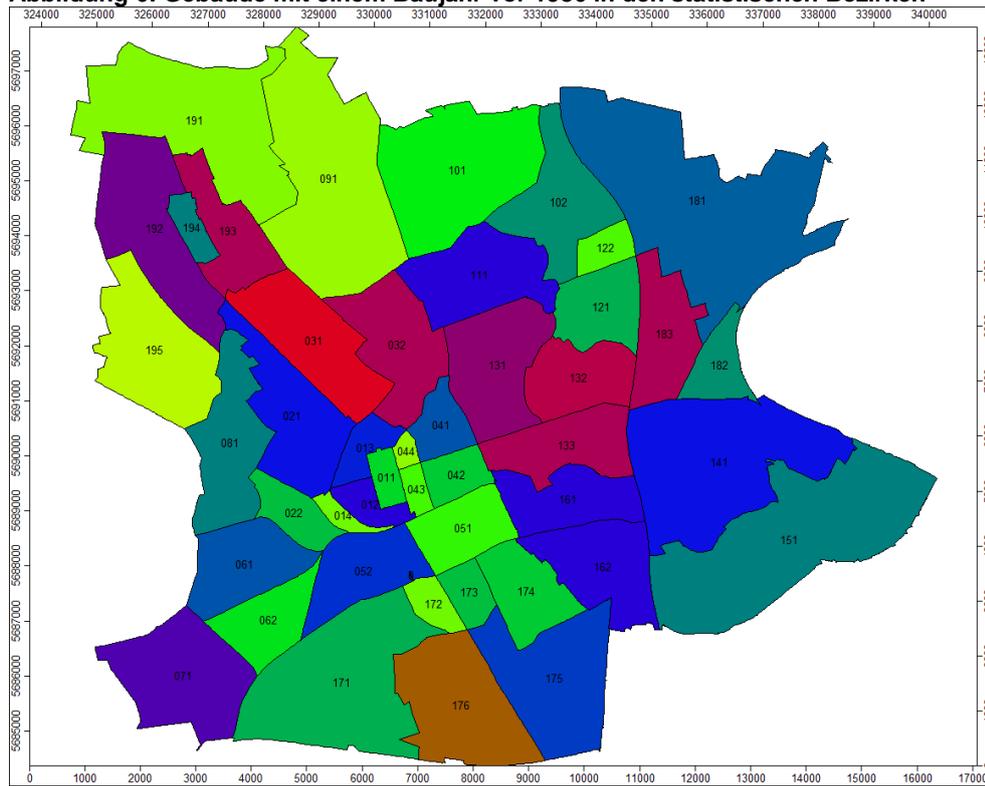


Anzahl der Wohngebäude mit mehr als 7 Wohneinheiten

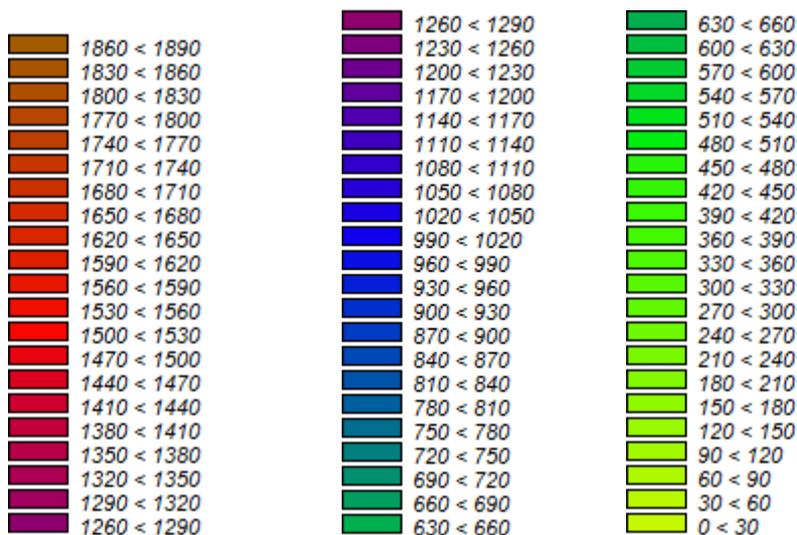


In Abbildung 6 sind die statistischen Bezirke in Abhängigkeit zur Anzahl der Wohngebäude mit einem Baujahr vor 1986 eingefärbt. In gelb eingefärbten Bezirken gibt es weniger als 30 Wohngebäude mit einem Baujahr vor 1986, je dunkler die Einfärbung (vgl. Farbskala unten) desto höher ist die Anzahl der Wohngebäude mit einem Baujahr vor 1986. In Bezirken mit einem Braunton gibt es zwischen 1.860 bis 1.890 Wohngebäude mit einem Baujahr vor 1986.

Abbildung 6: Gebäude mit einem Baujahr vor 1986 in den statistischen Bezirken

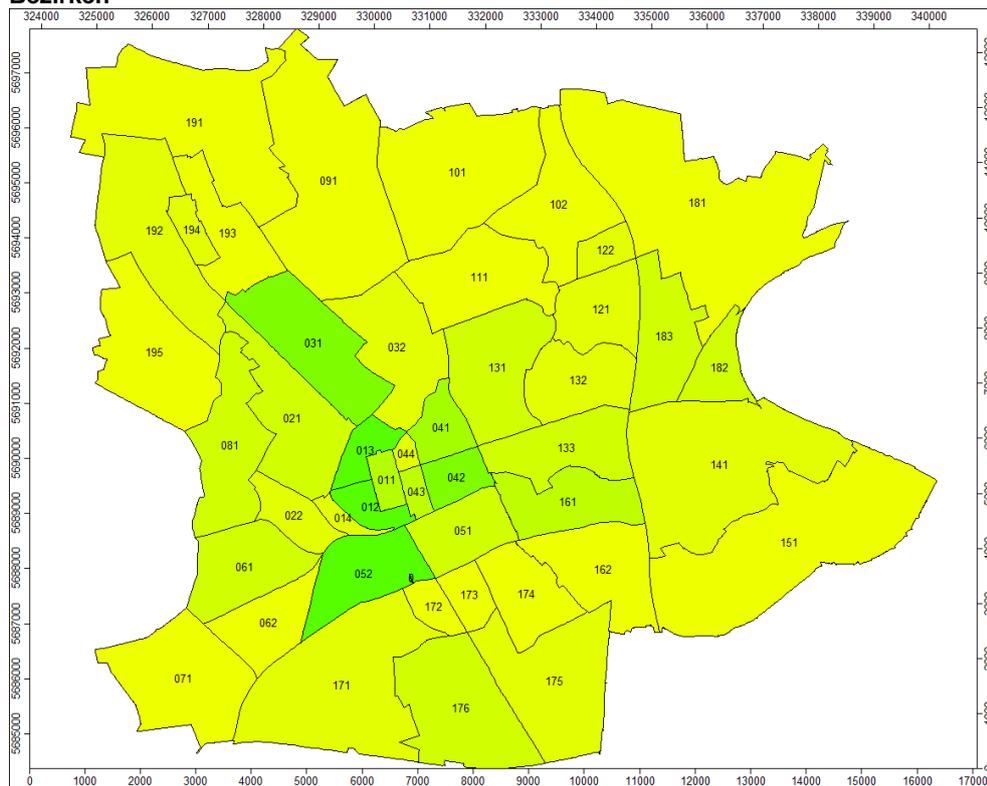


Anzahl der Wohngebäude mit einem Baujahr vor 1986

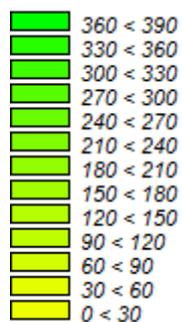


In Abbildung 7 sind die statistischen Bezirke in Abhängigkeit zur Anzahl der Wohngebäude mit mehr als 7 Wohneinheiten und einem Baujahr vor 1986 von gelb bis grün eingefärbt. In gelb eingefärbten Bezirken gibt es weniger als 30 Wohngebäude mit mehr als 7 Wohneinheiten und einem Baujahr vor 1986, mit steigendem Grünton steigt auch die Anzahl der Wohngebäude mit mehr als 7 Wohneinheiten und einem Baujahr vor 1986. In Bezirken mit einem satten Grünton gibt es zwischen 360 bis 390 Wohngebäude mit mehr als 7 Wohneinheiten und einem Baujahr vor 1986.

Abbildung 7: Gebäude mit mehr als 7 Wohneinheiten und einem Baujahr vor 1986 in den Statistischen Bezirken

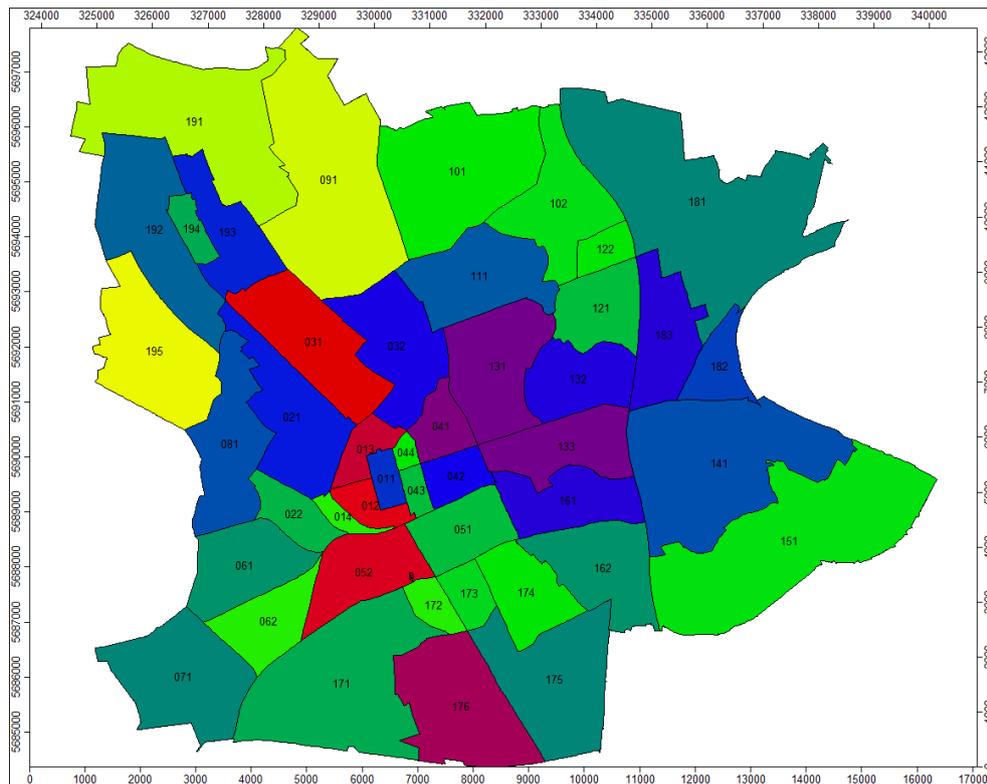


Anzahl der Gebäude mit mehr als 7 Wohneinheiten und einem Baujahr vor 1986

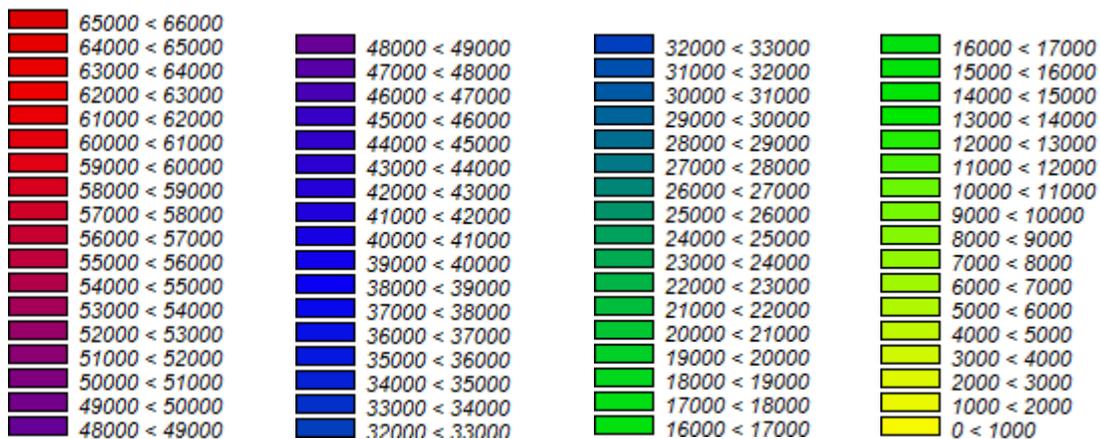


In Abbildung 8 sind die statistischen Bezirke in Abhängigkeit zum jährlichen Heizwärmebedarf des jeweiligen statistischen Bezirks eingefärbt. In gelb eingefärbten Bezirken liegt der jährliche Heizwärmebedarf unter 1.000 MWh, je dunkler die Einfärbung (vgl. Farbskala unten) desto höher ist der jährliche Heizwärmebedarf. In Bezirken mit einem Rotton liegt der jährliche Heizwärmebedarf zwischen 65.000 bis 66.000 MWh.

Abbildung 8: Jährlicher Heizwärmebedarf [MWh/a] der statistischen Bezirke.

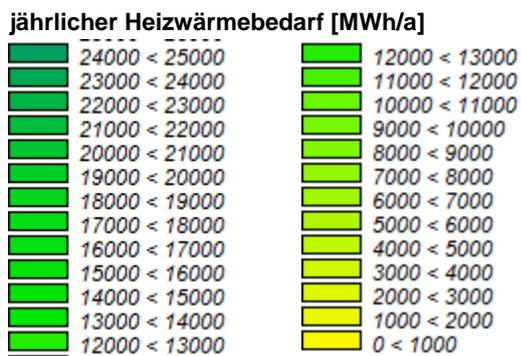
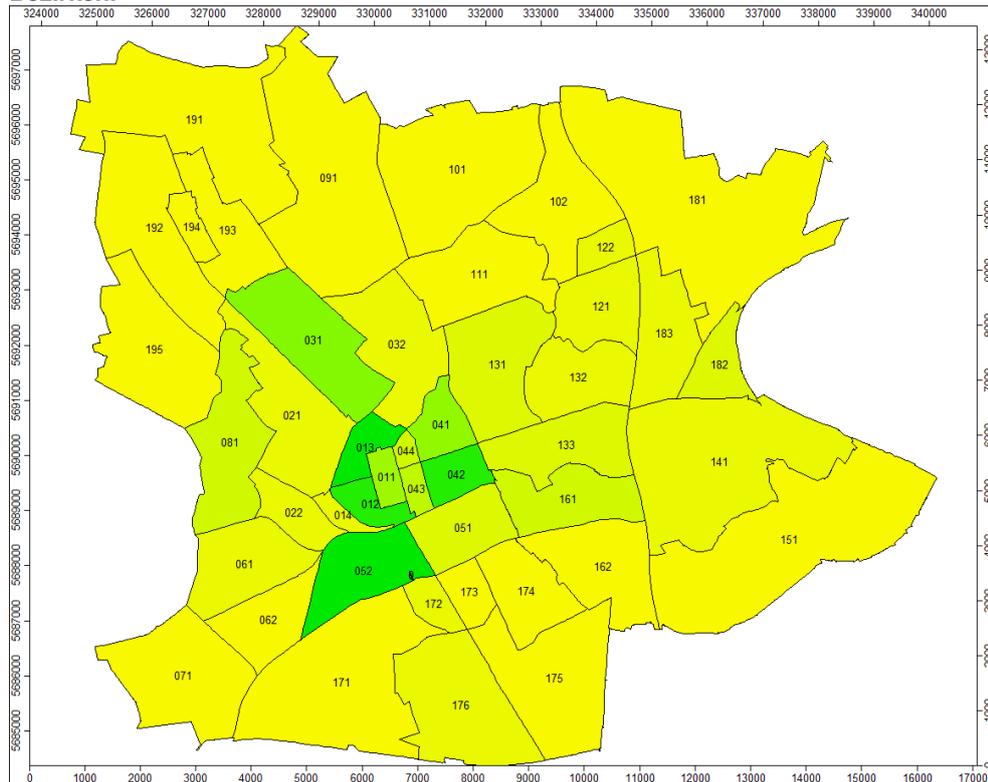


**jährlicher Heizwärmebedarf
[MWh/a]**



In Abbildung 9 sind die statistischen Bezirke in Abhängigkeit zum jährlichen Heizwärmebedarf der für das Konzept geeigneten Wohngebäude im jeweiligen statistischen Bezirks von gelb bis grün eingefärbt. In gelb eingefärbten Bezirken liegt der jährliche Heizwärmebedarf unter 1.000 MWh, mit steigendem Grünton steigt auch der jährliche Heizwärmebedarf. In Bezirken mit einem satten Grünton liegt der jährliche Heizwärmebedarf zwischen 24.000 bis 25.000 MWh.

Abbildung 9: Jährlicher Heizwärmebedarf [MWh/a] der für das Konzept geeigneten Wohngebäude in den Bezirken.



10 Literaturverzeichnis

- [1] SWK Netze GmbH. <http://www.swk-netze.de/SWK-NETZE-Neu/Netznutzung-Strom/Krefeld>, Abrufdatum: 10.03.2014.
- [2] Westnetz GmbH.
<https://www.westnetz.de/web/cms/mediablob/de/1768250/data/1607572/13/westnetz/netz-strom/netzgebiet/Verteilnetzkarte.pdf>
<https://www.westnetz.de/web/cms/mediablob/de/1768250/data/1607572/13/westnetz/netz-strom/netzgebiet/Verteilnetzkarte.pdf>, Abrufdatum: 10.03.2014.
- [3] SWK ENERGIE GmbH. <https://www.swk.de/privatkunden/energie/service-dienstleistung/service/foerderprogramme> /versorgungsgebiet-fernwaerme.html, Abrufdatum: 10.03.2014.
- [4] Fernwärmeversorgung Niederrhein GmbH. <https://www.stadtwerke-dinslaken.de/Gesellschaften/Fernw%C3%A4rmeversorgung%20Niederrhein/Standorte/>, Abrufdatum: 10.03.2014.
- [5] Thomas Markus Smolka, “Ökologisch-technische Auswirkungen dezentraler Energieversorgungsszenarien mit Blockheizkraftwerke in elektrischen Verteilungsnetzen,” Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 2008.
- [6] Statistische Ämter des Bundes und der Länder, *Zensus 2011 – Gebäude und Wohnungen – Land Nordrhein-Westfalen am 9.Mai 2011, Information und Technik Nordrhein-Westfalen, GB Statistik*, 2013.
- [7] Der Oberbürgermeister der Stadt Krefeld, *Statistisches Jahrbuch 2012 der Stadt Krefeld*, 2012.
- [8] Michael Laskowski, “Verbundprojekt: E-Energy: E-DeMa (Entwicklung und Demonstration dezentral vernetzter Energiesysteme hin zum E-Energy-Marktplatz der Zukunft),” S., 2013.
- [9] Sebastian Rubin, “Wirtschaftliche Modellierung und Optimierung eines virtuellen Kraftwerks aus Mini-BHKW in der Region Krefeld,” Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 2012.
- [10] Eugene F. Brigham und Michael C. Ehrhardt, *Financial management : theory and practice*, 12. ed., Mason, Ohio [u.a.]: South-Western Cengage Learning, 2008.
- [11] Michael Schlesinger, Dietmar Lindenberger, Christian Lutz, *et al.*, “Energieszenarien 2011 – Projekt Nr. 12/10 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Prognos AG – EWI – GWS, Basel – Köln – Osnabrück,” S., 2011.
- [12] Ralph Henger und Michael Voigtländer, “Energetische Modernisierung des Gebäudebestandes: Herausforderung für private Eigentümer, Haus & Grund Deutschland,” S., 2012.
- [13] “Förderreport KfW Bankengruppe Stichtag: 31.12.2012,” S., 2012.
- [14] EPEX Spot SE, *Historische Settlementpreise der Day-Ahead-Spotmarktauktionen für Strom*, 2012.

- [15] SWK Netze GmbH, *Anonymisierte Gasbezugskennzahlen im Krefelder Netzgebiet*, 2014.
- [16] Verein Deutscher Ingenieure e.V., “VDI Richtlinie 2067 - Blatt 1 - Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung,” S., September 2012.
- [17] FMH-Finanzberatung. <http://fmh-index.fmh-rechner.de/fmh-index/zinsentwicklung/detailversion/>, Abrufdatum: 22.01.2014.