

INTERNATIONALE BAUAUSSTELLUNG HAMBURG

ENDBERICHT

# Energetische Optimierung des Modellraumes IBA Hamburg



**IBA\_HAMBURG**

Internationale Bauausstellung

**HENNINGJACOB**  
INGENIEURBÜRO

ENERGIE. KLIMA. PLAN.



## Haftungsausschluss

Trotz sorgfältiger Prüfung sämtlicher Inhalte in diesem Werk sind Unschärfen in der Datenbasis und der Methodik nicht auszuschließen. Die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität des Inhalts ist daher ohne Gewähr. Eine Haftung der Herausgeber und Autoren auch für die mit dem Inhalt verbundenen potentiellen Folgen, insbesondere wirtschaftliche Verwertbarkeit und Vermögensschäden, ist ausgeschlossen. Der Inhalt dieser Studie gibt ausschließlich die Meinung der Autoren wieder.

## Impressum

### Auftraggeber

Internationale Bauausstellung IBA Hamburg GmbH  
Uli Hellweg (Geschäftsführer)  
Simona Weisleder und Karsten Wessel (Projektleitung)  
Am Zollhafen 12  
20539 Hamburg  
[www.iba-hamburg.de](http://www.iba-hamburg.de)

### Auftragnehmer

Fachhochschule Nordhausen  
Prof. Dr.-Ing. Dieter D. Genske  
Dipl.-Ing. Thomas Jödecke

Ingenieurbüro Henning-Jacob  
Dipl.-Ing. Jana Henning-Jacob

EKP Energie-Klima-Plan GmbH  
Dipl.-Geogr. Ariane Ruff

Hamburg, Juni 2011

# Inhalt

## Teil 1 Einführung

- 01 Aufgabenstellung  
Ziele  
Erhebungsgrundlagen  
Begriffsdefinitionen
- 04 Projektgebiet  
Naturräumliche Entwicklung  
Stadträumliche Entwicklung  
Demographische Entwicklung

## Teil 2 Methodik

- 12 Zukunftsszenarien  
Referenzszenario  
Exzellenzszenario  
Zeitschnitte  
Energieparteien
- 16 Energieräume  
Prototypische Stadt- und Landschaftsraumtypen  
Flächenentwicklung in den Zeitschnitten
- 28 Energieeffizienz  
Effizienzanalyse  
Energieeinsparung  
Energieerzeugung
- 44 Energiebedarf  
Überblick  
Energiebezugsflächen  
Energiebedarfsschwankungen  
Klimawandel  
Aktueller Endenergiebedarf  
Zukünftiger Endenergiebedarf

59	Energiepotenziale Überblick Erneuerbare Energien Markteinführung Erneuerbare Energieerträge
88	CO <sub>2</sub> -äquivalente Treibhausgase Baulich-energetische Sanierung Erzeugung und Nutzung regenerativer Energien
93	Investitionen und Rentabilität Investitionsbedarf Nutzen Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Rentabilität

### **TEIL 3: Szenarienvergleich**

104	Schlussfolgerungen
114	Schriftenverzeichnis
118	Tabellenverzeichnis
120	Abbildungsverzeichnis
125	Kartenverzeichnis
126	Anhang
A	Kartenwerk
B	Ermittlung des aktuellen Energiebedarfes von GHD
C	Auswertung Gasverbrauchsmessungen
D	Diversifizierung der Wärmebereitstellung im Exzellenz- szenario 2

# Aufgabenstellung

## Ziele

Die Thematik der Nutzung und Erschließung alternativer Energiequellen hat in den letzten Jahren einen gewaltigen Boom erfahren. Im Mittelpunkt stehen bislang technische Fragen und Analysen. Um Optionen der erneuerbaren Energieerzeugung wirkungsvoll insbesondere im urbanen Raum einzusetzen, sind ihre Umsetzbarkeit im Stadtraum und ihre Einbettung in die vorhandene Infrastruktur zu prüfen. Bislang wird die Energieversorgung der Städte dominiert von Energieerzeugern extra muros, von Großanlagen außerhalb des Versorgungsgebietes. Vor dem Hintergrund der sich abzeichnenden Energiekrise und im Hinblick auf die notwendige Reduktion der Treibhausgase gilt es jedoch, diese Energieversorgung grundsätzlich zu überdenken.

Bereits 2007 konstatierte das World Watch Institut in seinem Bericht „Zur Lage der Welt“, dass die „Städte über das Klima entscheiden“. Durch eine dezentrale erneuerbare Energieerzeugung intra muros könnten ökologische Fußabdrücke und CO<sub>2</sub>-Spuren reduziert werden. Darüber hinaus löst der verstärkte Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung vor Ort positive wirtschaftliche Effekte aus. In der Region wächst die Wirtschaftskraft, Arbeitsplätze entstehen. Zudem werden die Bürger an der Wertschöpfungskette der Energieerzeugung beteiligt.

Die IBA Hamburg reagiert mit ihren drei Leitthemen auf die Fragen, die für die Metropolen der Zukunft beantwortet werden müssen. So werden auf sozialkultureller, städtebaulicher, ökonomischer und ökologischer Ebene Lösungen entwickelt und geplant.

Die Studie findet sich im Leitthema „Stadt im Klimawandel“ wieder und zeigt auf, welche Energiebedarfe zukünftig bestehen und welche Potenziale das Modellgebiet der IBA Hamburg im Bereich der regenerativen Energieversorgung hat, um einen effektiven Klimaschutz zu leben. Dazu werden verschiedene Optionen der Nutzung

regenerativer Energien und Möglichkeiten des Energiesparens betrachtet und an die individuellen Bedürfnisse des Modellraumes angepasst.

Das Projekt hat als Ziel, das Potenzial des Modellraumes IBA Hamburg bezüglich der erneuerbaren Energieerzeugung und Energieeinsparung, der Effizienzpotenziale sowie der CO<sub>2</sub>-Einsparung zu quantifizieren und konkrete Maßnahmen zum gezielten, sinnvollen Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung im Modellraum zu definieren. Im Einzelnen sind:

- Grundlage- und Berechnungsdaten zu recherchieren, zu sichten und aufzubereiten
- prototypische, energetisch relevante Stadt- und Landschaftsraumtypen für den Modellraum herzuleiten
- das Untersuchungsgebiet in diese Stadt- und Landschaftsraumtypen einzuteilen
- der langfristige Energiebedarf darzustellen
- das urbane Potenzial zur erneuerbaren Energieerzeugung zu ermitteln und zu visualisieren
- das urbane Potenzial zur CO<sub>2</sub>-Einsparung zu ermitteln und zu visualisieren
- konkrete Maßnahmenpakete zur energetischen Stadterneuerung zu erarbeiten
- der Investitionsbedarf für machbar erscheinende Projekte abzuschätzen.

Die Ergebnisse dieses Gutachtens sind in den „Energieatlas - Zukunftskonzept Erneuerbares Wilhelmsburg“ eingeflossen.\*

## Erhebungsgrundlagen

Die für das Modellgebiet relevante Literatur, die vorliegenden Fachgutachten und das recherchierte Kartenwerk bilden die Erhebungsgrundlage dieser Studie.

Wesentliche Basis für die Berechnung des Energiebedarfes und der Energiepotenziale ist die Abgrenzung von Stadt- und Landschaftsraumtypen.

\* Energieatlas „Zukunftskonzept Erneuerbares Wilhelmsburg“. Hrsg. IBA Hamburg. Jovis-Verlag, Hamburg 2010. 224 S. ISBN: 978-3-86859-076-0.

Die Einteilung des Stadtraumes in prototypische Stadt- und Landschaftsräume erfolgte auf der Basis von Orthofotos, topographischen Karten, Liegenschaftskarten und weiteren Fachkarten. Für die naturräumliche Ansprache des Modellgebietes und die Untersuchung der Eignung des Untergrundes zur energetischen Nutzung wurden geologische Karten herangezogen.

Die Herleitung prototypischer Stadt- und Landschaftsräume erfordert die Auswertung eines umfangreichen Kartenwerks. Dazu wurden die folgenden Karten recherchiert und ausgewertet:

**Historische Karten** vertiefen das Verständnis der Entwicklung der Stadt- und Landschaftsräume. Aus diesem Grund wurden historische Karten als Datengrundlagen mit einbezogen.

Die **Deutschen Karten 1:5.000 (DK5)** wurden als nicht georeferenzierte Rasterdaten geliefert. Für die Georeferenzierung wurden tfw-Dateien erzeugt, um die Karten lagegetreu ins GIS einbinden zu können. Die DK5 wurde ebenfalls im CAD-Datenformat dwg zur Verfügung gestellt. Nach Zusammenführung von Einzelkarten erfolgte im GIS die Bildung von Flächenobjekten, die einer umfangreichen Fehlerkorrektur unterzogen wurden. Unter anderem wurde aus diesen Daten der Layer Wasserflächen extrahiert.

Die visuelle Begutachtung von **Orthofotos** (verzerrungsfreie Luftbilder) bildete eine weitere Grundlage für die Ansprache der Bebauungsstruktur und die Abgrenzung von Stadtraumtypen.

Der **Flächennutzungsplan** wurde georeferenziert und im GIS hinterlegt. Er diente im Wesentlichen zur Verifizierung der abgegrenzten Stadtraumtypen.

Die **Karten zum Planrecht** wurden georeferenziert und im GIS hinterlegt. Sie dienten zur Abgrenzung von Gewerbe- und Industrieflächen sowie zur Verifizierung der Stadtraumtypen.

Der **IBA-Projektplan** wurde georeferenziert und ins GIS integriert. Er diente im Wesentlichen zur räumlichen Verortung der IBA-Projekte.

Die **Siedlungskategorienkarte** wurde georeferenziert und im GIS hinterlegt. Sie diente im Wesent-

lichen zur Verifizierung der abgegrenzten Stadtraumtypen.

Karten mit Informationen zur **Bau- und Siedlungsstruktur** wurde georeferenziert und im GIS hinterlegt. Sie wurden im Wesentlichen zur Verifizierung der abgegrenzten Stadtraumtypen genutzt.

Ebenfalls wurden **Bebauungspläne** georeferenziert und im GIS hinterlegt. Sie dienen im Wesentlichen zur Verifizierung der getroffenen Annahmen, z.B. zum Brutto-/Nettobauland.

Die Analyse und Auswertung **Geologischer Karten** und von **Profilschnitten** durch das Modellgebiet ergab eine Einteilung in drei Homogenbereiche. Innerhalb der Homogenbereiche sind die empfohlene Sondenlänge und der Ertrag für zu installierende Erdwärmesonden gleich. Hierauf wird im Abschnitt „Erdwärmesonden“ näher eingegangen.

## Begriffsdefinitionen

**Selbstversorgung (Autarkie)** ist die Fähigkeit eines Modellraumes, sich selbst mit erneuerbarer Energie zu versorgen.

Der **Selbstversorgungsgrad (Autarkiegrad)** ist das Maß, mit dem die Fähigkeit eines Modellraumes zur energetischen erneuerbaren Selbstversorgung gemessen wird (100% entspricht einer völligen Selbstversorgung).

**Bruttobauland** ist die Gesamtheit aller Baugrundstücke inklusive der dazugehörigen Grün-, Verkehrs- und Wasserflächen innerhalb eines Baugebietes.

**Bruttogrundfläche** ist die Summe der Grundflächen aller Grundrissebenen eines Gebäudes einschließlich der Konstruktionsflächen.

**Endenergie** ist die dem Verbraucher übergebene Energie und entspricht einem aufbereiteten und umgewandelten Primärenergieträger. Der Aufbereitungs- und Umwandlungsprozess kann aufwendig sein und mit Effizienzverlusten einhergehen (Erz zu Kohle, Rohöl zu Heizöl, Kernkraft zu Strom) oder auch kaum ins Gewicht fallen (wie bei vielen regenerativen Energien).

**Energiedeckungskarten** stellen das Potenzial, dezentral (flächenbezogen) erneuerbare Energie zu erzeugen, mit dem Energiebedarf ins Verhältnis.

**Energieparteien** werden gebildet, um die Menge der Energieabnehmer zu systematisieren. In dieser Studie werden die Energieparteien „Haushalte“, „Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)“, „Industrie“ und „Mobilität“ unterschieden.

Ein **Expertensystem** ist ein softwaregestütztes System, das auf der Basis von Expertenwissen entwickelt wurde und zur Lösung und Bewertung bestimmter, komplexer Problemstellungen dient.

**Flächenbezogene Potenziale** sind Potenziale der erneuerbaren Energieerzeugung, die in der Nutzungsphase weder (Frei)Flächen blockieren noch Stoffströme auslösen (zum Beispiel Photovoltaikdach- oder -fassadenanlagen).

**Flächeneffizienz** charakterisiert den Flächenanspruch zur erneuerbaren Energieerzeugung und wird in Hektar pro Gigawattstunden angegeben.

**Freiflächenanlagen** sind Anlagen, die eine Freifläche in Anspruch nehmen und somit für keine andere Nutzung mehr zur Verfügung stehen.

**Gebäudenutzfläche** ist die Nettogrundfläche eines Gebäudes abzüglich von Verkehrsflächen und technischen Funktionsflächen.

**Geoinformationssysteme (GIS)** verknüpfen digitale Karten mit Datenbanken, um ausgewählte Daten räumlich zu bearbeiten, zu überlagern und zu visualisieren.

**Gestehungskosten** bezeichnen das Verhältnis der Summe der Betriebs- und Kapitalkosten (inklusive der jährlichen Zinszahlungen und Abschreibungen auf die Investitionskosten) zur produzierten Nettoenergie und erlauben einen wirtschaftlichen Vergleich einzelner Optionen der Energieerzeugung.

**Jahresarbeitszahl** ist das Verhältnis der erzeugten Wärmeenergie zur zugeführten elektrischen Energie.

**Kurzumtrieb** ist die Kultivierung schnell wachsender Pflanzen (Gehölze, krautige Pflanzen) auf geeigneten Flächen.

**Nettogrundfläche** ist die Summe der Grundflächen aller Grundrissebenen eines Gebäudes ohne Konstruktionsflächen.

**Nutzenergie** ist die Wärme, das Licht, die mechanische Arbeit etc., die aus der (vom Verbraucher gekauften/dem Verbraucher übergebenen) Endenergie gewonnen wird. Bei der Umwandlung von Endenergie in Nutzenergie kommt es zu Effizienzverlusten.

**Primärenergie** ist die Energie des ursprünglichen unaufbereiteten Rohstoffs, wie Kohle, Naturgas, Rohöl, aber auch Sonne, Wind und Wasserkraft.

**Punktuelle Potenziale** sind Potenziale der erneuerbaren Energieerzeugung, die in der Nutzungsphase entweder Flächen blockieren und/oder Stoffströme auslösen (zum Beispiel Energiepflanzen).

**Repowering** ist der Ersatz alter Energieanlagen durch neue, in der Regel leistungsstärkere.

**Rückbau** ist die Wiederherstellung des Zustandes eines Geländes vor dem aktuellen Nutzungszyklus.

**Solare Begabung** ist die Fähigkeit eines Gebäudes, über seine Hülle solar Energie zu erzeugen.

**Solare Gütezahlen** spezifizieren die solare Begabung eines prototypischen Stadtraumes.

**Stadtraumtypen** sind prototypische, nach städtebaulichen Leitbildern geschaffene Stadträume, die hinsichtlich ihres Energieverbrauches und ihrer Begabung, erneuerbare Energie zu erzeugen, vergleichbar sind.

**Treibhausgase** wie CO<sub>2</sub> bzw. CO<sub>2</sub>-Äquivalente verursachen den Treibhauseffekt, also die Aufwärmung der Erdatmosphäre.

**Zwischennutzung** ist die temporäre Nutzung einer Fläche mit dem Ziel, eine raumplanerische Zustandsverbesserung zu erreichen oder einen wirtschaftlichen Gewinn zu erzielen.

# Projektgebiet

## Naturräumliche Entwicklung

Der Untergrund der Elbinsel ist geprägt durch die Sedimente des Quartärs, des Tertiärs und die Sedimentgesteine der Kreide, des Juras und der Trias. Darunter lagern Zechsteinsalze, die sich im Laufe der Erdgeschichte zu Salzkissen aufwölbten und schließlich als Salzstöcke aufstiegen. Sie prägen noch heute die Tektonik des Modellraumes. Sowohl nordwestlich als auch südöstlich der Elbinsel wurden Salzstrukturen erbohrt.

Die naturräumliche Gliederung Hamburgs wird bestimmt durch das Pleistozän, das Eiszeitalter (ca. 2,6 Mio. bis 12.000 Jahre vor heute). Vor knapp einer halben Million Jahren überfahren die aus Skandinavien vorrückenden Gletscher der Elster-Eiszeit das heutige Hamburg. Unter dem Inlandeis schaffen Schmelzwässer Rinnensysteme, die sich tief in die voreiszeitlichen (tertiären) Sedimente einschneiden.

Die Gletscher lagern in diese Rinnensysteme Geschiebemergel und -mergel sowie fein- bis grob-

körnige Sedimente ab (Tone, Sande, Kiese, Steine und Blöcke). Mit dem Rückzug der Gletscher entstehen Gletscherseen, in denen sich zunächst Feinsande und später Tone ablagern. Diese Tone sind typisch für Norddeutschland und werden nach der Stadt Lauenburg und der Elbe „Lauenburger Tone“ genannt (Walter & Dorn 2007). Da sie kaum wasserdurchlässig sind, versiegeln sie mitunter (als Aquifugen) die eiszeitlichen Rinnen und schaffen so eigenständige Grundwasserleiter (vgl. Abb. 1).

Nach dem Rückzug der Elster-Gletscher kommt es zu einer Warmzeit, dem Holstein-Interglazial, in dem sich das Meer ausdehnt und große Teile Norddeutschlands überflutet. Vor etwa 230.000 Jahren kehren die Gletscher zurück und die Saale-Eiszeit beginnt. Zu einer ausgeprägten Rinnenbildung wie während der Elster-Eiszeit kommt es im Hamburger Raum diesmal kaum. Dafür hinterlassen die Gletscher Landformen, die sich durch glaziale, fluviatile und äolische (von Gletschern, Wasser und Wind abgelagerte) Sedimente aus-

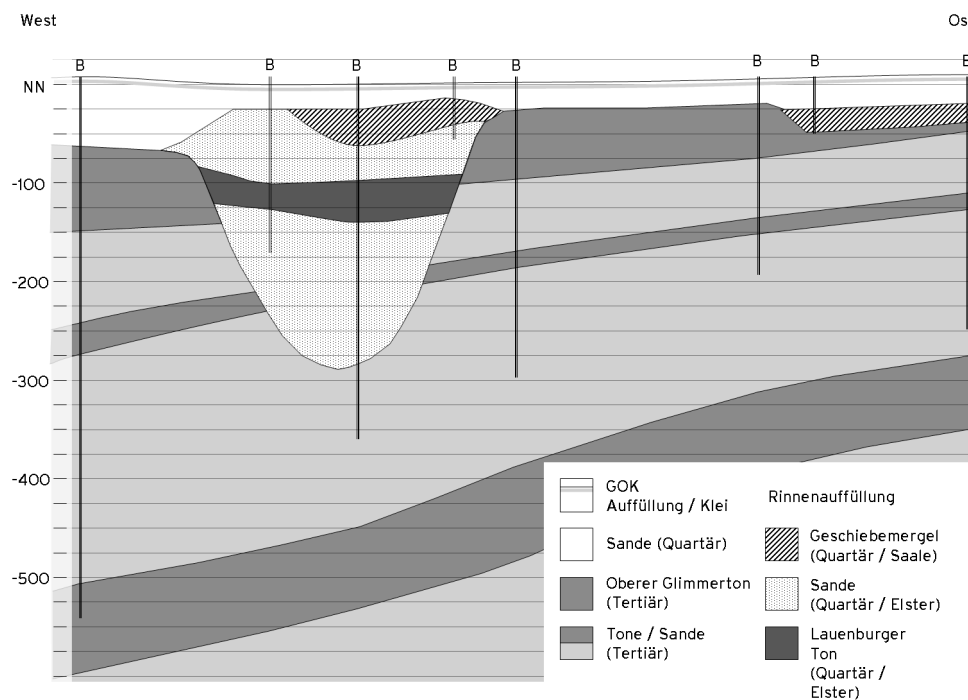


Abb. 1 Geologisches Profil durch Hamburg-Wilhelmsburg (vereinfacht nach (GLA-Hamburg 2009a)).



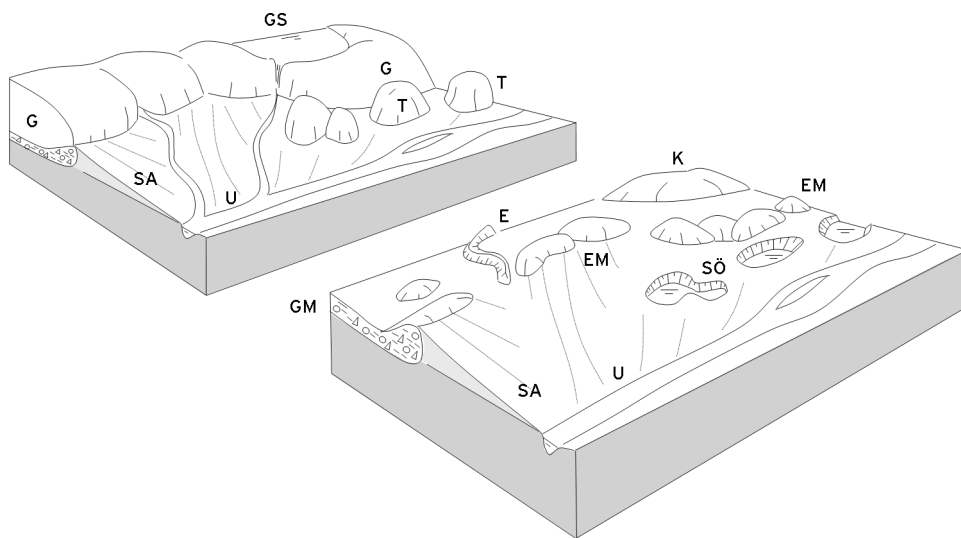


Abb. 2 Glaziale Landformen (vereinfacht). Dargestellt ist der Gletscherrand während der Eiszeit (oben) und nach dem Rückzug der Gletscher. Die Vergletscherung hat zu einer Vielzahl geomorphologischer (landschaftsbildender) Formen geführt: E Esker, EM Endmoräne, GM Grundmoräne, GS Gletschensee, K Kames, SA Sander, SÖ Sölle, T Toteisblöcke, U Urstromtal (Genske 2006).

zeichnen. Sie formen Grund- und Endmoränen sowie eine spezielle (glazio-fluviatile) Morphologie mit Schwemmfächern (Sanderflächen), Wallbergen (Os-Züge oder Esker) und Schutthügeln (Kames) (Abb. 2).

Während der letzten Eiszeit, der Weichseleiszeit, überfahren die Gletscher zwar noch Hamburg, reichen aber gerade bis Berlin und ziehen sich vor etwa 15.000 Jahre endgültig zurück. Die Schmelzwässer fließen schließlich in das Urstromtal der Elbe. Die Elbinsel Wilhelmsburg ist Teil dieses Urstromtals.

Das Ensemble der exponierten, teilweise erodierten Schuttformen wird als Geest bezeichnet, eine sandig-kiesige, eher unfruchtbare Landform, die im Gegensatz zu den von Flüssen und Meer bis heute geformten, fruchtbaren Marschen steht.

Die Entwicklung der Hansestadt hat den ursprünglichen Naturraum deutlich überprägt. Flussläufe werden zugeschüttet und Kanäle angelegt, in die Morphologie des Geländes wird erheblich einge-

griffen. Es entsteht ein an die Bedürfnisse einer Hafenstadt und aufstrebender Metropole angepasster urbaner Raum mit technisch-funktionalen Sektoren. Auf der Elbinsel Wilhelmsburg zählen hierzu die Hafenbecken, die Küstenschutzanlagen, die Verkehrsdämme, die Kanäle sowie der Deponieberg Georgswerder.

## Stadträumliche Entwicklung

### Historischer Überblick

Auf einem über das Marschland aufragenden Geestrücken zwischen Alster und Bille entsteht das zunächst sächsische, ab dem 9ten Jahrhundert fränkische Hammaburg (altsächsisch ham für „Ufer“). Der Wallanlage süd-westlich vorgelagert ist ein Wik, ein Markt- und Handelsort, der als Umschlagplatz von Land- und Seegütern bald überregionale Bedeutung erlangt (Krieger 2006). Die genaue Lage der Hammaburg ist bis heute nicht bekannt, wird aber unmittelbar östlich der St.-

Petri-Kirche in der Hamburger Altstadt vermutet (Helmsmuseum 2009).

Mit der großräumigen landwirtschaftlichen Erschließung der Marschgebiete wächst die Wirtschaftskraft. Ab 1333 beginnen Siedler Ochsenwerders die südöstliche Seite Stillhorns einzudeichen (Clausen 2008). Allmählich entsteht die große Elbinsel und mit ihr fruchtbares Ackerland. Im Laufe der Jahrhunderte wird die Hammaburg zu einer Bürgerstadt und einem Handelszentrum von überregionaler Bedeutung. Bereits 1558 wird eine Börse gegründet, die erste Deutschlands. Die Bedeutung Hamburgs als Handels- und Wirtschaftszentrum übertrifft schließlich die der Hansestadt Lübeck. Bereits Anfang des 17ten Jahrhunderts wird Hamburg zur Festungsstadt ausgebaut und bleibt im Dreißigjährigen Krieg unzerstört. Gut zwei Jahrzehnte nach dessen Ende erwirbt Georg Wilhelm von Braunschweig-Lüneburg-Celle die bereits zum Teil eingedeichten Elbinseln und verbindet sie mit seinen Besitzungen am Reiherstieg zur Insel „Wilhelmsburg“ (Clausen 2008) .

Die demographische Erholung nach mehreren Pestepidemien im 18ten Jahrhundert geht einher mit einer regen Bautätigkeit. In dieser Zeit werden auch auf dem damals noch holsteinischen Territorium entlang der Elbe (der Elbchaussee) repräsentative Landhäuser mit englischen Landschaftsgärten errichtet (Krieger 2006). Die Elbinsel Wilhelmsburg ist im ausgehenden 18ten Jahrhundert kaum bebaut.

Anfang des 19ten Jahrhunderts wird mit der Napoleonischen Straßenbrücke eine hochwasserfreie Verbindung von Hamburg nach Harburg geschaffen. Diese Nord-Süd-Achse teilt Wilhelmsburg in einen östlichen und einen westlichen Teil, ein infrastruktureller Eingriff, der die Entwicklung Wilhelmsburgs stark beeinflussen wird.

Im 19ten Jahrhundert kommt es zu einem deutlichen wirtschaftlichen Aufschwung, der selbst durch die wiederholt auftretenden Choleraepidemien und den verheerenden Stadtbrand von 1842 nicht aufgehalten wird. Allerdings geht dieser einher mit einem großräumigen Abriss historischer Bausubstanz. Die Phase der Industrialisierung wird

in Hamburg mit dem Neubau der Börse (1839-41) und der Eröffnung der Eisenbahnlinie Hamburg-Bergedorf (ab 1846 Hamburg-Berlin) eingeleitet. Ab 1885 wird das barocke Kaufmannsviertel abgerissen und dort die Speicherstadt errichtet. In Wilhelmsburg entsteht im Zuge der Industrialisierung eine an den technisch-logistischen Vorgaben der Hafen- und Industrieanlagen orientierte Infrastruktur (Bornholdt 2008). Zu den Industrie- und Hafenanlagen im Freihafen kommen Bahn- und Straßenanschlüsse. Der Industrie- und Hafenbau geht einher mit einem städtebaulichen Schub, der eine deutliche Ausweitung des Wohnungsbaus für die rasch wachsende Bevölkerung mit sich bringt. Ende des 19ten Jahrhundert wird Wilhelmsburg von Hafen- und Industriearbeitern als Wohngebiet entdeckt. Die Forcierung der Rüstungsindustrie im Dritten Reich verstärkt diese Tendenz. Es entstehen „Volkswohnungen“ im südlichen Reiherstiegviertel (Bornholdt 2008). 1935-36 wird die Autobahn gebaut, die eine weitere Nord-Süd-Barriere etabliert und den südöstlichen Teil Wilhelmsburgs als Natur- und Landschaftsraum von der weiteren Entwicklung der Elbinsel abschneidet.

Im Zweiten Weltkrieg wird Hamburg durch die verheerenden Luftangriffe der Alliierten weitgehend zerstört. Allein bei der Operation Gomorrha werden an die 50.000 Menschen getötet und ein Drittel der Wohngebäude zerstört. 1944 wird auch Wilhelmsburg-Harburg von amerikanischen Verbänden angegriffen (Krieger 2006). Am Ende des Krieges sind nur 20% der Hamburger Wohngebäude unbeschädigt. Insbesondere der Bunker „Flakturm Wilhelmsburg“ ist als Relikt bis heute erhalten und soll im Zuge der IBA einer neuen Nutzung zugeführt werden.

Zu diesen Zerstörungen kommt noch die Sturmflut von 1962, bei der die Elbinsel am stärksten betroffen ist. Als die Deiche in der Nacht vom 16. zum 17. Februar in Wilhelmsburg brechen, sterben die meisten der über 300 Flutopfer in den nur einstöckigen, nach Kriegsende errichteten Behelfsheimen und Lauben (Paech 2008). Nach der Flutkatastrophe wird Wilhelmsburg zunächst vom Hamburger Senat als Wohnstandort aufgegeben (Bornholdt 2008). Erst mit dem Leitpro-

jekt „Sprung über die Elbe“ wird Wilhelmsburg in seiner urbanen Qualität wiederentdeckt (Markert 2008). Projekte wie die Internationale Bauausstellung IBA Hamburg und die Internationale Gartenschau igs (2013) unterstreichen diese Entwicklung.

### Städtebauliche Leitbilder

Infolge der dynamischen Entwicklung der Metropole, ihrer Abriss- und Umbauphasen sowie der Zerstörungen im Zweiten Weltkrieg haben sich städtebauliche Zeugnisse aus historischer Zeit kaum erhalten. So gibt es fast keine Baurelikte aus dem Mittelalter, der Renaissance und des Barock. In den meisten Fällen handelt es sich um Fragmente und Solitärbauten, die nur noch eingeschränkt die zur Zeit der Erbauung geltenden städtebaulichen Leitbilder widerspiegeln. Im IBA-Gebiet finden sich noch folgende städtebauliche Leitbilder:

- Vorindustrielle, dörfliche Siedlungsreste
- Reste der nach stadtbaukünstlerischen Prinzipien (nach Camillo, Sitte und Lenné) angelegten Gründerzeitquartiere (Historismus, 1840-1900) und der beginnenden Moderne (ab 1880)
- Reste der Stadterweiterungen nach dem Wohlfahrtsprinzip der 1920er und 1930er Jahre. In Hamburg ist diese Bebauungsphase auch durch das Wirken des Oberbaudirektors Fritz Schumacher geprägt.
- Siedlungsgebiete in der Tradition der Gartenstadt und Siedlerheimstadt (1930-1950er Jahre)
- Wiederaufbauensembles der 1940-50er Jahre mit rekonstruierten und an die ursprüngliche Bebauung angepassten Baukörpern (rekonstruktiver Wiederaufbau, traditioneller Anpassungsneubau)
- Beispiele für die Bauphasen der 1960-70er Jahre, die dem Prinzip „Urbanität durch Dichte“ folgten und durch eine autogerechte Verdichtung monofunktionaler vertikaler Baublöcke Urbanität zu schaffen versuchten, dabei jedoch soziale Brennpunkte entstehen ließen. Dieses Leitbild baut auf die an der Charta von Athen (1933) orientierte „gegliederte und

aufgelockerte Stadt“ der 1950-60er Jahre (Reichow 1948; Göderitz et al. 1957; Reichow 1959) auf, mit urban-funktionalen Räumen und einer räumlichen Trennung von Wohnen, Arbeiten, Dienstleistung und Freizeit mit vertikalen, in Grünzüge gelegte Wohnanlagen („Interbau“ IBA Berlin 1957). In der Hansestadt führte dies zu einer Verödung des Stadtzentrums, so dass 1973 nur noch 12.000 Menschen innerhalb der alten Wallanlagen lebten, wogegen es im ausgehenden 19ten Jahrhundert noch 170.000 Menschen waren (Krieger 2006). Auch in Wilhelmsburg wurde das Leitbild „Urbanität durch Dichte“ verwirklicht.

- Beispiele für den behutsamen Stadtbau und der Stadterneuerung der 1980er Jahre im Sinne einer „kritischen Rekonstruktion“ (Beispiel: IBA Berlin 1984)
- Städtebaulichen Maßnahmen seit den 1990er Jahren, die sich am Prinzip der Nachhaltigkeit orientieren (IBA Emscherpark). Die Neubauprojekte der IBA Hamburg fallen in diese Kategorie.

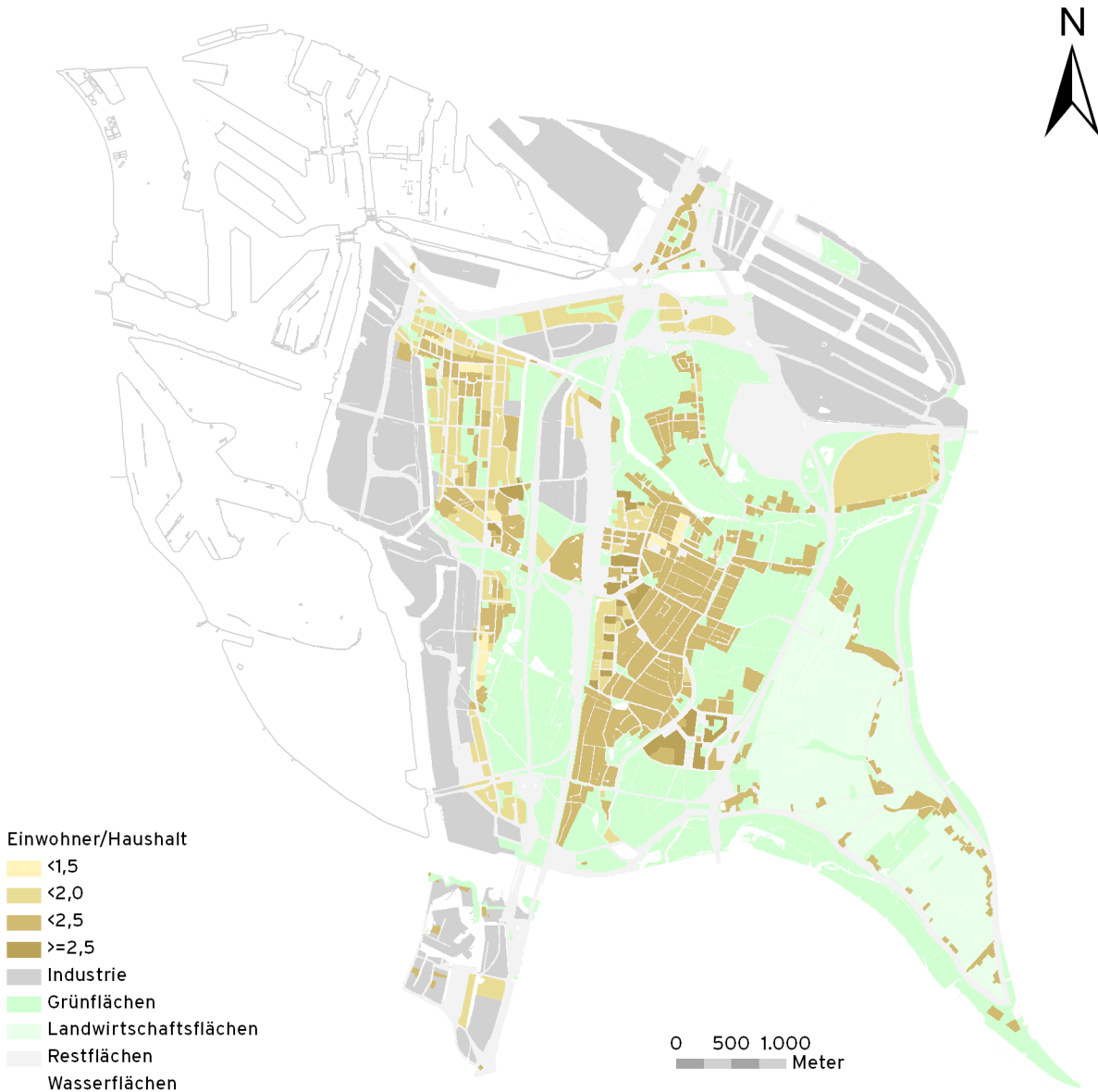
Dazu kommen Zweck-, Gewerbe- und Industriebauten.

Der Baubestand eines urbanen Raumes folgt diesen städtebaulichen Leitbildern. Sie bestimmen urbane Charakteristika wie Gebietsgrundriss, Bebauungsstruktur, Dichte, Freiflächenbestand, Kompaktheit, Systematik der äußeren und inneren Erschließung etc. (Benevolo 2007). Auf ihrer Grundlage lassen sich Stadtraumtypen definieren (Ecofys et al. 2004; Everding et al. 2004; Everding 2007), auf die im Abschnitt Energieräume näher eingegangen wird.

### Demographische Entwicklung

Für die Stadt Hamburg wird in den Bevölkerungsprognosen bis 2020 eine gering ansteigende Bevölkerungsentwicklung vorhergesagt. Ab 2020 wird die Einwohnerzahl aufgrund der demographischen Entwicklung abnehmen (Statistisches Bundesamt 2007).

Die IBA Hamburg geht für den IBA Modellraum in den Bestandsgebieten von einer stabilen Bevöl-



kerungsentwicklung aus. In den geplanten Neubaugebieten wird es einen Bevölkerungszuwachs geben. Für diese Studie wird angenommen, dass sich die Anzahl der Mitglieder pro Haushalt nicht verändert.

Wichtige Eingangswerte für die Berechnung des Warmwasser- und Strombedarfes der Energiepartei Haushalte sind die stadtraumspezifische Bevölkerungsdichte (Einwohner pro Hektar) und die stadtraumspezifische Haushaltsgröße (Mitglieder pro Haushalt). Diese wurden auf der Basis von Einwohnerzahlen für die statistischen Bereiche (Sozialräume) im IBA-Modellgebiet ermittelt (Empirica 2008) (vgl. Karte 1). Dazu wurden die Stadtraumtypflächen mit den Sozialräumen verschnitten und mit Hilfe eines entwickelten Gleichungssystems die stadtraumspezifischen Bevölkerungs- und Haushaltsdichten ermittelt. Vereinfachend wird davon ausgegangen, dass sich die ermittelten stadtraumspezifischen Bevölkerungs- und Haushaltsdichten zukünftig nicht verändern. Diese Annahme gilt für das Referenz- als auch das Exzellenzscenario.

Die Einwohnerzahlen in den Bereichen der Gewerbegebiete, wie z.B. Obergeorgswerder und Harburger Binnenhafen, sind bei den Berechnungen auf 0 Einwohner gesetzt worden.

Da sich die Flächenanteile der einzelnen Stadtraumtypen im Referenz- und Exzellenzscenario unterscheiden, ergeben sich unterschiedliche Werte zur Entwicklung der Einwohnerzahlen, die in den Tabellen 1 und 2 dargestellt sind.

Tab. 1 Entwicklung der Einwohnerzahlen im IBA-Modellraum im Referenzszenario in den Zeitschnitten 2007 bis 2050.

Nutzung	Stadtraumtypen	GFZ <sup>1</sup>	EBZ pro ha/SRT in ha <sup>2</sup>	EBZ pro ha/SRT in m <sup>2</sup> 3	Einwohner pro ha SRT <sup>4</sup>	Wohnfläche pro EW in m <sup>2</sup> 5	gesamte SRT-Fläche in ha <sup>6</sup>				Einwohner <sup>7</sup>			
							2007	2013	2020	2050	2007	2013	2020	2050
Misch-nutzung	I Vorindustriell/Altstadt < 1840	1,20	0,77	7680	334	22,99	0,21	0,21	0,21	0,21	71	70	70	70
	Ila Baublöcke Gründerzeit < 1938	2,00	1,28	12800	520	24,62	12,91	12,84	12,53	12,53	6711	6676	6514	6514
	Ilb Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	2,00	1,28	12800	520	24,62	3,11	3,11	3,11	3,11	1619	1619	1619	1619
	Ilc Villen der Gründerzeit < 1938	0,30	0,19	1920	29	66,21	3,17	3,17	3,17	3,17	92	92	92	92
	III Wiederaufbau 1950er	2,00	1,28	12800	555	23,06	10,16	10,01	9,92	9,92	5640	5554	5503	5503
	IV Dörflich-kleinteilig	0,30	0,19	1920	29	66,21	40,48	40,48	40,48	38,98	1174	1174	1174	1130
Wohnen	V Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	1,00	0,64	6400	256	25,00	27,42	27,25	27,25	27,25	7021	6977	6977	6977
	VI WS Soz. Wohnungsbau 1950er	0,50	0,32	3200	123	26,02	9,47	9,47	9,47	9,47	1164	1164	1164	1164
	VII HH WS 70er Platte NBL 1970er	1,30	0,83	8320	363	22,92	28,77	28,77	28,77	28,77	10445	10445	10445	10445
	VIIIa Geschosswohnungsbau 1960-80er	0,80	0,51	5120	199	25,73	34,09	34,09	34,09	34,09	6783	6783	6783	6783
	VIIIb Geschosswohnungsbau 1990er	0,80	0,51	5120	199	25,73	1,41	1,40	1,40	1,40	280	279	279	279
	VIIIc Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	0,80	0,51	5120	199	25,73	0,00	5,03	5,03	5,03	0	1000	1000	1000
	VIIIc+ Geschosswohnungsbau P-Haus-Standard	0,80	0,51	5120	199	25,73	0,00	0,00	30,26	46,70	0	0	6022	9293
	IXa Einfamilienhäuser > 1950	0,35	0,22	2240	49	45,71	176,33	172,58	171,68	168,14	8640	8456	8412	8239
	IXb Einfamilienhäuser Niedrigenergie	0,35	0,22	2240	49	45,71	2,35	15,89	15,89	15,89	115	779	779	779
	IXb+ Einfamilienhäuser P-Haus-Standard	0,35	0,22	2240	49	45,71	0,00	0,00	12,43	79,84	0	0	609	3912
Gewerbe (reines)	Xa Gewerbe	1,00	0,64	6400	0		106,53	106,93	178,21	228,54	0	0	0	0
	Xa+ Gewerbe P-Haus-Standard	1,00	0,64	6400	0		0,00	0,00	0,73	0,73	0	0	0	0
Industrie	Xb Industrie + Hafen	1,00	0,64	6400	0		655,75	652,12	672,45	609,84	0	0	0	0
Zweckbauten	Xc Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	2,00	1,28	12800	8		83,49	83,04	77,09	75,35	668	664	617	603
	Xc+ Zweckbaukomplexe P-Haus-Standard	2,00	1,28	12800	8		0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
Sonder-typen	S1 Schumacherbauten 1920-30er	2,00	1,28	12800	694	18,44	6,85	6,85	6,85	6,85	4756	4756	4756	4756
<b>Summen/Mittelwerte</b>						<b>25,97<sup>8</sup></b>	<b>1202,51</b>	<b>1213,25</b>	<b>1341,03</b>	<b>1405,82</b>	<b>55180</b>	<b>56489</b>	<b>62817</b>	<b>69160</b>

<sup>1</sup>angenommene mittlere Geschossflächenzahlen angelehnt an Angaben aus der Baunutzungsverordnung BauNV (§17) und Everding (2007) sowie eigene Schätzung; <sup>2</sup>Energiebezugsfläche pro Hektar Stadttraumtyp in ha; <sup>3</sup>Energiebezugsfläche pro Hektar Stadttraumtyp in Quadratkilometer (Berechnungsgrundlage für durchschnittliche Wohnfläche pro Einwohner 2007, vgl.<sup>5</sup>); <sup>4</sup>errechnete Einwohner pro Hektar Stadttraumtyp 2007, Berechnungsgrundlage Einwohner pro statistische Bereiche (empirica-Studie); <sup>5</sup>errechnete durchschnittliche Wohnfläche pro Einwohner in den jeweiligen Stadttraumtypen in Quadratmeter; <sup>6</sup>Stadttraumtypische Gesamtflächen in Hektar in den Zeitschnitten (zeigt die Entwicklung der Flächen); <sup>7</sup>berechnete Einwohnerzahlen in den jeweiligen Stadttraumtypen, <sup>8</sup>über die EBZ-Anteile der SRT gewichteter Mittelwert. Anmerkung: Der rechnerisch ermittelte Wert von 26 EW/ha in Gewerbegebieten (Xa) wurde auf Null gesetzt, da zukünftig aufgrund der gesetzlichen Vorgaben in neu errichteten oder revitalisierten Gewerbegebieten keine Einwohner vorhanden sein werden.

**Tab. 2 Entwicklung der Einwohnerzahlen im IBA-Modellraum im Exzellenzscenario in den Zeitschnitten 2007 bis 2050.**

Nutzung	Stadtraumtypen	GFZ <sup>1</sup>	EBZ pro ha/SRT in ha <sup>2</sup>	EBZ pro ha/SRT in m <sup>2</sup> 3	Einwohner pro ha SRT <sup>4</sup>	Wohnfläche pro EW in m <sup>2</sup> 5	gesamte SRT-Fläche in ha <sup>6</sup>				Einwohner <sup>7</sup>			
							2007	2013	2020	2050	2007	2013	2020	2050
Misch-nutzung	I Vorindustriell/Altstadt < 1840	1,20	0,77	7680	334	22,99	0,21	0,21	0,21	0,21	71	70	70	70
	IIa Baublöcke Gründerzeit < 1938	2,00	1,28	12800	520	24,62	12,91	12,83	12,52	12,52	6711	6672	6510	6510
	IIb Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	2,00	1,28	12800	520	24,62	3,11	3,11	3,11	3,11	1619	1619	1619	1619
	IIc Villen der Gründerzeit < 1938	0,30	0,19	1920	29	66,21	3,17	3,17	3,17	3,17	92	92	92	92
Wohnen	III Wiederaufbau 1950er	2,00	1,28	12800	555	23,06	10,16	10,01	9,92	9,92	5640	5554	5503	5503
	IV Dörflich-kleinteilig	0,30	0,19	1920	29	66,21	40,48	40,48	40,48	38,98	1174	1174	1174	1130
	V Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	1,00	0,64	6400	256	25,00	27,42	27,17	27,17	27,17	7021	6956	6956	6956
	VI WS Soz. Wohnungs-bau 1950er	0,50	0,32	3200	123	26,02	9,47	9,47	9,47	9,47	1164	1164	1164	1164
	VII HH WS 70er Platte NBL 1970er	1,30	0,83	8320	363	22,92	28,77	28,03	27,74	27,73	10445	10176	10069	10065
	VIIIa Geschosswohnungsbau 1960-80er	0,80	0,51	5120	199	25,73	34,09	33,31	33,29	32,96	6783	6630	6626	6559
	VIIIb Geschosswohnungsbau 1990er	0,80	0,51	5120	199	25,73	1,41	1,40	1,40	1,40	280	278	278	278
	VIIIc Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	0,80	0,51	5120	199	25,73	0,00	1,23	1,23	1,23	0	245	245	245
	VIIIc+ Geschosswohnungsbau P-Haus-Standard	0,80	0,51	5120	199	25,73	0,00	10,52	51,71	83,26	0	2094	10291	16569
	IXa Einfamilienhäuser > 1950	0,35	0,22	2240	49	45,71	176,33	174,91	171,60	167,18	8640	8571	8409	8192
IXb Einfamilienhäuser Niedrigenergie	0,35	0,22	2240	49	45,71	2,35	5,88	5,88	5,88	115	288	288	288	
	0,35	0,22	2240	49	45,71	0,00	5,53	15,48	51,30	0	271	758	2514	
Gewerbe (reines)	Xa Gewerbe	1,00	0,64	6400	0		106,53	119,83	207,55	292,20	0	0	0	0
	Xa+ Gewerbe P-Haus-Standard	1,00	0,64	6400	0		0,00	4,99	4,99	4,99	0	0	0	0
Industrie	Xb Industrie + Hafen	1,00	0,64	6400	0		655,75	650,73	658,37	563,15	0	0	0	0
	Xc Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	2,00	1,28	12800	8		83,49	76,32	68,97	66,95	668	611	552	536
Sonder-typen	Xc+ Zweckbaukomplexe P-Haus-Standard	2,00	1,28	12800	8		0,00	3,78	3,78	3,78	0	30	30	30
	S1 Schumacherbauten 1920-30er	2,00	1,28	12800	694		6,85	6,85	6,85	6,85	4756	4756	4756	4756
<b>Summen/Mittelwerte</b>			<b>14,816</b>	<b>148160</b>		<b>25,97<sup>8</sup></b>	<b>1202,51</b>	<b>1229,78</b>	<b>1364,91</b>	<b>1413,42</b>	<b>55180</b>	<b>57251</b>	<b>65391</b>	<b>73078</b>

<sup>1</sup>angenommene mittlere Geschossflächenzahlen angelehnt an Angaben aus der Baunutzungsverordnung BauNv (§7) und Everding (2007) sowie eigene Schätzung; <sup>2</sup>Energiebezugsfläche pro Hektar Stadtraumtyp in ha; <sup>3</sup>Energiebezugsfläche pro Hektar Stadtraumtyp in Quadratmeter (Berechnungsgrundlage für durchschnittliche Wohnfläche pro Einwohner 2007, vgl. <sup>4</sup>); <sup>4</sup>errechnete Einwohner pro Hektar Stadtraumtyp 2007, Berechnungsgrundlage Einwohner pro statistische Bereiche (empirica-Studie); <sup>5</sup>errechnete durchschnittliche Wohnfläche pro Einwohner in den jeweiligen Stadtraumtypen in Quadratmeter; <sup>6</sup>Stadtraumtypische Gesamtlächen in Hektar in den Zeitschnitten (zeigt die Entwicklung der Flächen); <sup>7</sup>berechnete Einwohnerzahlen in den jeweiligen Stadtraumtypen; <sup>8</sup>über die EBZ-Anteile der SRT gewichteter Mittelwert. Anmerkung: Der rechnerisch ermittelte Wert von 26 EW/ha in Gewerbegebieten (Xa) wurde auf Null gesetzt, da zukünftig aufgrund der gesetzlichen Vorgaben in neu errichteten oder revitalisierten Gewerbegebieten keine Einwohner vorhanden sein werden.

# Zukunftsszenarien

Die zuvor beschriebenen Potenziale lassen sich auf verschiedene Weise und mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten realisieren. Die IBA Hamburg definiert hierzu zwei Grundszenarien, ein

- Referenzszenario und ein
- Exzellenzszenario.

In diesem Teil werden die sich aus diesen Szenarien ergebenden Energiebedarfe und Energiepotenziale mit Hilfe eines vom Autorenteam entwickelten und auf den Modellraum der IBA Hamburg angepassten Expertensystems ermittelt sowie mögliche Einsparungen von Treibhausgasen und die damit verbundenen Investitionen und Gewinne diskutiert.

## Referenzszenario

Im Referenzszenario wird ein „Business as Usual“ Verhalten modelliert. Es gibt keine auf den Modellraum angepasste Strategie, allein der bundesdeutsche Trend wird übernommen. Dies betrifft im Wesentlichen die zu erwartenden Verordnungen zur Energieeinsparung und einer mäßigen, preisgetriebenen Einführung erneuerbarer Energien. Es gibt keine Impulsprojekte, keine konzertierten Aktionen, kein „Change Management“ und keine zusätzlichen Investitionen zur Stimulation einer baldigen Energieautarkie.

Lediglich die Deponie Georgswerder mit ihren bestehenden Windkraftanlagen und der bestehenden Deponiegasnutzung geht in die Berechnungen des Referenzszenarios ein.

In Anlehnung an das „Modell Deutschland“ wird weiterhin das ebenfalls als Referenzszenario bezeichnete Grundszenario angenommen (Prognos & Ökoinstitut 2009: 52-53), nach dem das Integrierte Energie- und Klimaprogramm (IEKP) kontinuierlich weitergeführt und ausgebaut wird, die Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien über das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und die Förderangebote für Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) fortgeführt werden und Energieversorgungsunternehmen (EVU) verstärkt Anstrengungen unternehmen, gemeinsam mit ihren Kunden Effizienzpotenziale zu heben. In den

Sektoren private Haushalte und Dienstleistungen gewinnen Wärmepumpen weiter an Bedeutung. Die Energieverbrauchskennzeichnung (Labelling) wird verschärft, intelligente Stromzähler (Smart Metering) werden eingeführt. Es werden keine technologischen Sprünge erwartet, aber eine stetige moderate Effizienzsteigerung in allen Bereichen des Energieverbrauches, die im Wesentlichen durch Leistungserhöhung und weitere Nutzungsverstärkung kompensiert werden.

Im Referenzszenario werden zwei Unterszenarien betrachtet:

- Referenzszenario ohne Ausbau der Fernwärmeversorgung (R1) und
- Referenzszenario mit weitgehendem Ausbau fossiler Fernwärmeversorgung (R2) mit Inbetriebnahme des Kraftwerkes Moorburg (siehe Karte A1 in Anhang A).

Der langfristige Energiebedarf ist für beide Unterszenarien (R1 und R2) gleich. Die Potenziale der erneuerbaren Energieerzeugung weichen jedoch voneinander ab.

## Exzellenzszenario

Im Exzellenzszenario wird eine auf den Modellraum angepasste Strategie der Reduktion der Abhängigkeit von fossilen Energieressourcen simuliert. Die Reduktionsstrategie geht einher mit Effizienzmaßnahmen und dem Ausbau erneuerbarer Energien sowie einer Senkung der Emissionen von Treibhausgasen. Die Effizienz- und Ausbaumaßnahmen stimulieren regionale Wertschöpfungspotenziale und schaffen Arbeitsplätze.

Im Weiteren wird für das Exzellenzszenario das Innovationsszenario des Deutschland-Modells angewendet (Prognos & Ökoinstitut 2009: 169-171). Danach greift striktes Ordnungsrecht mit hohen Vollzugstandards. Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien wird mit dem Ziel der Vollversorgung gefördert und die Mechanismen des Strommarkts so umgebaut, dass die Erneuerbaren reguläre Marktteilnehmer sind. Technologische Neuerungen wie Magnetkühlschränke, wasserlose Waschmaschinen, Miniaturisierungen, hoch- und



höchsteffizienter Stromspeicher werden berücksichtigt. Neue energieeffiziente Materialien und Oberflächen, insbesondere aus dem Bereich der Mikro- und Nanotechnologie werden eingeführt. Die Effizienz zur Bereitstellung von Warmwasser und Prozesswärme sowie die Nutzung von Brennstoffen werden deutlich erhöht.

Das IBA-Exzellenzscenario 1 zeichnet sich durch Neu- und Umbaumaßnahmen sowie folgende Projekte der erneuerbaren Energieerzeugung im Modellraum aus:

- Energieberg Georgswerder mit photovoltaischen Freiflächenanlagen und repowerten Windkraftanlagen (IBA Hamburg)
- Energiebunker im Reiherstiegviertel mit solarthermischen Anlagen und BHKW, Holzkessel, einem Wärmespeicher, PV-Anlage und einer Abwärmenutzung der Nordischen Oelwerke (STZ-EGS 2009)
- Nahwärmenetz Neue Hamburger Terrassen (IBS 2009)
- Tiefengeothermie-Projekt Hamburg-Wilhelmsburg (GTN 2009), zwei zusätzliche Tiefengeothermiebohrungen (jeweils Dubletten)
- drei weitere Großwindkraftanlagen außerhalb des Energiebergs und ein Repowering aller Windkraftanlagen bis 2050 (Falke 2008, Angaben IBA Hamburg)
- Energieverbund Wilhelmsburg Mitte mit einer schrittweisen Erweiterung nach 2013 bis zum Spreehafen (MegaWatt 2008)
- Urbanes Biogasprojekt (Krieg & Fischer 2008).

Diese Projekte sind wesentliche Stellschrauben zur Erhöhung des regionalen Selbstversorgungsgrades im Modellraum und zur Reduktion der emittierten Treibhausgase. Detaillierte Projektbeschreibungen finden sich u.a. in der Broschüre Klimafaktor Metropole, im Ausstellungskatalog des Zwischenpräsentationsjahres und im Energieatlas – Zukunftskonzept Erneuerbares Wilhelmsburg (IBA Hamburg).

Optional werden weiterhin für ein Exzellenzscenario 2 die Projekte

- Nutzung der Elbe als Wärmequelle für ein Niedertemperatur-Wärmenetz in der (sanierten) Schumachersiedlung auf der Veddel

- Errichtung eines solarthermischen Wärmenetzes für die (sanierte) Hochhaussiedlung Kirchdorf-Süd mit saisonalen Erdsondenspeichern im quartären Geschiebe
- Erzeugung von Bio-Methan aus regenerativem Strom, das, ins Gasnetz eingespeist, im Winter zur Wärmebereitstellung (und Stromerzeugung) genutzt wird
- photovoltaische Überdachung des Autobahnrastplatzes Stillhorn

berücksichtigt. Im Exzellenzscenario 2 wird nur eine Tiefengeothermie-Bohrung (eine Dublette) angenommen.

#### Beschreibung der Sondermaßnahmen im Exzellenzscenario 2

Die Veddel zeichnet sich durch ihre Nähe zur Elbe aus. Eine mögliche Variante zum Betreiben eines Wärmenetzes für die Schumachersiedlung wäre die Nutzung des Elbwassers als Wärmequelle. Das Flusswasser-Wärmepumpen funktionieren wurde in einer Reihe von Projekten nachgewiesen: So wird zum Beispiel das Helmhaus (erbaut 1791-94) und die Wasserkirche an der Limmat in Zürich mit einer bivalenten Flusswasser-Wärmepumpe beheizt und gekühlt (Jahresarbeitszahl JAZ 3,5) (AHZ 2004), wie auch Teile des Zürcher Hauptbahnhofs und – bereits seit 1937 – das Zürcher Rathaus und anliegende Amtsgebäude (Peterhans 2007). Auch das IBA-DOCK versorgt sich mit Wärme aus dem Hafenbecken. Die Nutzung der Elbwasserwärme wird für den Heizwärmebedarf der sanierten Veddel ausgelegt. Es wird von einem „kalten“ Nahwärmenetz ausgegangen, mit Wärmepumpen in (oder an) den zu versorgenden Gebäuden. Gleichzeitig wird die Abwasserwärme aus den Gebäuden zur Warmwasserbereitung genutzt.

Das Versorgungsgebiet umfasst 18 ha. Nach einer Sanierung der Veddel ab 2020 sind jährlich etwa 9 GWh Heizwärme mit Elbwärmepumpen bereit zu stellen. Dabei wurde von einem Heizwärmebedarf von 80 kWh/m<sup>2</sup>\*a für die Schumacher-Bauten (S1), 50 kWh/m<sup>2</sup>\*a für Gewerbe (Xa) und 30 kWh/m<sup>2</sup>\*a für Zweckbauten (Xc) ausgegangen. Beim Warmwasserbedarf werden 35 kWh/m<sup>2</sup>\*a für die Schumacher-Bauten (S1), 42 kWh/m<sup>2</sup>\*a (Prozess-

wärme) für Gewerbe (Xa) und 17 kWh/m<sup>2</sup>\*a für Zweckbauten (Xc) angenommen. Daraus ergibt sich ein Warmwasserbedarf von etwa 5,8 GWh für 2020. Er würde mit einer Anlage zur Abwasserwärmerückgewinnung gedeckt. Der Strombedarf der Elbwärme- und Abwasserwärmepumpen wird mit 4 GWh pro Jahr abgeschätzt. Dabei wird für die Elbwärmepumpe eine JAZ von 3,5 und für die Abwasserwärmepumpe eine JAZ von 4 angenommen. Wärmenetzverluste werden vernachlässigt.

Für die Hochhaussiedlung Kirchdorf-Süd ist ein solarthermisches Wärmenetz zur Heizwärmeversorgung denkbar. Ein vergleichbares Wärmenetz wurde zum Beispiel in Crailsheim (Baden-Württemberg) realisiert. Es versorgt 2.000 Bewohner mit Sonnenwärme (UBW 2007). Die solarthermisch auf Dächern und Lärmschutzwänden gewonnene Wärme wird in einem Kurzzeitspeicher und einem saisonalen Erdsondenspeicher für Bedarfszeiten vorgehalten. Aufgrund des geringeren Heizwärmebedarfes der sanierten Hochhaussiedlung (30 kWh/m<sup>2</sup>\*a) kann auch der geringere Wärmeertrag im Herbst und Frühling noch genutzt werden. Gleichzeitig wird die Abwasserwärme zur Warmwasserbereitung genutzt. Der noch notwendige saisonale Erdsondenspeicher müsste in den anstehenden quartären Geschieben bzw. den tertiären Glimmertonen etabliert werden, damit der sommerliche Wärmeüberschuss effizient gespeichert werden kann.

Das Versorgungsgebiet umfasst 21 ha. Disponibel ist weiterhin eine 5,2 ha große Parkplatzfläche (Stillhorn), die überdacht zu einer solaren Nutzfläche wird. Im Jahr 2020 beträgt der Warmwasserbedarf im Versorgungsgebiet 4,6 GWh. Dabei wurde für die Hochhaussiedlung (VII) ein Warmwasserbedarf von 26 kWh/m<sup>2</sup>\*a und für die Zweckbauten (Xc) ein Warmwasserbedarf von 17 kWh/m<sup>2</sup>\*a angenommen. Der Warmwasserbedarf könnte aufgrund der dichten Bebauung mit einer Anlage zur Abwasserwärmerückgewinnung gedeckt werden. Bei einer Sanierung der Hochhäuser (VII) und Zweckbauten (Xc) auf einen Heizwärmestandard von 30 kWh/m<sup>2</sup>\*a wären jährlich noch etwa 6,4 GWh Heizwärme bereit zu stellen. Durch 50 m lange Erdwärmesonden könnten be-

reits 1,0 GWh pro Jahr Heizwärme bereitgestellt werden. Sonnenkollektoren auf den Dächern und Fassaden der Hochhaussiedlung würden 8,6 GWh pro Jahr an Wärme erzeugen. Beide Optionen zusammen könnten den Heizwärmebedarf decken, sofern der Systemnutzungsgrad 74% nicht unterschreitet, also nicht mehr als ein Viertel der Wärme verloren geht.

Für die Wärmepumpen der Erdwärmesonden und der Abwasserwärmerückgewinnung ist bei Jahresarbeitszahlen von 3,5 und 4,0 ein Strombedarf von 1,4 GWh anzusetzen. Durch die Belegung der solar nutzbaren Flächen der Hochhaussiedlung (2,6 ha) mit Sonnenkollektoren verliert der Modellraum 2,5 GWh photovoltaischen Strom. Die ausschließliche PV-Nutzung auf den Zweckbauten bleibt unverändert und braucht daher in der Gesamtbilanz nicht berücksichtigt zu werden. Die 5,2 ha große Überdachung des Parkplatzes bringt wiederum einen jährlichen Stromertrag von 4,9 GWh. Durch die zusätzliche Nutzung dieser Fläche sowie der Abwasser- und Erdwärme stellt sich die Bilanz nach dieser vereinfachten Berechnung somit positiv dar.

Weiterhin wird ein innovatives Konzept zur regenerativen Erzeugung von Methan berücksichtigt (Sternner & Specht 2010). Dabei wird Wasserstoff mit CO<sub>2</sub> thermochemisch synthetisiert (methanisiert). Das so erzeugte Bio-Methan kann gespeichert und in das Gasnetz eingespeist werden, um bei Bedarf in Wärme umgewandelt zu werden. Der Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Strom zu Methan beträgt 60%, d.h. aus 1,0 kWh Strom lassen sich 0,6 kWh des Energieträgers Methan herstellen. Der thermische Wirkungsgrad eines wärmegeführten Erdgas-BHKW beträgt bei Nennleistung etwa 55%, der elektrische Wirkungsgrad beträgt etwa 35% (Wesselak & Schabbach 2009). Somit lassen sich mit 1,0 kWh erneuerbarem Strom 0,33 kWh Wärme „speichern“ und 0,21 kWh Strom zurück gewinnen. Im Vergleich zu anderen Speichermedien ist dies ein vertretbarer Wirkungsgrad. Zudem kann die bestehende Infrastruktur der Gasnetze und -speicher genutzt werden und braucht nicht neu aufgebaut zu werden wie zum Beispiel bei der Brennstoffzellen-Technologie. Al-

lerdings ist der Energieaufwand zur Einspeisung noch zu berücksichtigen.

Neben diesen konkreten Projekten der erneuerbaren Energieerzeugung wird versucht, den Energiebedarf des Gewerbes (SRT Xa) und der Zweckbauten (SRT Xc) zu reduzieren. Bei den Zweckbauten wird in den nicht wärmeversorgten Gebieten optional eine Abluftwärmerückgewinnung zur Deckung des Heizwärmebedarfes eingeführt. Der dabei anfallende Strombedarf wird berücksichtigt (JAZ 2,75).

Verarbeitendes Gewerbe hat ein Abwärme-Nutzungspotenzial von 20-30% der zur Produktion eingesetzten Energiemenge (Strom, Brennstoffe, etc.) (LfU 2008). Eine weitere Option ist daher die Nutzung der Prozesswärme zur Heizungsunterstützung. Dabei wird von einem Wärmeertrag von 25% der Produktionsenergie ausgegangen. Der Hilfsstrom wird vernachlässigt.

Schließlich sollen zur weiteren Diversifizierung des Energie-Portfolios die Bioabfall-Kreisläufe geschlossen werden. Es ist vorgesehen, häusliche und gewerbliche Bioabfälle zur Deckung eines möglichen Wärmedefizits zu nutzen. Auch in der Zukunft werden häusliche und gewerbliche Bioabfälle weiter anfallen, wogegen Verpackungsmüll und nicht organische Reststoffe abnehmen werden.

In beiden Exzellenzszenarien werden Wärmenetze eingerichtet, die durch regenerative Wärmequellen (Biomasse-BHKW, tiefe Geothermie, etc.) gespeist werden. Die Entwicklung der Wärmenetze im Exzellenzszenario 2 ist im Anhang A (Karten A2 und A3) dargestellt.

## Zeitschnitte

Zur Verdeutlichung der zeitlichen Entwicklung der Flächennutzung (insbesondere der Neubauflächen), von Effizienzmaßnahmen im Bestand und der Nutzung energetischer Ressourcen im IBA-Modellraum werden Zeitschnitte eingeführt:

- 2007 (IBA Hamburg Startjahr)
- 2013 (Abschluss der IBA Hamburg)
- 2020 (EU-Klimaziele bzw. 40%-Ziel der Hansestadt Hamburg)

- 2050 (Langfristiger Prognosehorizont, EU-Klimaziel 80%)

Die im Folgenden entwickelten Prognosen und Szenarien beziehen sich auf diese Zeitschnitte.

## Energieparteien

Bei der Bestimmung des Energiebedarfes und der erneuerbaren Energiepotenziale wird zwischen vier Energieparteien unterschieden:

- Haushalte
- GHD (Gewerbe, Handel und Dienstleistung)
- Industrie (wird erst in einer späteren Studie untersucht)
- Mobilität (wird erst in einer späteren Studie untersucht).

Grundsätzliches Ziel ist, dass diese Energieparteien in der Summe ihren Energiebedarf intramuros regenerativ decken können. In diesem Fall wird ein „Energetischer Fußabdruck“ außerhalb der Systemgrenzen weitgehend vermieden. Damit einher gehen die Schonung von Ressourcen und die Vermeidung der Emission von Treibhausgasen außerhalb des Modellraumes.

## Prototypische Stadt- und Landschaftsraumtypen

Die im ersten Teil dieser Studie genannten Stadt- und Landschaftsraumtypen wurden an die besonderen örtlichen Bedingungen des Untersuchungsraumes sowie an die vorgegebenen Entwicklungsszenarien angepasst. Weiterhin wurden neue Raumtypen definiert. Die Ansprache der Stadt- und Landschaftsraumtypen erfolgte auf der Grundlage einer detaillierten Analyse der historischen Entwicklung des Modellgebietes, der Auswertung der Kartenwerke und drei Ortsbegehungen sowie diversen Abstimmungsgesprächen, bei denen offene Fragen zur Typisierung geklärt wurden. Tabelle 3 fasst die kartierten Prototypen zusammen. Insgesamt werden im Untersuchungsgebiet 23 prototypische Stadträume und drei Landschaftsraumtypen unterschieden.

Die einzelnen Stadtraumtypen werden den Energieparteien zugeordnet. Der Energiepartei Haushalte werden die Stadtraumtypen I bis IX sowie der Sondertyp S1, der Energiepartei GHD werden die Stadtraumtypen Xa, Xa+, Xc, Xc+ und Xd zugeordnet.

Zur Erfassung des Anteils der Energiepartei GHD in Mischgebieten (SRT I - IV) wurde ein neuer Stadtraumtyp Xd eingeführt. Er bezieht sich auf die Gesamtfläche der Stadtraumtypen I-IV (Mischgebiete), wird aber in der Bedarfs- und Potenzialberechnung zu 25% berücksichtigt. Die verbleibenden 75% werden der Energiepartei Haushalte in den Stadtraumtypen I-IV zugeordnet.

In Tabelle 3 sind die Flächenanteile der im Referenzjahr 2007 kartierten Stadt- und Landschaftsräume zusammengefasst. Im Bereich der Wohn- und Mischbebauung dominieren die Einfamilienhausgebiete (IX) und dörflich-kleinteilige Strukturen (IV) mit ca. 17% des bebauten Bereiches. Etwa 9% der bebauten Fläche werden von Gebäuden des mehrgeschossigen Wohnungsbau wie Geschosswohnungsbau der 1960-80er Jahre (VIIIa), Geschosswohnungsbau der 90er (VIIIb), Hochhauswohnsiedlungen (VII), Wohlfahrtssiedlungen der 50er Jahre (V), dem

sozialen Wohnungsbau der 50er Jahre und den Schumacherbauten (S1) eingenommen. Bauten der Gründer- und Vorkriegszeit (II) und des Wiederaufbaus der 50er Jahre (III) beanspruchen nur ca. 2% der bebauten Flächen. Gewerbeflächen (Xa, Xd) haben einen Anteil von ca. 10%, Zweckbauten und öffentliche Einrichtungen (Xc) von ca. 7%. Den größten Anteil an den bebauten Flächen nehmen Industrieflächen (Xb) mit ca. 55% ein.

Bei den un bebauten Flächen dominieren Grün- und Wasserflächen (XII, XI, Vb) mit einem Anteil von 60%. Landwirtschaftsflächen (XIII) nehmen nur ca. 8% der un bebauten Flächen ein.

Insgesamt umfasst das Modellgebiet 3.613 ha, wovon 33% im Referenzjahr 2007 bebaut sind.

Abbildung 3 visualisiert die Flächenverteilung der bebauten und un bebauten Flächen. In Abbildung 4 wird die prozentuale Aufteilung der Stadtraumtypen bezogen auf die bebauten Flächen im Modellraum dargestellt.

Die Einteilung des Modellgebietes in prototypische Stadt- und Landschaftsräume ist in Karte 3 für das IBA-Startjahr 2007 dargestellt. Die Stadt- und Landschaftsräume stellen Zonen dar, in denen ein bestimmter Prototyp dominiert. Innerhalb eines Stadt- und Landschaftsraumes können Einzelbauwerke oder kleinere Landschaftselemente von der Zonierung abweichen.

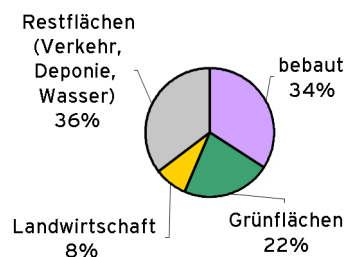


Abb. 3 Darstellung der Anteile an Landschaftsraumtypen und der bebauten Flächenanteile im IBA-Modellraum 2007.

**Tab. 3 Prototypische Stadträume (SRT) und deren Charakteristik.**

<b>Nutzung</b>	<b>SRT</b>	<b>Zeit</b>	<b>Beschreibung</b>
Mischnutzung	I	vor 1840	Vorindustriell/Altstadt Kleinteilige Bebauung, enge Gassen / Haupthaus, in der Regel gewerbliche Nutzung im Untergeschoss, Wohnen in Obergeschoss, rückwärtig oft Hof mit Nebengelassen und Gärten / gemischte Nutzung / kleine, verschattete Fenster, lebhaftes Dachlandschaften / kleinteiliger Wechsel von verschatteten und besonnten Freiflächen / oft Denkmalschutz - keine Fassadennutzung, Dachnutzung nur bedingt / wenig Spielraum für baulichen Wärmeschutz / kleinteiliger Heizungsarten-Mix / viele Nutzungsänderungen durch Eigentümerwechsel
	Ila	vor 1938	Baublöcke Gründerzeit Geschlossene Bauweise entlang den Straßen, in den Erdgeschoss oft Ladenlokale, im rückwärtigen Bereich der Parzellen oft weitere Wohn- und Gewerbetrakte / gemischte Nutzung, hohe Dichte / große Fenster, hohe Räume / starke Verschattungen in den Sockelzonen, Eckbereichen und Hinterhöfen / Satteldächer mit Aufbauten (Gauben) / Gestaltungssensibilität bei Fassaden (oft verziert) / verminderter Spielraum für baulichen Wärmeschutz / Heizungsarten-Mix / begonnene Umstellung auf Gas-Zentralheizung / große Zahl erfolgter Modernisierungen, aufgrund von Eigentümerwechsel
	Ilb	ab 1990	Nachmerkbauten im Stil der Gründer- und Vorkriegszeit / Nachbauten bzw. Ergänzungsbauten im Stil der Gründerzeitbauten (vgl. Ila)
	Ilc	vor 1938	Weniger verspielte Fassaden und Dachaufbauten (Gauben) Villen der Gründer- und Vorkriegszeit
	III	1950er Jahre	Bürgerliche Wohnquartiere mit lockerer Bebauung und großzügigen Gärten / gartenstädtische Siedlungsbereiche der Gründer- und Vorkriegszeit, oft zusammenhängend auf großem Areal / Gebäude mit villenartigem Charakter, auch schlichtere Doppelhäuser oder in Reihe gebaut / Wechsel zwischen einfachen Satteldächern und komplizierten Dachformen / große Gestaltungssensibilität / verminderter Spielraum für Wärmeschutz / geringe Verschattungen durch Gebäude, aber viel Verschattung durch Bewuchs - oft parkähnliche Gärten / häufig komplett modernisiert
	IV	seit dem Mittelalter bis heute	Wiederaufbauensemble Wiederaufbau auf hist. Stadtgrundriss und in Anlehnung an die ehemaligen Gebäudestrukturen / gemischte Nutzungen, mehrgesch. Wohn- und Geschäftshäuser entlang der Straße, weniger Ladenlokale, rückwärtig Gewerbetrakte, Garagen, Höfe / oder in aufgebrochenen Stadtstrukturen mit aufgelockerten, gegliederten Bauformen und breiten Verkehrsachsen / mehrgeschossige Wohn- und Geschäftshäuser in geschl. Bauweise / wenig störende Dachaufbauten / starke Verschattungen durch Gebäude, insbesondere im unteren Bereich / schlichte Fassaden, schlichte Satteldächer / mangelhafter Wärmeschutz, Heizungsarten-Mix / Modernisierung nur an gefragten Standorten
Wohnen	V	vor 1938	Dörflich-Kleinteilig im Wesentlichen alte Dorfkern, lockere Bebauung mit Ställen, Wirtschaftsgebäuden etc., z.T. saniert und denkmalgeschützt / Stellung der Gebäude unregelmäßig - folgt landwirtschaftlichen Betriebsabläufen / keine Dominanz von Neubauten einfügen dieser in das bestehende, traditionelle Erscheinungsbild / Wohnen in grünem Umfeld / flächenhafte Durchgrünung / teilweise lokale Gewerbestandorte, Versorgung und Dienstleistungen / landschaftliche Erholungsgebiete, z.T. Tourismuserschwerpunkte
	VI	1950er	Werks- und Genossenschaftssiedlungen der Gründer- und Vorkriegszeit Mehrfamilienwohnhäuser als Zeilen oder Wohnhöfe / kleine Wohnungen, viele mit Garten / auf großem Areal von arbeitgebenden Unternehmen oder Sozialeinrichtungen zum Zweck der sozialen Wohnversorgung entstanden / kleine Fenster, teilweise Verschattung / einfache Satteldächer, aber auch komplizierte Dachformen / wenig Spielraum für baulichen Wärmeschutz / Zentralheizung auf Öl- oder Gasbasis, Nah- oder Fernwärmeversorgung / oft schon saniert
			Siedlungen des sozialen Wohnungsbaus Mehrgeschossige Wohnhäuser auf zusammenhängendem Areal mit eigenem inneren Erschließungssystem in Zeilenbauweise / kleine Wohnungen / Abstände zwischen den Gebäuden sind relativ groß / Grünanlagen mit Fußwegen und Spielplätzen / Verschattung durch Bewuchs / schlichte Fassaden und Satteldächer / mangelnder Wärmeschutz, einheitliche Heizungsversorgung (Gas-Zentralheizung, Nah- oder Fernwärme) / Modernisierung nur an nachgefragten Standorten / relativ schlechtes Image

Nutzung	SRT	Zeit	Beschreibung
	VII	1970er	Hochhausiedlungen und Plattenbausiedlungen in den neuen Bundesländern (ab ca. 6 Geschossen) Einzelgebäude der 70er Jahre in Ketten oder als Scheiben in industrieller Bauweise auf großen Arealen mit eigenem Erschließungssystem und großzügigen Grünanlagen / große Wohnungen, unterschiedliche Wohnungstypen, hoher Komfortstandard (beim Bau) / große Fenster, monotone Fassaden, Flachdächer / mangelnder Wärmeschutz / einheitliche Heizsysteme (Nah- oder Fernwärme, Stromheizungen mit Nachtspeicher) / häufig Leerstände / einfache Scheiben der 80er Jahre in industrieller Bauweise auf großen Arealen mit eigenem Erschließungssystem / mittelgroße Fenster, Verschattungen in den unteren Bereichen, monotone Fassaden / Fernwärmeversorgung aus Heizwerken / viel Leerstand und Rückbau, Modernisierung der bestehenden Gebäude
	Villa	1960er bis 1980er	Geschosswohnungsbau Mehrgeschossige Wohnhäuser auf zusammenhängendem Areal mit eigenem inneren Erschließungssystem in Zeilenbauweise und/oder Punkthäusern / große Fenster, schlichte Fassaden und Dächer (Flach- oder Satteldächer) / geringe Verschattungen / mangelnder Wärmeschutz, / einheitliche Heizsysteme (Nah- oder Fernwärme, Gas-Zentralheizung) / wenig Spielraum für nachträglichen Wärmeschutz - viele verlinkerte Fassaden im guten Zustand - oft nur teilmodernisiert / drei- bis sechsgeschossige Wohnanlagen der 80-er Jahre um gemeinschaftliche grüne Höfe mit Autostellplätzen in Tiefgaragen, oft in neu erschlossenen Siedlungsbereichen oder als Komplettierung von vorhandenen Stadtquartieren / große Fenster, Verschattungen im unteren Bereich, Dächer oft mit vielfältigen Aufbauten / auch hier häufig verlinkert / Wärmeschutz nach WärmeschutzVO 1982, Gas-Zentralheizung / viele Eigentumswohnungen
	VIIIb	ab 1990er	Geschosswohnungsbau
	VIIIc	seit 2002	Bauliche Gegebenheiten wie Villa / bessere Dämmungen, modernere Heizungsanlagen und Wärmeschutz (WärmeschutzVO 1995) Geschosswohnungsbau Niedrigenergiehausstandard und besser
	VIIIc+	ab 2013	Moderner Geschosswohnungsbau, häufig schlichte Formen / hoher Wohnkomfort / vgl. auch SRT IXb Geschosswohnungsbau Passivhausstandard
	IXa	ab 1950	Einfamilienhausgebiete Ausschließlich Wohnnutzung / Reihenhäuser der 60er Jahre mit geringer Wohnfläche, später Zunahme des Anteils freistehender Einfamilienhäuser / Häuser der 50er Jahre sind überwiegend saniert (kein aktueller Standard, WärmeschutzVO 1982) / häufig auch Bungalowbauweise (70er Jahre) / Reihen- oder Doppelhäuser der 80er Jahre, in Städten flächensparender als in ländlicher Regionen, kaum gemeinschaftliche Grünanlagen / große bis mittelgroße Fenster, schlichte Fassaden, Dächer oft mit Aufbauten
	IXb	ab 2002	Einfamilienhausgebiete (Niedrigenergiehausstandard und besser) Keine, bzw. nur geringe Wärmeversorgung notwendig / sehr häufig Einsatz von verschiedenen regenerativen Energieformen / Dachflächen sind meist schon mit Solarthermie bzw. PV-Anlagen ausgestattet
	IXb+	ab 2013	Einfamilienhausgebiete Passivhausstandard
Gewerbe (reines)	Xa	seit Industrialisierung bis heute	Reines Gewerbegebiet Ansiedlungen von Gewerbebetrieben aller Art, Lagerhäuser, Lagerplätze, öffentliche Betriebe, Geschäfts-, Büro- und Verwaltungsgebäude, Tankstellen und Anlagen für sportliche Zwecke / im Gegensatz zu den reinen Industriegebieten näher an den Wohnbauangeboten angesiedelt / hohe Maschinenhallen und mehrgeschossige Gewerbe- und Verwaltungsgebäude der Gründer- und Vorkriegszeit mit Innenhöfen, teilweise auch außerhalb der städtischen Gründerzeitgürtel (GFZ 0,7) / eingeschossige Leichtbauhallen sowie zwei- dreigeschossige Büro- und Verwaltungstrakte der 50er, 60er und 70er Jahre in neu erschlossenen Gewerbegebieten oder auch auf Industriebrachen der Vorkriegszeit in Kosten sparender Bauweise / große Fenster, starke Verschattungen, Flachdächer / mangelhafter Wärmeschutz, geringer Sanierungsstand / häufig Zentralheizungen (Gas, Öl) (GFZ 0,8) / eingeschossige Leichtbauhallen sowie zwei- bis dreigeschossige Büro- und Verwaltungstrakte der 80er Jahre in neu erschlossenen Gewerbegebieten mit höherer baulicher Qualität und großzügigen Reserveflächen / große Fenster, starke Verschattungen, Flachdächer / Wärmeschutz nach WärmeschutzVO 1982 (GFZ 0,7)
	Xa+	ab 2013	Reines Gewerbegebiet im Passivhausstandard

Nutzung	SRT	Zeit	Beschreibung
Industrie	Xb	seit Industrialisierung bis heute	Industrie + Hafen Von Wohn- und Mischgebieten ausreichend getrennt / für Schwerverkehr und andere Infrastruktur (Gleisanschlüsse u.ä.) erschlossen / wird nicht betrachtet
Zweckbauten	Xc	seit Industrialisierung bis heute	Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen Zweckbaukomplexe und öffentliche Einrichtungen in städtischen Gründerzeitgürteln, z.B. Krankenhäuser, Schulen, Schwimmbäder, mit guter Bausubstanz und bis heute unveränderter Nutzung (hohe Dichte) / Große Fenster, hohe Verschattungen, große Dächer, hohe Gestaltungssensibilität, verminderter Wärmeschutz, nur Teilmoderiertrieller Bauweise auf größeren Arealen mit eigenem Erschließungssystem und Grünanlagen (mittlere Dichte) / Große Fenster, hohe Verschattungen, monotone, undichte Fassaden, Flachdächer, mangelnder Wärmeschutz, einheitliche Heizsysteme mit Nah- und Fernwärmeversorgung (GFZ 0,5) / Büro- und Infrastrukturkomplexe der 80er-Jahre in mehrgeschossiger Bauweise mit begrünten Innenhöfen und repräsentativer Architektur (hohe Dichte) / große Fenster, hohe Verschattungen, zunehmend Glas an den Fassaden, Flachdächer / Wärmeschutz nach WärmeschutzVO 1982 (GFZ 1,0) / Einkaufszentren seit den 80er Jahren in kompakter, flächensparender Bauweise sowie größere Stellplatzanlagen (hohe Dichte) / kleine Fenster, glatte Fassaden, Wärmeschutz nach WärmeschutzVO 1982 / oft Gas-Zentralheizungen, klimatisiert, hoher Kühlungs- und Strombedarf (GFZ 1,0)
	Xc+	ab 2013	Zweckbauten und öffentliche Einrichtungen im Passivhausstandard
Sondertypen	S1	1920-30er Jahre	Schumacherbauten: Planung durch Fritz Schumacher / Fläche war mit einer Musterkolonie mit 200 Arbeiterwohnungen (von 1878) bebaut / das Gelände wurde im Hinblick auf die Ausweitung des Hafens mit einer größeren Verdichtung neu bebaut. / städtebaulicher Rahmen, von Schumacher definiert, gab den beteiligten Architekten die Erschließung, die Baublockgrößen, die Anzahl der Geschosse (4-5) sowie das Oberflächenmaterial - roter Klinker - vor / Planung der öffentlichen Bauaufgaben durch Schumacher selbst - Feuerwehrwache, Volksschule / Siedlung wurde im 2. Weltkrieg stark zerstört / 1950-52 unter weitgehender Beibehaltung der ursprünglichen Struktur und Erscheinung wieder aufgebaut ( <a href="http://deu.archinform.net/projekte">http://deu.archinform.net/projekte</a> )
unbebaut	XII		Grünflächen Park- und Grünflächen / parkartig oder gärtnerisch gestaltete Freiflächen sowohl im öffentlichen als auch im privaten Bereich (inkl. Kleingärten) / Friedhöfe / Waldflächen
	XIII		Landwirtschaft Intensive landwirtschaftliche Nutzung (Nahrungsmittel, Futtermittel und Energiepflanzen) / extensiv genutzte landwirtschaftliche Flächen (Wiesen)
	XIV		Restflächen Parkplätze und Garagen / Wasserflächen / Verkehrsflächen / Kläranlagen / Deponien

<sup>1</sup>Niedrigenergiehaus: Heizwärmebedarf von 30 kWh/(m<sup>2</sup>\*a), Passivhaus: Heizwärmebedarf von maximal 15 kWh/(m<sup>2</sup>\*a); <sup>2</sup>GFZ Geschossflächenzahl

**Tab. 4 Stadt- und Landschaftsraumtypen und deren Flächenanteile im IBA-Modellraum 2007.**

Nutzung	SRT	Stadtraumtypen	ha	%
Mischnutzung	I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	0,16	0,01
	Ila	Baublöcke Gründerzeit < 1938	9,68	0,80
	Ilb	Nachahmerbauten Stil Ila > 1990	2,33	0,19
	Ilc	Villen der Gründerzeit < 1938	2,38	0,20
	III	Wiederaufbau 1950er	7,62	0,63
	IV	Dörflich-kleinteilig	30,36	2,52
Wohnen	V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	27,42	2,28
	VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	9,47	0,79
	VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	28,77	2,39
	VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	34,09	2,83
	VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	1,41	0,12
	VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	0,00	0,00
	IXa	Einfamilienhäuser > 1950	176,33	14,66
	IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	2,35	0,20
	Gesamt			
Gewerbe (reines)	Xa	Gewerbe	106,53	8,86
Industrie	Xb	Industrie+ Hafen	655,75	54,53
Zweckbauten	Xc	Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	83,49	6,94
Gewerbe in I-IV	Xd	Gewerbe in Mischgebieten	17,51	1,46
Sondertypen	S1	Schumacherbauten 1920-30er	6,85	0,57
Anteil bebaut			1202,51	33,29
unbebaut	XII	Grünflächen	806,03	33,44
	XIII	Landwirtschaft	295,85	12,27
	XIVa	Restflächen (Verkehr, Deponien)	672,05	27,88
	XIVb	Wasserflächen	636,28	26,40
	Anteil unbebaut			2410,22
<b>Gesamtsumme</b>			<b>3612,73</b>	<b>100,00</b>



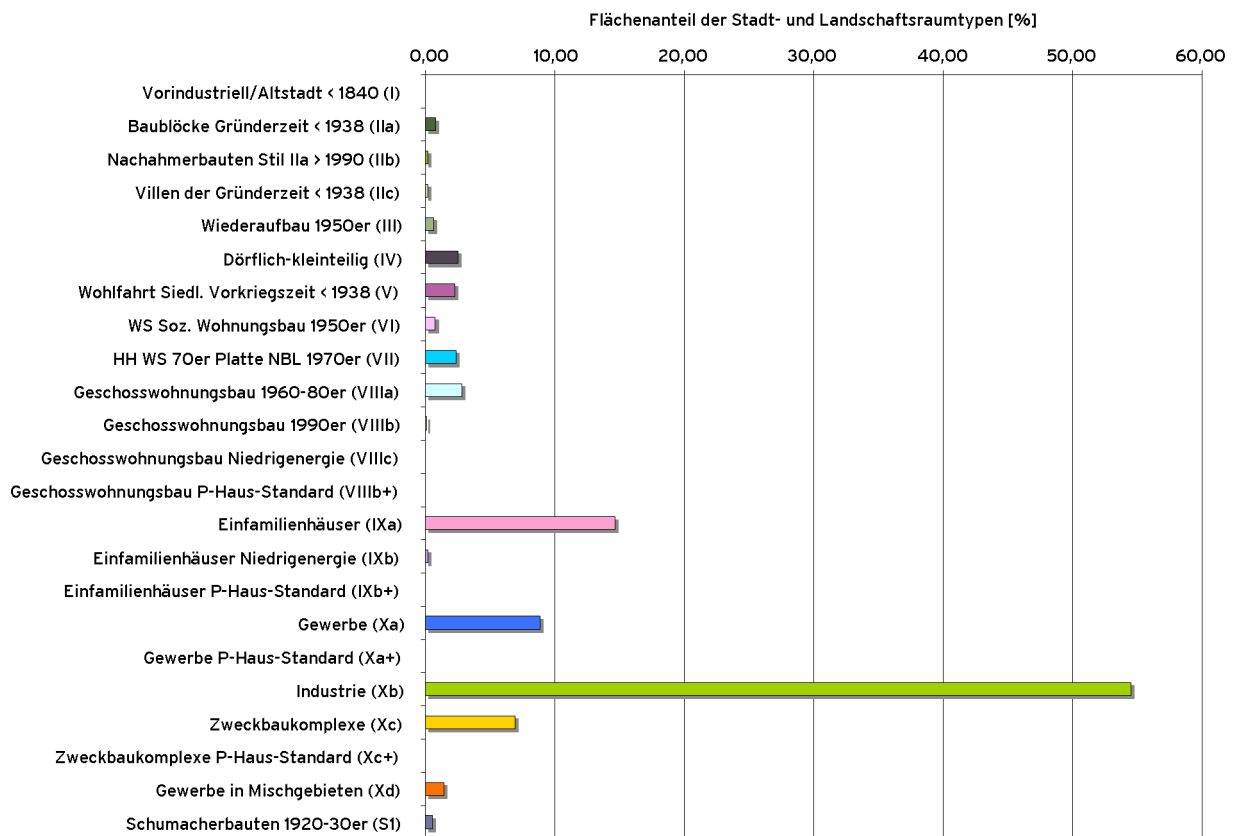


Abb. 4 Anteile der Stadtraumtypen an der bebauten Fläche im IBA-Modellraum im Jahr 2007.



- |  |   |
|--|---|
| <span style="color: blue;">■</span> Vorindustriell/Altstadt < 1840             | <span style="color: orange;">■</span> Einfamilienhäuser                         |
| <span style="color: purple;">■</span> Baublöcke Gründerzeit < 1938             | <span style="color: #FFD700;">■</span> Einfamilienhäuser Niedrigenergie         |
| <span style="color: magenta;">■</span> Nachahmerbauten Stil IIa > 1990         | <span style="color: #FFD700;">■</span> Einfamilienhäuser Passivhaus-Standard    |
| <span style="color: #800080;">■</span> Villen der Gründerzeit < 1938           | <span style="color: #FFD700;">■</span> Schumacherbauten 1920-30er               |
| <span style="color: #FF69B4;">■</span> Wiederaufbau/Nachahm. IIa 1950-80er     | <span style="color: #A08080;">■</span> Gewerbe                                  |
| <span style="color: #FFB6C1;">■</span> Dörflich-kleinteilig                    | <span style="color: #808080;">■</span> Gewerbe Passivhaus-Standard              |
| <span style="color: #8B0000;">■</span> Wohlfahrt Siedlung Vorkriegszeit < 1938 | <span style="color: #404040;">■</span> Zweckbauten u. öffentliche Einrichtungen |
| <span style="color: #FF0000;">■</span> WS Soz. Wohnungsbau 1950er              | <span style="color: #000000;">■</span> Zweckbaukomplexe Passivhaus-Standard     |
| <span style="color: #FF0000;">■</span> HH WS 70er Platte NBL 1970er            | <span style="color: #808080;">■</span> Industrie                                |
| <span style="color: #FF0000;">■</span> Geschosswohnungsbau 1960-80er           | <span style="color: #90EE90;">■</span> Grünflächen                              |
| <span style="color: #FF0000;">■</span> Geschosswohnungsbau 1990er              | <span style="color: #90EE90;">■</span> Landwirtschafts-/Gartenbauflächen        |
| <span style="color: #FF0000;">■</span> Geschosswohnungsbau Niedrigenergie      | <span style="color: #D3D3D3;">■</span> Restflächen                              |
| <span style="color: #8B4513;">■</span> Geschosswohnungsbau Passivhaus-Standard | <span style="color: #ADD8E6;">■</span> Wasserflächen                            |

## Flächenentwicklung in den Zeitschnitten

Die Entwicklung der prototypischen Stadt- und Landschaftsräume ist abhängig von dem betrachteten Zukunftsszenario. Sowohl im Referenz- als auch im Exzellenzszenario wird von einer Veränderung der Flächenverteilung der Stadt- und Landschaftsraumtypen ausgegangen.

Im Referenzszenario wird von einer Umsetzung der heute geltenden Rechtspläne (Flächennutzungsplan, Bebauungspläne) ausgegangen.

Im Exzellenzszenario wurden in Absprache mit der IBA Hamburg neue Entwicklungsflächen definiert. Insbesondere im Exzellenzszenario beeinflussen maßgebend die IBA-Projekte die Flächennutzungsentwicklung. Der Fokus der IBA-Projekte liegt in der Umsetzung einer höheren baulichen Dichte sowie der schnelleren Umsetzung höherer Heizwärme Standards. In der Regel bewirken diese Flächennutzungsänderungen auch eine Änderung des Stadt- oder Landschaftsraumtyps. In Ausnahmefällen, z.B. im Entwicklungsbereich Veddel, werden Flächenveränderungen in Form von Nachverdichtungen erwartet, können aber zur Zeit nicht räumlich verortet werden. Aus diesem Grund bleiben diese zunächst unberücksichtigt.

Aufgrund der zu erwartenden Flächennutzungsänderungen und der Umsetzung neuer Heizwärme Standards (Niedrigenergie-, Passivhausstandard) werden 4 neue Stadtraumtypen eingeführt. Dazu gehören

- Geschosswohnungsbau Passivhausstandard (VIIc+)
- Einfamilienhäuser Passivhausstandard (IXb+)
- Zweckbauten und öffentliche Einrichtungen Passivhausstandard (Xc+) sowie
- Gewerbe Passivhausstandard (Xa+).

Diese neuen Stadtraumtypen sind im Referenz- als auch im Exzellenzszenario in unterschiedlichen Anteilen vertreten.

Die Entwicklung der Stadt- und Landschaftsräume für das Referenz- und das Exzellenzszenario ist in den Tabellen 5 und 6 für die Zeitschnitte 2007,

2013, 2020 und 2050 dargestellt. Die Kartenserie Flächenentwicklung in den Zeitschnitten illustriert die Flächenentwicklung für beide Szenarien. (siehe Anhang A, Karten A4 bis A12).

Der Anteil der bebauten Flächen nimmt im Referenzszenario von 2007 bis 2050 um ca. 200 ha zu. Dies entspricht ca. 17 % der bebauten Fläche. Den größten Anteil am Flächenzuwachs haben Gewerbeflächen mit einer Zunahme um 122 ha. Im Einfamilienhausbereich (IXb, IXb+) beträgt die Flächenzunahme 93 ha. Im Bereich des mehrgeschossigen Wohnungsbaus (VIIIc, VIIIc+) wird ein Zuwachs von 52 ha angenommen. Im Gegenzug verringern sich die Flächenanteile der Industrie- und Hafenflächen um 46 ha.

Der Anteil der bebauten Flächen nimmt im Exzellenzszenario von 2007 bis 2050 um ca. 211 ha zu. Dies entspricht ca. 18% der bebauten Fläche. Den größten Anteil am Flächenzuwachs haben Gewerbeflächen mit einer Zunahme um 186 ha. Im Einfamilienhausbereich (IXb, IXb+) beträgt die Flächenzunahme 55 ha. Im Bereich des mehrgeschossigen Wohnungsbaus (VIIIc, VIIIc+) wird ein Zuwachs um 84 ha angenommen. Im Gegenzug verringern sich die Flächenanteile der Industrie- und Hafenflächen um 93 ha.

Beim Vergleich der Flächenentwicklung der beiden Szenarien wird deutlich, dass im Exzellenzszenario ein geringerer Anteil an Einfamilienhäusern entsteht, im Gegenzug der Anteil des mehrgeschossigen Wohnungsbaus höher liegt und somit eine höhere städtebauliche Dichte erreicht wird. Die Abnahme der Industrieflächen ist im Exzellenzszenario doppelt so hoch wie im Referenzszenario. Ursache dafür ist die wesentlich umfangreichere Umwandlung von Industrieflächen in Gewerbe- und Wohnflächen (z.B. im IBA-Projektgebiet Wilhelmsburg Mitte).

Die Karten 3 und 4 zeigen beispielhaft die Stadt- und Landschaftsraumtypen im Referenz- und Exzellenzszenario im Zeitschnitt 2050.

**Tab. 5 Entwicklung der Anteile der einzelnen Stadt- und Landschaftsraumtypen im IBA-Modellraum im Referenzszenario in den Zeitschnitten 2007 bis 2050.**

Nutzung	SRT	Stadtraumtypen	Flächen A' in ha				
			2007	2013	2020	2050	
Mischnutzung	I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	0,16	0,16	0,16	0,16	
	IIa	Baublöcke Gründerzeit < 1938	9,68	9,63	9,40	9,40	
	IIb	Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	2,33	2,33	2,33	2,33	
	IIc	Villen der Gründerzeit < 1938	2,38	2,38	2,38	2,38	
	III	Wiederaufbau 1950er	7,62	7,50	7,44	7,44	
Wohnen	IV	Dörflich-kleinteilig	30,36	30,36	30,36	29,24	
	V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	27,42	27,25	27,25	27,25	
	VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	9,47	9,47	9,47	9,47	
	VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	28,77	28,77	28,77	28,77	
	VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	34,09	34,09	34,09	34,09	
	VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	1,41	1,40	1,40	1,40	
	VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	0,00	5,03	5,03	5,03	
	VIIIc+	Geschosswohnungsbau Passivhausstandard	0,00	0,00	30,26	46,70	
	IXa	Einfamilienhäuser > 1950	176,33	172,58	171,68	168,14	
	IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	2,35	15,89	15,89	15,89	
	IXb+	Einfamilienhäuser Passivhausstandard	0,00	0,00	12,43	79,84	
	Gewerbe (reines)	Xa	Gewerbe	106,53	106,93	178,21	228,54
		Xa+	Gewerbe Passivhausstandard	0,00	0,00	0,73	0,73
	Industrie	Xb	Industrie + Hafen	655,75	652,12	672,45	609,84
	Zweckbauten	Xc	Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	83,49	83,04	77,09	75,35
Xc+		Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen Passivhausstandard	0,00	0,00	0,00	0,00	
Gewerbe I-IV <sup>2</sup>	Xd	Gewerbe in Mischgebieten	17,51	17,46	17,36	16,98	
Sondertypen	S1	Schumacherbauten 1920-30er	6,85	6,85	6,85	6,85	
<b>Summe</b>			<b>1202,51</b>	<b>1213,25</b>	<b>1341,03</b>	<b>1405,82</b>	

<sup>1</sup>Flächen in Hektar pro Stadtraumtyp; <sup>2</sup>ein Viertel der mischgenutzten Flächen.

**Tab. 6 Entwicklung der Anteile der einzelnen Stadt- und Landschaftsraumtypen im IBA-Modellraum im Exzellenzszenario in den Zeitschnitten 2007 bis 2050.**

Nutzung	SRT	Stadtraumtypen	Flächen A <sup>1</sup> in ha				
			2007	2013	2020	2050	
Mischnutzung	I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	0,16	0,16	0,16	0,16	
	Ila	Baublöcke Gründerzeit < 1938	9,68	9,62	9,39	9,39	
	Ilb	Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	2,33	2,33	2,33	2,33	
	Ilc	Villen der Gründerzeit < 1938	2,38	2,38	2,38	2,38	
	III	Wiederaufbau 1950er	7,62	7,50	7,44	7,44	
Wohnen	IV	Dörflich-kleinteilig	30,36	30,36	30,36	29,24	
	V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	27,42	27,17	27,17	27,17	
	VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	9,47	9,47	9,47	9,47	
	VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	28,77	28,03	27,74	27,73	
	VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	34,09	33,31	33,29	32,96	
	VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	1,41	1,40	1,40	1,40	
	VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	0,00	1,23	1,23	1,23	
	VIIIc+	Geschosswohnungsbau Passivhausstandard	0,00	10,52	51,71	83,26	
	IXa	Einfamilienhäuser > 1950	176,33	174,91	171,60	167,18	
	IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	2,35	5,88	5,88	5,88	
	IXb+	Einfamilienhäuser Passivhausstandard	0,00	5,53	15,48	51,30	
	Gewerbe (reines)	Xa	Gewerbe	106,53	119,83	207,55	292,20
		Xa+	Gewerbe Passivhausstandard	0,00	4,99	4,99	4,99
Industrie	Xb	Industrie + Hafen	655,75	650,73	658,37	563,15	
Zweckbauten	Xc	Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	83,49	76,32	68,97	66,95	
	Xc+	Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen Passivhausstandard	0,00	3,78	3,78	3,78	
Gewerbe I-IV <sup>2</sup>	Xd	Gewerbe in Mischgebieten	17,51	17,45	17,35	16,98	
Sondertypen	S1	Schumacherbauten 1920-30er	6,85	6,85	6,85	6,85	
<b>Summe</b>			<b>1202,51</b>	<b>1229,78</b>	<b>1364,91</b>	<b>1413,42</b>	

<sup>1</sup>Flächen in Hektar pro Stadtraumtyp; <sup>2</sup>ein Viertel der mischgenutzten Flächen.



- |  |  |
|--|--|
| <span style="color: blue;">■</span> Vorindustriell/Altstadt < 1840             | <span style="color: orange;">■</span> Einfamilienhäuser                          |
| <span style="color: purple;">■</span> Baublöcke Gründerzeit < 1938             | <span style="color: yellow;">■</span> Einfamilienhäuser Niedrigenergie           |
| <span style="color: magenta;">■</span> Nachahmerbauten Stil IIa > 1990         | <span style="color: lightyellow;">■</span> Einfamilienhäuser Passivhaus-Standard |
| <span style="color: pink;">■</span> Villen der Gründerzeit < 1938              | <span style="color: yellowgreen;">■</span> Schumacherbauten 1920-30er            |
| <span style="color: lightpink;">■</span> Wiederaufbau/Nachahm. IIa 1950-80er   | <span style="color: brown;">■</span> Gewerbe                                     |
| <span style="color: lightcoral;">■</span> Dörflich-kleinteilig                 | <span style="color: darkbrown;">■</span> Gewerbe Passivhaus-Standard             |
| <span style="color: darkred;">■</span> Wohlfahrt Siedlung Vorkriegszeit < 1938 | <span style="color: black;">■</span> Zweckbauten u. öffentliche Einrichtungen    |
| <span style="color: red;">■</span> WS Soz. Wohnungsbau 1950er                  | <span style="color: grey;">■</span> Zweckbaukomplexe Passivhaus-Standard         |
| <span style="color: darkred;">■</span> HH WS 70er Platte NBL 1970er            | <span style="color: grey;">■</span> Industrie                                    |
| <span style="color: red;">■</span> Geschosswohnungsbau 1960-80er               | <span style="color: lightgreen;">■</span> Grünflächen                            |
| <span style="color: red;">■</span> Geschosswohnungsbau 1990er                  | <span style="color: lightgreen;">■</span> Landwirtschafts-/Gartenbauflächen      |
| <span style="color: red;">■</span> Geschosswohnungsbau Niedrigenergie          | <span style="color: lightgrey;">■</span> Restflächen                             |
| <span style="color: orange;">■</span> Geschosswohnungsbau Passivhaus-Standard  | <span style="color: lightgrey;">■</span> Wasserflächen                           |



- |  |   |
|--|---|
| <span style="color: blue;">■</span> Vorindustriell/Altstadt < 1840             | <span style="color: orange;">■</span> Einfamilienhäuser                           |
| <span style="color: purple;">■</span> Baublöcke Gründerzeit < 1938             | <span style="color: yellow;">■</span> Einfamilienhäuser Niedrigenergie            |
| <span style="color: magenta;">■</span> Nachahmerbauten Stil IIa > 1990         | <span style="color: lightyellow;">■</span> Einfamilienhäuser Passivhaus-Standard  |
| <span style="color: lightpurple;">■</span> Villen der Gründerzeit < 1938       | <span style="color: yellowgreen;">■</span> Schumacherbauten 1920-30er             |
| <span style="color: pink;">■</span> Wiederaufbau/Nachahm. IIa 1950-80er        | <span style="color: tan;">■</span> Gewerbe  |
| <span style="color: lightpink;">■</span> Dörflich-kleinteilig                  | <span style="color: brown;">■</span> Gewerbe Passivhaus-Standard                  |
| <span style="color: darkred;">■</span> Wohlfahrt Siedlung Vorkriegszeit < 1938 | <span style="color: darkbrown;">■</span> Zweckbauten u. öffentliche Einrichtungen |
| <span style="color: red;">■</span> WS Soz. Wohnungsbau 1950er                  | <span style="color: black;">■</span> Zweckbaukomplexe Passivhaus-Standard         |
| <span style="color: darkred;">■</span> HH WS 70er Platte NBL 1970er            | <span style="color: gray;">■</span> Industrie                                     |
| <span style="color: red;">■</span> Geschosswohnungsbau 1960-80er               | <span style="color: lightgreen;">■</span> Grünflächen                             |
| <span style="color: red;">■</span> Geschosswohnungsbau 1990er                  | <span style="color: lightgreen;">■</span> Landwirtschafts-/Gartenbauflächen       |
| <span style="color: lightcoral;">■</span> Geschosswohnungsbau Niedrigenergie   | <span style="color: lightgray;">■</span> Restflächen                              |
| <span style="color: orange;">■</span> Geschosswohnungsbau Passivhaus-Standard  | <span style="color: lightblue;">■</span> Wasserflächen                            |

## Effizienzanalyse

Die Effizienz eines Systems ist aus energetischer Sicht als Verhältnis von bereitgestellter Energie zu genutzter Energie definiert. Je geringer die Verluste durch Energiewandlung, -speicherung und -transport sind, desto größer ist die nutzbare Energie. Durch Effizienzmaßnahmen kann der Energieverlust gering gehalten werden.

In einem urbanen Raum gibt es vielfältige Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz. Sie zu identifizieren ist Gegenstand der Effizienzanalyse. Um die Energieeffizienz des Modellraumes zu erhöhen, bieten sich Maßnahmen der Energieeinsparung an. Sie betreffen

- den Heizwärmebedarf
- den Warmwasserbedarf
- den Strombedarf und
- den Prozessenergiebedarf.

Je nach Energiepartei und nach Szenario unterscheiden sich die Effizienzmaßnahmen, wie in den folgenden Abschnitten beschrieben. Weiterhin ist eine Steigerung der Energieeffizienz durch eine Erhöhung des Nutzungsgrades der Anlagen, die Energie erzeugen, möglich. Die Nutzung der Kraft-

Wärme-Kopplung, also die Doppelnutzung der eingesetzten Energie zur Erzeugung von Strom und Wärme ist eine klassische Effizienzmaßnahme im städtischen Raum.

## Energieeinsparung

### Heizwärmebedarf

Da private Haushalte aktuell etwa zwei Drittel des Endenergiebedarfes für **Raumwärme** verbrauchen hat die energetische Sanierung der Gebäude Priorität. Um den Energieverbrauch zu verringern schlägt die Deutsche Energie-Agentur folgende Verfahrensweise vor (DENA 2006):

- Zunächst wird durch **nicht-investive Maßnahmen** der Energieverbrauch reduziert, zum Beispiel durch eine bessere Regelung der Heizung und des Warmwasserbedarfes sowie Maßnahmen der Stromeinsparung.
- Danach wird die **Gebäudehülle** saniert, ebenfalls mit dem Ziel, die Verbrauchswerte zu reduzieren. Geeignete Maßnahmen sind zum Beispiel das Abdichten von Fugen und Ritzen, die Erneuerung der Fenster und schließlich die Dämmung des Dachs, der Außenwände, der Kellerdecke.

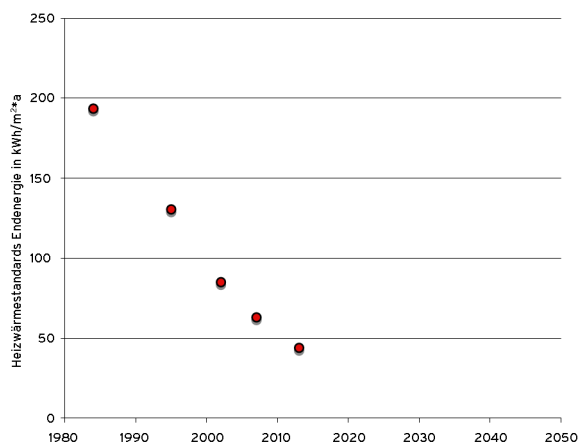


Abb. 5 Heizenergiestandards (WSVO, EnEV) in Deutschland über die Zeit.



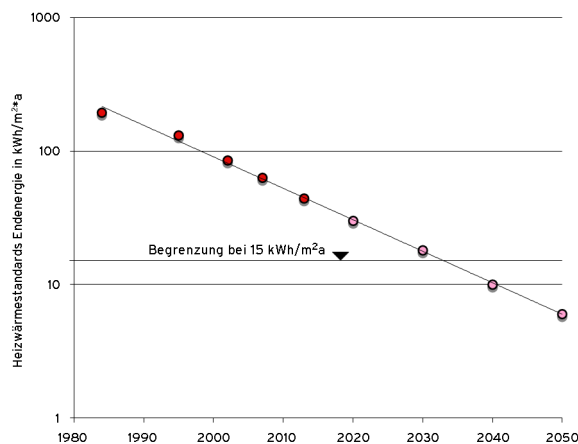


Abb. 6 Bei logarithmischer Ordinate lassen sich die zukünftigen Heizenergiestandards (pink) durch eine Gerade extrapolieren. Es wird angenommen, dass der Heizwärmebedarf nicht unter 15 kWh/m<sup>2</sup>\*a sinkt.

- Darauf aufbauend folgt die Sanierung der **Haustechnik** mit dem Ziel einer deutlichen Effizienzsteigerung, insbesondere einer Verbesserung der Wärmeerzeugung mit moderner Anlagentechnik, wobei die gesamten Maßnahmen zur energetischen Sanierung aufeinander abgestimmt werden müssen.

Es ist zu empfehlen, dass alle oben genannten Schritte innerhalb eines Sanierungszyklus erfolgen, da nur mit einer Vollsanierung der gewünschte Einsparungseffekt erzielt werden kann.

So sanierte Gebäude haben einen wesentlich geringeren Wärmebedarf. In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass die vom Gesetzgeber vorgegebenen energetischen Sanierungsmaßnahmen - auch vor dem Hintergrund der sich abzeichnenden Rohstoff- und Energiekrise - im normalen Sanierungszyklus der Gebäude tatsächlich umgesetzt werden. Als Parameter des Sanierungsprozesses gelten

- die Sanierungsrate und
- die Sanierungstiefe.

Die **Sanierungstiefe** bezeichnet den Umfang der Sanierung mit Blick auf den erreichten Heizwär-

mebedarf. Als Zielwerte für den Neubau und die grundlegende Sanierung von Wohngebäuden werden die in den Wärmeschutz- und Energieeinsparverordnungen (WSVO, EnEV) vorgegebenen Werte angesetzt. Abbildung 5 zeigt die einschlägigen Zielwerte als Funktion der Zeit. Die Zielwerte lassen sich bei logarithmischer Ordinate mit einer Geraden approximieren, so dass eine Extrapolation in die Zukunft möglich ist (Abb. 6).

Bei einer vorgegebenen Sanierungsrate von  $s_i$  im Stadtraum  $i$  und einem Sanierungsziel für den Heizwärmebedarf von  $e_{VHsan,i}$  folgt nach  $t$  Jahren seit Einführung des Standards ein mittlerer Heizwärmebedarf von

$$e_{VH,i} = e''_{VH,i} \left[ \frac{e_{VHsan,i}}{e''_{VH,i}} + (1 - s_i)^t \left( 1 - \frac{e_{VHsan,i}}{e''_{VH,i}} \right) \right]$$

Bei Einführung eines neuen Wärmestandards gilt der jeweils in diesem Jahr erreichte Mittelwert  $e''_{VH,i}$  als Startwert. Diese Anpassung der Heizwärmestandards wird sowohl in den beiden Referenzszenarien als auch im Exzellenzszenario angenommen. Die **Sanierungsrate** ist zunächst ein historisch gemessener Wert. Sie ist abhängig vom Sanierungszyklus, der bei Wohngebäuden nach

verschiedenen Quellen (Matthes & Cames 2000; Pelzeter 2005; Bardt et al. 2008) zu 30 Jahren angenommen wird. Je nach Bauteil schwanken jedoch die Erneuerungsraten: So wird zum Beispiel bei der Fassade von 20-50 Jahren, beim Dach von 13-50 Jahren und bei der Verglasung von 13-27

Jahren ausgegangen (IWU 1994). Durch Verordnungen und Subventionen kann der Gesetzgeber die Sanierungsrate beeinflussen. Bis zur Jahrtausendwende betrug die Sanierungsrate in Deutschland etwa 2,2% pro Jahr (BMVBS 2010). Die staatliche Förderung von Sanierungsmaßnahmen hat

**Tab. 7 Sanierungsraten (in Prozent) im IBA-Referenzszenario in den Zeitschnitten.**

Nutzung	SRT	Stadtraumtypen	Sanierungsrate s			
			2007	2013	2020	2050
Mischnutzung	I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	0,022	0,030	0,030	0,030
	IIa	Baublöcke Gründerzeit < 1938	0,022	0,030	0,030	0,030
	IIb	Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	0,022	0,030	0,030	0,030
	IIc	Villen der Gründerzeit < 1938	0,022	0,030	0,030	0,030
	III	Wiederaufbau 1950er	0,022	0,030	0,030	0,030
	IV	Dörflich-kleinteilig	0,022	0,030	0,030	0,030
Wohnen	V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	0,022	0,030	0,030	0,030
	VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	0,022	0,030	0,030	0,030
	VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	0,022	0,030	0,030	0,030
	VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	0,022	0,030	0,030	0,030
	VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	0,022	0,030	0,030	0,030
	VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	0,000	0,000	0,000	0,030
	VIIIc+	Geschosswohnungsbau Passivhausstandard	0,000	0,000	0,000	0,030
	IXa	Einfamilienhäuser > 1950	0,022	0,030	0,030	0,030
	IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	0,000	0,000	0,000	0,030
	IXb+	Einfamilienhäuser Passivhausstandard	0,000	0,000	0,000	0,030
Gewerbe (reines)	Xa	Gewerbe	0,022	0,030	0,030	0,030
	Xa+	Gewerbe Passivhausstandard	0,000	0,000	0,000	0,030
Industrie	Xb	Industrie + Hafen	0,022	0,030	0,030	0,030
Zweckbauten	Xc	Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	0,022	0,030	0,030	0,030
	Xc+	Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen Passivhausstandard	0,000	0,000	0,000	0,030
Gewerbe I-IV	Xd	Gewerbe in Mischgebieten	0,022	0,030	0,030	0,030
Sondertypen	S1	Schumacherbauten 1920-30er	0,022	0,030	0,030	0,030

zu einer Erhöhung der Sanierungsrate auf 3,0% geführt. Die Sanierungsraten der Referenzszenarien orientieren sich an diesen historischen Vorgaben und der aktuellen Entwicklung (Tab. 7). Im Exzellenzszenario wird dagegen die Sanierungsrate im gemeinnützigen Wohnungsbau (SRT V, VI,

VII, VIIIa) und bei den Zweckbauten (Xc) auf 5% erhöht (Tab. 8). Es wird also davon ausgegangen, dass mit der Internationalen Bauausstellung gezielt Sanierungsprogramme initiiert werden, die spätestens ab 2013 greifen.

**Tab. 8 Sanierungsraten im IBA-Exzellenzszenario in den Zeitschnitten.**

Nutzung	SRT	Stadttraumtypen	Sanierungsrate s				
			2007	2013	2020	2050	
Mischnutzung	I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	0,022	0,030	0,030	0,030	
	Ila	Baublöcke Gründerzeit < 1938	0,022	0,030	0,030	0,030	
	Ilb	Nachahmerbauten Stil Ila > 1990	0,022	0,030	0,030	0,030	
	Ilc	Villen der Gründerzeit < 1938	0,022	0,030	0,030	0,030	
	III	Wiederaufbau 1950er	0,022	0,030	0,030	0,030	
Wohnen	IV	Dörflich-kleinteilig	0,022	0,030	0,030	0,030	
	V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	0,022	0,050	0,050	0,050	
	VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	0,022	0,050	0,050	0,050	
	VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	0,022	0,050	0,050	0,050	
	VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	0,022	0,050	0,050	0,050	
	VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	0,022	0,030	0,030	0,030	
	VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	0,000	0,000	0,000	0,030	
	VIIIc+	Geschosswohnungsbau Passivhausstandard	0,000	0,000	0,000	0,030	
	IXa	Einfamilienhäuser > 1950	0,022	0,030	0,030	0,030	
	IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	0,000	0,000	0,000	0,030	
	IXb+	Einfamilienhäuser Passivhausstandard	0,000	0,000	0,000	0,030	
	Gewerbe (reines)	Xa	Gewerbe	0,022	0,030	0,030	0,030
		Xa+	Gewerbe Passivhausstandard	0,000	0,000	0,000	0,030
Industrie	Xb	Industrie + Hafen	0,022	0,030	0,030	0,030	
Zweckbauten	Xc	Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	0,022	0,050	0,050	0,050	
	Xc+	Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen Passivhausstandard	0,000	0,000	0,000	0,030	
Gewerbe I-IV	Xd	Gewerbe in Mischgebieten	0,022	0,030	0,030	0,030	
Sondertypen	S1	Schumacherbauten 1920-30er	0,022	0,030	0,030	0,030	

Die Abbildung 7 zeigt den Heizwärmebedarf (Endenergie) nach der Prognose der Leitstudie 2009 (BMU 2009), dem WWF-Referenzszenario des „Modell Deutschland“ (Prognos & Öko-Institut 2009), des IBA-Referenzszenarios und des IBA-Exzellenzszenarios. Dargestellt ist der Endenergiebedarf der Haushalte. Für die IBA-Szenarien wurde er über die Energiebezugsfläche des Stadt-

raumtypen gewichtet gemittelt. Die Darstellung zeigt einen vergleichsweise hohen Heizwärmebedarf im IBA-Modellraum, der sich mit der Zeit an die anderen Vergleichsmodelle anpasst, wobei das Exzellenz-szenario schließlich einen geringeren Heizwärmebedarf aufweist. Die Abbildungen 8 und 9 zeigen die sich aus den verschiedenen Sanierungsraten ergebende Veränderung des mitt-

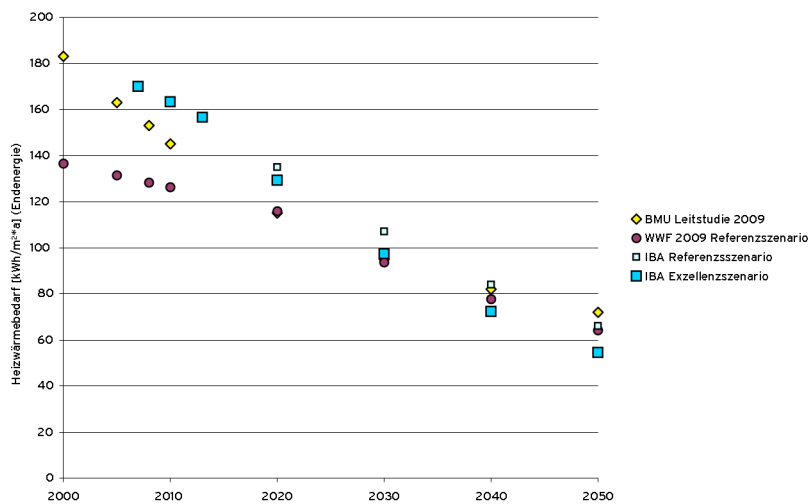


Abb. 7 Heizwärmebedarf (Endenergie, Haushalte) nach der Prognose der Leitstudie 2009 (BMU 2009), dem WWF-Referenzszenario des „Modell Deutschland“ (Prognos & Öko-Institut 2009) des IBA-Referenzszenarios und des IBA-Exzellenzszenarios.

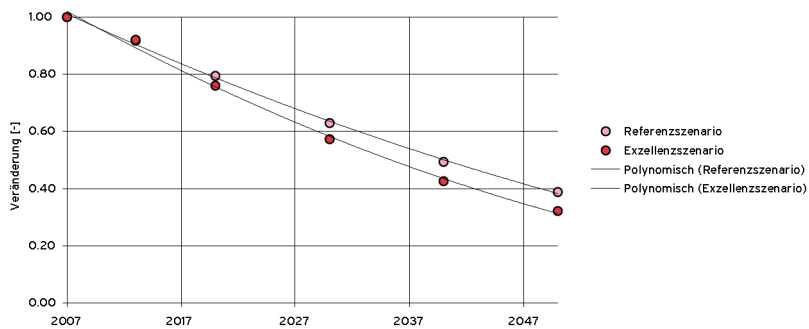


Abb. 8 Die Veränderungen des Heizwärmebedarfes (Endenergie) der Haushalte im Referenz- und Exzellenzszenario.

leren Heizwärmebedarfes der Energieparteien Haushalte und GHD für beide IBA-Szenarien. Hierzu wurde der über die Energiebezugsflächen der einzelnen Stadtraumtypen gewichtete Heizwärmebedarf auf das Startjahr der IBA Hamburg (2007) normiert. Sowohl bei den Haushalten, als auch bei GHD nimmt der Heizwärmebedarf infolge der Sanierung des Bestandes ab. Im Exzellenz-szenario ist diese Abnahme etwas deutlicher.

In Tabelle 9 ist die Entwicklung des stadtraumtypischen Heizwärmebedarfes pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche für die verschiedenen Stadtraumtypen in den Referenzszenarien dargestellt. Tabelle 10 zeigt den stadtraumtypischen Heizwärmebedarf im Exzellenzszenario. Die aktuellen stadtraumtypischen Heizwärmebedarfe pro Energiebezugsfläche (Endenergie) wurden auf der Grundlage der Hamburger Gebäudetypologie (BSU 2010),

der ausgestellten Energiepässe (IBA-Projekt Prima Klima-Anlage), Angaben von Everding (2007) sowie einer Auswertung von Gasverbrauchsmessungen (siehe Anlage C) abgeschätzt. Die Abschätzung des Heizwärmebedarfes von GHD erforderte eine gesonderte Untersuchung (Anlage B). Bei allen Annahmen und Berechnungen werden ggf. vorhandene und zukünftige Kühlbedarfe nicht modelliert. Die Energiepartei Industrie wird nicht berücksichtigt.

Die Unterschiede in der Entwicklung des Heizenergiebedarfes im Referenz- und Exzellenzszenario in den verschiedenen Zeitschnitten ergeben sich aus den sich verändernden Flächenanteilen (Entwicklungsflächen) und aus den in den Szenarien unterschiedlichen Sanierungsraten einzelner Stadtraumtypen.

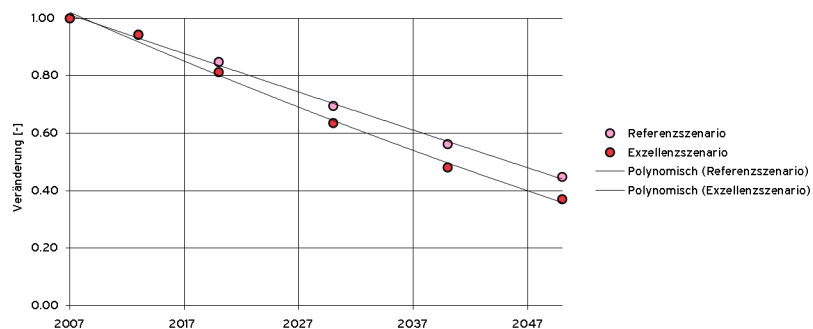


Abb. 9 Die Veränderungen des Heizwärmebedarfes (Endenergie) von GHD im Referenz- und Exzellenzszenario.

**Tab. 9 Entwicklung des Heizenergiebedarfes (Endenergie) in den Referenzszenarien.**

Nutzung	SRT	Stadtraumtypen	2007	2013	2020	2050	
							kWh/m <sup>2</sup> *a
Mischnutzung	I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	200	182	155	72	
	IIa	Baublöcke Gründerzeit < 1938	172	158	135	64	
	IIb	Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	100	95	85	44	
	IIc	Villen der Gründerzeit < 1938	204	185	157	73	
	III	Wiederaufbau 1950er	167	153	131	63	
Wohnen	IV	Dörflich-kleinteilig	140	130	113	55	
	V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	184	168	143	67	
	VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	199	181	154	72	
	VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	172	158	135	64	
	VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	175	160	137	65	
	VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	101	96	85	45	
	VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	30	30	30	25	
	VIIIc+	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie P-Haus-Standard	15	15	15	15	
	IXa	Einfamilienhäuser > 1950	168	154	132	63	
	IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	30	30	30	25	
	IXb+	Einfamilienhäuser Niedrigenergie P-Haus-Standard	15	15	15	15	
	Gewerbe	Xa	Gewerbe	99	94	84	44
		Xa+	Gewerbe P-Haus-Standard	15	15	15	15
Industrie	Xb	Industrie + Hafen	0	0	0	15	
Zweckbauten	Xc	Zweckbaukomplexe	103	97	87	45	
	Xc+	Zweckbaukomplexe P-Haus-Standard	15	15	15	15	
Gewerbe I-IV	Xd	Gewerbe in Mischgebieten	157	144	124	60	
Sondertypen	S1	Schumacherbauten 1920-30er	181	165	141	67	

**Tab. 10 Entwicklung des Heizenergiebedarfes (Endenergie) im Exzellenzszenario.**

Nutzung	SRT	Stadtraumtypen	2007	2013	2020	2050	
							kWh/m <sup>2</sup> *a
Mischnutzung	I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	200	182	155	72	
	Ila	Baublöcke Gründerzeit < 1938	172	158	135	64	
	Ilb	Nachahmerbauten Stil Ila > 1990	100	95	85	44	
	Ilc	Villen der Gründerzeit < 1938	204	185	157	73	
	III	Wiederaufbau 1950er	167	153	131	63	
Wohnen	IV	Dörflich-kleinteilig	140	130	113	55	
	V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	184	168	130	42	
	VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	199	181	139	44	
	VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	172	158	123	40	
	VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	175	160	137	65	
	VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	101	96	85	45	
	VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	30	30	30	25	
	VIIIc+	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie P-Haus-Standard	15	15	15	15	
	IXa	Einfamilienhäuser > 1950	168	154	132	63	
	IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	30	30	30	25	
	IXb+	Einfamilienhäuser Niedrigenergie P-Haus-Standard	15	15	15	15	
	Gewerbe	Xa	Gewerbe	99	94	84	44
		Xa+	Gewerbe P-Haus-Standard	15	15	15	15
Industrie	Xb	Industrie + Hafen	0	0	0	15	
Zweckbauten	Xc	Zweckbaukomplexe	103	97	81	31	
	Xc+	Zweckbaukomplexe P-Haus-Standard	15	15	15	15	
Gewerbe I-IV	Xd	Gewerbe in Mischgebieten	157	144	124	60	
Sondertypen	S1	Schumacherbauten 1920-30er	181	165	141	67	

### Bedarf an Warmwasser, Prozesswärme und Brennstoffen

Der zukünftige Bedarf an Warmwasser, Prozesswärme und Kraftstoffen wird auf der Grundlage der Studie „Modell Deutschland“ (Prognos & Ökoinstitut 2009) modelliert. Für das IBA-Referenzszenario wird das im Deutschland-Modell ebenso bezeichnete Referenzszenario übernommen. Für das Exzellenzszenario wird das Innovationszenario des Deutschland-Modells angewendet (Prognos & Ökoinstitut 2009: 169-171). Die Prognose erfolgt durch eine Approximation des zukünftigen Energiebedarfes, justiert auf das IBA-Startjahr 2007. Als grundlegende Modellformel gilt

$$e_{VW,i} = e'_{VW,i} K_i$$

mit  $e'_{VW,i}$  als Warmwasser- bzw. Prozesswärmebedarf im IBA-Startjahr und  $K_i$  als Modellfaktor, aus der Deutschland-Prognose abgeleitet. Bei der Energiepartei Haushalte wird das mitunter genutzte Kochgas nicht berücksichtigt. Für die Energiepartei GHD werden Warmwasser, Prozesswärme und Kraftstoffe berücksichtigt.

Abbildung 10 zeigt die Veränderung des Warmwasserbedarfes der Haushalte für das Referenz- und Exzellenzszenario. Abbildung 11 zeigt die Veränderungen des Warmwasser-, Prozesswärme- und Kraftstoffbedarfes der Energiepartei GHD für beide Szenarien.

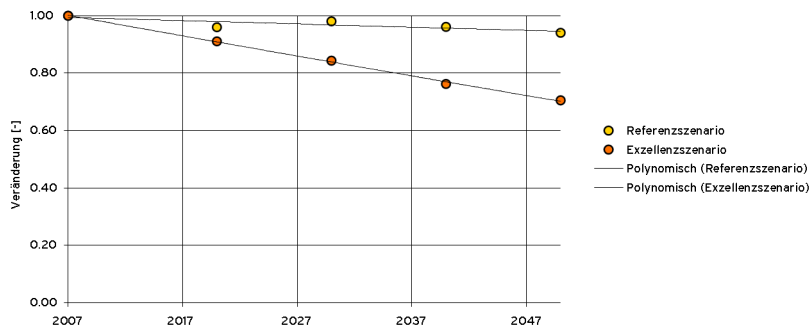


Abb. 10 Die Veränderung des Warmwasserbedarfes der Haushalte für das Referenz- und Exzellenzszenario.

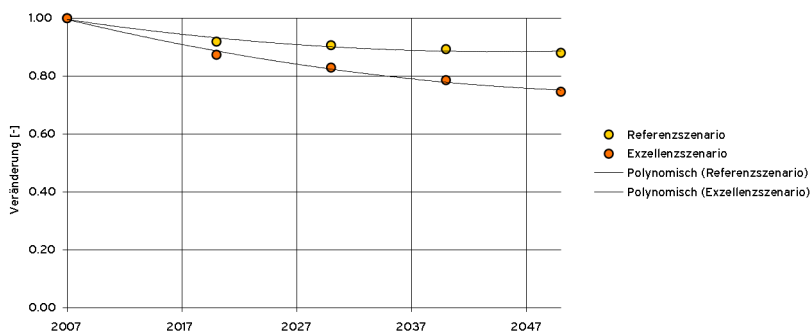


Abb. 11 Die Veränderungen des Warmwasser-, Prozesswärme- und Kraftstoffbedarfes der Energiepartei GHD für das Referenz- und Exzellenzszenario.



In Tabelle 11 ist der Warmwasserenergiebedarf für die verschiedenen Stadtraumtypen in den Referenzszenarien dargestellt. Tabelle 12 zeigt den stadtraumtypischen Warmwasserenergiebedarf im Exzellenzszenario. Der aktuelle Warmwasserenergiebedarf in Haushalten betrug 2005 in Deutschland zwischen 890 und 1050 kWh pro Ein-

wohner und Jahr (SBA 2008a; Prognos & Öko-Institut 2009). Für das IBA-Startjahr 2007 wird ein Verbrauchswert von 900 kWh pro Einwohner und Jahr angenommen. Durch eine GIS-Überlagerung der Einwohnerkarte mit den stadtraumtypischen Energiebezugsflächen konnte der stadtraumtypische Warmwasserbedarf pro Energiebezugsflä-

**Tab. 11 Warmwasserbedarf (Endenergie) für Haushalte und Warmwasser-, Prozesswärme- und Brennstoffbedarf für GHD in den Referenzszenarien.**

Nutzung	SRT	Stadtraumtypen	2007	2013	2020	2050	
							kWh/m <sup>2</sup> *a
Mischnutzung	I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	39	39	38	35	
	Ila	Baublöcke Gründerzeit < 1938	37	36	36	33	
	Ilb	Nachahmerbauten Stil Ila > 1990	30	30	29	27	
	Ilc	Villen der Gründerzeit < 1938	30	30	29	27	
	III	Wiederaufbau 1950er	39	39	38	35	
Wohnen	IV	Dörflich-kleinteilig	14	13	13	12	
	V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	36	36	35	32	
	VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	35	34	34	31	
	VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	39	39	38	35	
	VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	35	35	34	31	
	VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	30	30	29	27	
	VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	30	30	29	27	
	VIIIc+	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie P-Haus-Standard	30	30	29	27	
	IXa	Einfamilienhäuser > 1950	20	19	19	18	
	IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	30	30	29	27	
	IXb+	Einfamilienhäuser Niedrigenergie P-Haus-Standard	30	30	29	27	
	Gewerbe	Xa	Gewerbe	61	59	58	50
		Xa+	Gewerbe P-Haus-Standard	61	59	58	50
Industrie	Xb	Industrie + Hafen	0	0	0	0	
Zweckbauten	Xc	Zweckbaukomplexe	25	24	24	20	
	Xc+	Zweckbaukomplexe P-Haus-Standard	25	24	24	20	
Gewerbe I-IV	Xd	Gewerbe in Mischgebieten	15	15	14	12	
Sondertypen	S1	Schumacherbauten 1920-30er	49	48	47	43	

che für die Haushalte ermittelt werden. Die Abschätzung des Warmwasser-, Prozesswärme- und Brennstoffbedarfes von GHD erfolgte nach der

Detailuntersuchung in Anlage B. Die Energiepartei Industrie wird nicht berücksichtigt.

**Tab. 12 Warmwasserbedarf (Endenergie) für Haushalte und Warmwasser-, Prozesswärme- und Brennstoffbedarf für GHD im Exzellenzszenario.**

Nutzung	SRT	Stadttraumtypen	2007	2013	2020	2050
Mischnutzung	I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	39	37	35	26
	IIa	Baublöcke Gründerzeit < 1938	37	35	33	25
	IIb	Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	30	28	27	20
	IIc	Villen der Gründerzeit < 1938	30	28	27	20
	III	Wiederaufbau 1950er	39	37	35	26
Wohnen	IV	Dörflich-kleinteilig	14	13	12	9
	V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	36	34	32	24
	VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	35	33	31	23
	VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	39	37	35	26
	VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	35	33	31	23
	VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	30	28	27	20
	VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	30	28	27	20
	VIIIc+	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie P-Haus-Standard	30	28	27	20
	IXa	Einfamilienhäuser > 1950	20	19	18	13
	IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	30	28	27	20
	IXb+	Einfamilienhäuser Niedrigenergie P-Haus-Standard	30	28	27	20
Gewerbe	Xa	Gewerbe	61	58	55	42
	Xa+	Gewerbe P-Haus-Standard	61	58	55	42
Industrie	Xb	Industrie + Hafen	0	0	0	0
Zweckbauten	Xc	Zweckbaukomplexe	25	24	22	17
	Xc+	Zweckbaukomplexe P-Haus-Standard	25	24	22	17
Gewerbe I-IV	Xd	Gewerbe in Mischgebieten	15	14	13	10
Sondertypen	S1	Schumacherbauten 1920-30er	49	46	44	33

### Strombedarf

Der zukünftige Strombedarf wird, wie der Warmwasser-, Prozesswärme und Brennstoffbedarf, auf der Grundlage der Studie „Modell Deutschland“ (Prognos & Ökoinstitut 2009) modelliert. Für das IBA-Referenzszenario wird das im Deutschland-Modell ebenso bezeichnete Referenzszenario übernommen. Für das Exzellenzszenario wird das Innovationsszenario des Deutschland-Modells angewendet (Prognos & Ökoinstitut 2009: 169-171).

In beiden Szenarien erfolgt die Prognose durch eine Approximation des zukünftigen Energiebedarfes, justiert auf das IBA-Startjahr 2007, mit der Modellformel

$$e_{VS,i} = e'_{VS,i} \cdot k_i$$

mit  $e'_{VS,i}$  als Strombedarf im IBA-Startjahr und  $k_i$  als Modellfaktor.

Der aktuelle Strombedarf ist nach VDI 3607 (Blatt 2) eine Funktion der Haushaltsgröße. Dabei wird die Haushaltsgröße sowohl auf den Wohnraum (in Quadratmeter) (Abb. 12) als auch auf die Mitglieder pro Haushalt bezogen (Abb. 13).

Da die stadtraumspezifischen Haushaltsgrößen bereits abgeschätzt wurden, lässt sich der Strombedarf  $e'_{VS,i}$  pro Energiebezugsfläche auf der Grundlage der stadtraumspezifischen Haushaltsgrößen abschätzen.

Die Abschätzung des Strombedarfes von GHD erfolgte nach Anlage B. Die Energiepartei Industrie wird nicht berücksichtigt.

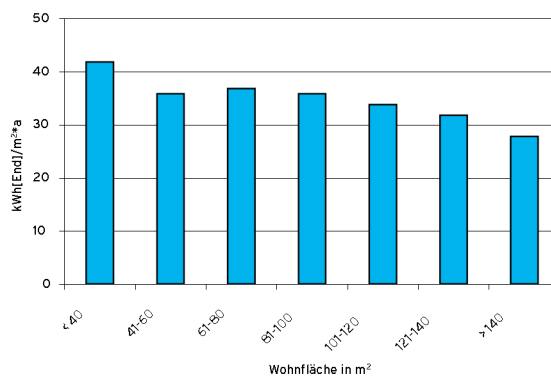


Abb. 12 Jahresstromverbrauch von Haushalten bezogen auf die Wohnfläche nach DIN 3807 B2 Tab 6.

Abbildung 14 zeigt die Veränderung des Strombedarfes der Haushalte für das Referenz- und Exzellenzszenario. Abbildung 15 zeigt die Verände-

rungen des Strombedarfes der Energiepartei GHD für beide Szenarien.

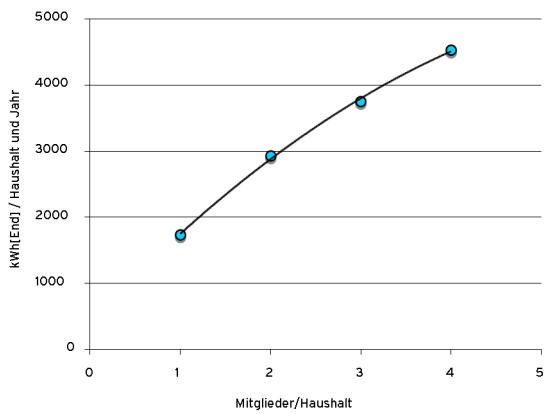


Abb. 13 Jahrsstromverbrauch von Haushalten bezogen auf die Anzahl der Haushaltsmitglieder nach DIN 3807 B2 Tab 7.

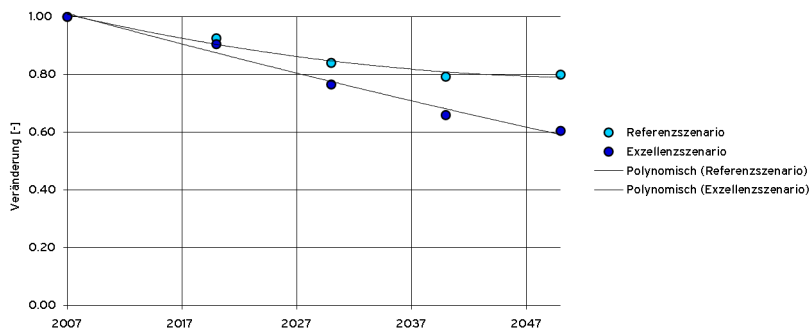


Abb. 14 Veränderung des Strombedarfes der Haushalte für das Referenz- und Exzellenzszenario.

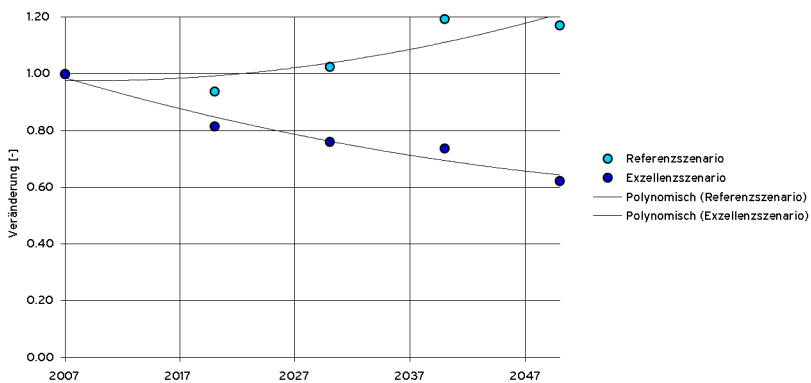


Abb. 15 Die Veränderungen des Strombedarfes der Energiepartei GHD für das Referenz- und Exzellenzszenario.

In Tabelle 13 ist der Strombedarf für die verschiedenen Stadtraumtypen in den Referenzszenarien dargestellt. Tabelle 14 zeigt den stadtraumtypischen Strombedarf im Exzellenzszenario.

**Tab. 13 Entwicklung des Strombedarfes (Endenergie) in den Referenzszenarien.**

Nutzung	SRT	Stadtraumtypen	2007	2013	2020	2050	
							kWh/m <sup>2</sup> *a
Mischnutzung	I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	42	40	38	33	
	Ila	Baublöcke Gründerzeit < 1938	42	40	38	33	
	Ilb	Nachahmerbauten Stil Ila > 1990	42	40	38	33	
	Ilc	Villen der Gründerzeit < 1938	34	32	31	27	
	III	Wiederaufbau 1950er	36	34	33	28	
Wohnen	IV	Dörflich-kleinteilig	32	31	29	25	
	V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	36	34	33	28	
	VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	42	40	38	33	
	VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	37	35	33	29	
	VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	36	34	33	28	
	VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	36	34	33	28	
	VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	36	34	33	28	
	VIIIc+	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie P-Haus-Standard	36	34	33	28	
	IXa	Einfamilienhäuser > 1950	34	32	31	27	
	IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	34	32	31	27	
	IXb+	Einfamilienhäuser Niedrigenergie P-Haus-Standard	34	32	31	27	
	Gewerbe	Xa	Gewerbe	62	64	65	71
		Xa+	Gewerbe P-Haus-Standard	62	64	65	71
Industrie	Xb	Industrie + Hafen	0	0	0	0	
Zweckbauten	Xc	Zweckbaukomplexe	40	41	42	46	
	Xc+	Zweckbaukomplexe P-Haus-Standard	40	41	42	46	
Gewerbe I-IV	Xd	Gewerbe in Mischgebieten	64	66	67	73	
Sondertypen	S1	Schumacherbauten 1920-30er	42	40	38	33	

**Tab. 14 Entwicklung des Strombedarfes (Endenergie) im Exzellenzszenario.**

Nutzung	SRT	Stadttraumtypen	2007	2013	2020	2050
Mischnutzung	I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	42	40	37	25
	IIa	Baublöcke Gründerzeit < 1938	42	40	37	25
	IIb	Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	42	40	37	25
	IIc	Villen der Gründerzeit < 1938	34	32	30	20
	III	Wiederaufbau 1950er	36	34	32	21
	IV	Dörflich-kleinteilig	32	30	28	19
Wohnen	V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	36	34	32	21
	VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	42	40	37	25
	VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	37	35	33	22
	VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	36	34	32	21
	VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	36	34	32	21
	VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	36	34	32	21
	VIIIc+	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie P-Haus-Standard	36	34	32	21
	IXa	Einfamilienhäuser > 1950	34	32	30	20
	IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	34	32	30	20
	IXb+	Einfamilienhäuser Niedrigenergie P-Haus-Standard	34	32	30	20
Gewerbe	Xa	Gewerbe	62	58	54	39
	Xa+	Gewerbe P-Haus-Standard	62	58	54	39
Industrie	Xb	Industrie + Hafen	0	0	0	0
Zweckbauten	Xc	Zweckbaukomplexe	40	37	35	25
	Xc+	Zweckbaukomplexe P-Haus-Standard	40	37	35	25
Gewerbe I-IV	Xd	Gewerbe in Mischgebieten	64	60	56	40
Sondertypen	S1	Schumacherbauten 1920-30er	42	40	37	25

## Energieerzeugung

Auch im Bereich der Energieerzeugung wird es zu Effizienzsteigerungen kommen. Für das Modellgebiet betrifft dies in erster Linie die Erzeugung erneuerbarer Energien. Die Effizienzsteigerung kann in den Szenarien berücksichtigt werden, indem alte Anlagen durch neue, effizientere ersetzt werden. In der Modellierung ergibt sich die Effizienz einer neuen Anlage  $\eta_N$  aus der Effizienz der Altanlage  $\eta_A$  plus einem Effizienzzuschlag  $\eta_\Delta$ , der nach dem Ablauf der Betriebsdauer der Altanlage zu berücksichtigen ist:

$$\eta_N = \eta_A + \eta_\Delta$$

Zu potenziellen Effizienzsteigerungen von erneuerbaren Energien liegen jedoch kaum Informationen vor. In Tabelle 15 sind für die im Modellraum relevanten Technologien die angenommenen Effizienzsteigerungen dargestellt.

In der Modellierung wird aufgrund der weitgehend unsicheren Datenlage nur der Effizienzaufschlag bei Photovoltaik berücksichtigt. Der Anteil der Photovoltaik an der erneuerbaren Stromerzeugung ist allerdings beträchtlich, insbesondere der flächig über die Gebäudehüllen im Stadtraum erzeugte.

Es wird davon ausgegangen, dass bis zum Prognosehorizont alle PV-Anlagen mindestens einmal erneuert werden. Unter Berücksichtigung einer Betriebsdauer von 20-30 Jahren wird die Erneuerung der Anlagen in den 2030-2040er Jahren stattfinden. Die Effizienz der PV-Module der 2030er Generation ist um etwa 25%, die der 2040er Generation um etwa 40% höher als heute. Vereinfachend wird im Modell im Zeitschnitt 2050 mit einer Erhöhung der Effizienz der PV-Module im Vergleich zu heute um 30% ausgegangen.

**Tab. 15 Effizienzsteigerungen bei regenerativen Energien bis zum Jahr 2050.**

Technologie	Betriebsdauer in Jahren <sup>1</sup>	Parameter	Veränderung		Effizienzaufschlag <sup>2</sup>
			2000	2050	2050
Photovoltaik	20-30	Wirkungsgrad	11-15%	20-22% <sup>3</sup>	30%
Windkraft	15-25	Wirkungsgrad	30-40%	n.b. <sup>7</sup>	v. <sup>8</sup>
Sonnenkollektoren	15-25	Wirkungsgrad	25-40%	n.b. <sup>7</sup>	v. <sup>8</sup>
Wärmepumpen <sup>4</sup>	15-20	Jahresarbeitszahl	2,5-4,0	n.b. <sup>7</sup>	v. <sup>8</sup>
Biogas <sup>5</sup>	20-30	Wirkungsgrad	50-60%	n.b. <sup>7</sup>	v. <sup>8</sup>
Biomasse <sup>6</sup>	20-30	Wirkungsgrad	50-60%	n.b. <sup>7</sup>	v. <sup>8</sup>

<sup>1</sup>Typische Werte; <sup>2</sup>konservative Schätzung; <sup>3</sup>Angaben des UBA (2009), unveröffentlicht; <sup>4</sup>für Erdwärmesonden und Abwasserwärmehückgewinnung; <sup>5</sup>Kraft-Wärme-gekoppelte Anlagen der Biogasverbrennung; <sup>6</sup> Kraft-Wärme-gekoppelte Anlagen der Biomasseverbrennung; <sup>7</sup> nicht bekannt; <sup>8</sup>Effizienzaufschlag wird vernachlässigt (nicht im Modell berücksichtigt).

## Überblick

In dieser Studie wird die Abschätzung des Energiebedarfes **stadtraumspezifisch** vorgenommen. Dabei handelt es sich um einen **flächenbezogenen** Ansatz, der die verwirklichten städtebaulichen Leitbilder und somit auch die historische Entwicklung der Stadträume berücksichtigt. Danach ist zur Ermittlung des jährlichen Energiebedarfes eines Hektars Stadtraum die Bestimmung stadraumtypischer Energiebezugsflächen  $A_{E,i}$  erforderlich. Es ist notwendig, das Maß der baulichen Nutzung und die stadraumtypischen Energiebezugsflächen zu ermitteln.

Der Bezug von Energie unterliegt **Bedarfschwankungen**. Je nach Energieart sind diese als stündliche, tägliche oder saisonale Schwankungen im Modell zu berücksichtigen. Langfristig beeinflusst auch der **Klimawandel** den Energiebedarf.

Aufgrund charakteristischer Energiebedarfswerte lässt sich der aktuelle Energiebedarf im Modellraum ermitteln. Die Prognose des langfristigen Energiebedarfes beruht auf Annahmen und Extrapolationen aktueller Werte. In dieser Studie wird anhand der Raumtypisierung eine **räumliche Prognose** des Energiebedarfes bis zum Prognosehorizont erstellt.

## Energiebezugsflächen

Nach der Baunutzungsverordnung (BauNVO 1993) wird das Maß der baulichen Nutzung über die Grundflächenzahl und die Geschossflächenzahl begrenzt (§ 16, § 17). Die Grundflächenzahl **GRZ** gibt an, wieviel Quadratmeter der Grundstücksfläche bebaut und versiegelt werden dürfen, wogegen die Geschossflächenzahl **GFZ** angibt, wieviel Quadratmeter Geschossfläche je Quadratmeter Grundstücksfläche zulässig sind (BauNVO § 20 Abs. 2). Bei einem Grundstück von 1.000 Quadratmetern, einer **GRZ** von 0,4 und **GFZ** von 0,8 dürfen 400 Quadratmeter bebaut und 800 Quadratmeter Geschossfläche gebaut werden. Das Nettobauland  $NBL_i$  eines Stadtraumes  $i$  ergibt sich aus dem Bruttobauland  $BBL_i$ , abzüglich des Anteils

der Gemeinbedarfsflächen  $f_{G,i}$  (Verkehrsflächen, öffentliche Parkplätze und Grünflächen)

$$NBL_i = BBL_i (1 - f_{G,i})$$

Daraus lässt sich über die stadraumtypische Geschossflächenzahl  $GFZ_i$  ein Schätzwert für die Energiebezugsfläche pro Stadtraum  $A_{E,i}$  herleiten

$$A_{E,i} = GFZ_i \cdot NBL_i \cdot (1 - f_{0,i})$$

mit  $f_{0,i}$  als Abschlag für nicht zu beheizende oder zu klimatisierende Geschossflächen. Anhaltswerte für nicht Energie verbrauchende Geschossflächen finden sich in der VDI-Richtlinie 3807 (Blatt 1 Tabelle 3). Danach liegt der Abschlag in einer Größenordnung von 10-45%.

Die so ermittelten Energiebezugsflächen entsprechen näherungsweise den Bruttogeschossflächen BGF von Gebäuden abzüglich nicht energieverSORgter Gebäudeflächen im Sinne der VDI-Richtlinie 3807 (Blatt 1, Abschnitt 3.4.2) bzw. der Gebäudenutzflächen (für Wohngebäude) und Nettogeschossflächen (für Nichtwohngebäude) im Sinne der novellierten Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) (Anlage 1, 1.3.3 und Anlage 2, 1.2). In Tabelle 16 sind die mittleren Geschossflächenzahlen und die sich daraus ergebenden Energiebezugsflächen für alle Stadraumtypen im Referenzszenario zusammengestellt. Tabelle 17 bildet die mittleren Geschossflächenzahlen und die sich daraus ergebenden Energiebezugsflächen für das Exzellenzszenario ab.

Die stadtraumspezifisch ermittelten Energiebezugsflächen ( $A_{E,i}$ ) sind eine Funktion des Bruttobaulands, des Nettobaulands, der Geschossflächenzahl und verschiedener Abschläge. Zur Bestimmung des Nettobaulandes wird der Gemeinbedarf mit pauschal einem Fünftel des Bruttobaulands angenommen ( $f_{G,i} = 0,2$ ). Der Abschlag für nicht Energie verbrauchende Geschossflächen wird ebenfalls mit einem Fünftel angenommen ( $f_{0,i} = 0,2$ ). Die Geschossflächenzahlen  $GFZ_i$  werden in Anlehnung an die Baunutzungsverordnung (BauNV § 17) und Angaben von Everding (2007) festgelegt.



**Tab. 16 Geschossflächenzahlen und Energiebezugsflächen im IBA-Modellraum im Referenzszenario in den Zeitschnitten 2007 bis 2050.**

Nutzung	SRT <sup>1</sup>	Stadtraumtypen	Geschoss- flächenzahlen GFZ <sup>2</sup>	Energiebezugsflächen A <sub>E</sub> <sup>3</sup> in ha				
				2007	2013	2020	2050	
Mischnutzung	I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	1,20	0,12	0,12	0,12	0,12	
	Ila	Baublöcke Gründerzeit < 1938	2,00	12,39	12,32	12,03	12,03	
	Ilb	Nachahmerbauten Stil Ila > 1990	2,00 <sup>4</sup>	2,99	2,99	2,99	2,99	
	Ilc	Villen der Gründerzeit < 1938	0,30 <sup>4</sup>	0,46	0,46	0,46	0,46	
	III	Wiederaufbau 1950er	2,00	9,76	9,61	9,52	9,52	
Wohnen	IV	Dörflich-kleinteilig	0,30 <sup>4</sup>	5,83	5,83	5,83	5,61	
	V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	1,00	17,55	17,44	17,44	17,44	
	VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	0,50	3,03	3,03	3,03	3,03	
	VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	1,30	23,94	23,94	23,94	23,94	
	VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	0,80	17,45	17,45	17,45	17,45	
	VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	0,80	0,72	0,72	0,72	0,72	
	VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	0,80 <sup>4</sup>	0,00	2,57	2,57	2,57	
	VIIIc+	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie P-Haus-Standard	0,80 <sup>4</sup>	0,00	0,00	15,49	23,91	
	IXa	Einfamilienhäuser > 1950	0,35	39,50	38,66	38,46	37,66	
	IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	0,35 <sup>4</sup>	0,53	3,56	3,56	3,56	
	IXb+	Einfamilienhäuser P-Haus-Standard	0,35 <sup>4</sup>	0,00	0,00	2,79	17,89	
	Gewerbe (reines)	Xa	Gewerbe	1,00	68,18	68,44	114,05	146,27
		Xa+	Gewerbe P-Haus-Standard	1,00 <sup>4</sup>	0,00	0,00	0,47	0,47
Industrie	Xb	Industrie + Hafen	1,00 <sup>4</sup>	419,68	417,36	430,37	390,30	
Zweckbauten	Xc	Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	2,00	106,87	106,29	98,68	96,44	
	Xc+	Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen P-Haus-Standard	2,00 <sup>4</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	
Gewerbe I-IV	Xd	Gewerbe in Mischgebieten	1,11 <sup>5</sup>	10,51	10,44	10,31	10,24	
Sondertypen	S1	Schumacherbauten 1920-30er	2,00 <sup>4</sup>	8,77	8,77	8,77	8,77	
<b>Summe</b>				<b>748,28</b>	<b>750,00</b>	<b>819,05</b>	<b>831,39</b>	

<sup>1</sup>Stadtraumtyp; <sup>2</sup>mittlere Geschossflächenzahl (GFZ) angelehnt an Angaben aus der Baunutzungsverordnung BauNV (§17) und Everding (2007); <sup>3</sup>Energiebezugsfläche in Hektar pro Stadtraumtyp; <sup>4</sup>gewichtetes Mittel aus den SRT I-IV (Wichtung über Bruttogrundfläche).

**Tab. 17 Geschossflächenzahlen und Energiebezugsflächen im IBA-Modellraum im Exzellenzscenario in den Zeitschnitten 2007 bis 2050.**

Nutzung	SRT <sup>1</sup>	Stadtraumtypen	Geschoss- flächenzahlen GFZ <sup>2</sup>	Energiebezugsflächen A <sub>E</sub> <sup>3</sup> in ha			
				2007	2013	2020	2050
Mischnutzung	I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	1,20	0,12	0,12	0,12	0,12
	Ila	Baublöcke Gründerzeit < 1938	2,00	12,39	12,32	12,02	12,02
	Ilb	Nachahmerbauten Stil Ila > 1990	2,00 <sup>4</sup>	2,99	2,99	2,99	2,99
	Ilc	Villen der Gründerzeit < 1938	0,30 <sup>4</sup>	0,46	0,46	0,46	0,46
	III	Wiederaufbau 1950er	2,00	9,76	9,61	9,52	9,52
	IV	Dörflich-kleinteilig	0,30 <sup>4</sup>	5,83	5,83	5,83	5,61
Wohnen	V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	1,00	17,55	17,39	17,39	17,39
	VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	0,50	3,03	3,03	3,03	3,03
	VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	1,30	23,94	23,32	23,08	23,07
	VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	0,80	17,45	17,06	17,05	16,88
	VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	0,80	0,72	0,72	0,72	0,72
	VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrig- energie	0,80 <sup>4</sup>	0,00	0,63	0,63	0,63
	VIIIc+	Geschosswohnungsbau Niedrigener- gie P-Haus-Standard	0,80 <sup>4</sup>	0,00	5,39	26,48	42,63
	IXa	Einfamilienhäuser > 1950	0,35	39,50	39,18	38,44	37,45
	IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	0,35 <sup>4</sup>	0,53	1,32	1,32	1,32
	IXb+	Einfamilienhäuser P-Haus-Standard	0,35 <sup>4</sup>	0,00	1,24	3,47	11,49
Gewerbe (reines)	Xa	Gewerbe	1,00	68,18	76,69	132,83	187,01
	Xa+	Gewerbe P-Haus-Standard	1,00 <sup>4</sup>	0,00	3,19	3,19	3,19
Industrie	Xb	Industrie + Hafen	1,00 <sup>4</sup>	419,68	416,47	421,36	360,42
Zweckbauten	Xc	Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	2,00	106,87	97,69	88,28	85,70
	Xc+	Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen P-Haus-Standard	2,00 <sup>4</sup>	0,00	4,84	4,84	4,84
Gewerbe I-IV	Xd	Gewerbe in Mischgebieten	1,11 <sup>5</sup>	10,51	10,44	10,31	10,24
Sondertypen	S1	Schumacherbauten 1920-30er	2,00 <sup>4</sup>	8,77	8,77	8,77	8,77
<b>Summe</b>				<b>748,28</b>	<b>758,70</b>	<b>832,13</b>	<b>845,50</b>

<sup>1</sup>Stadtraumtyp; <sup>2</sup>mittlere Geschossflächenzahl (GFZ) angelehnt an Angaben aus der Baunutzungsverordnung BauNV (§17) und Everding (2007); <sup>3</sup>Energiebezugsfläche in Hektar pro Stadtraumtyp; <sup>4</sup>geschätzt; <sup>5</sup>gewichtetes Mittel aus den SRT I-IV (Wichtung über Bruttogrundfläche).

## Energiebedarfsschwankungen

Die Energiebedarfe aller Energieparteien unterliegen Schwankungen. Diese Bedarfsschwankungen treten saisonal, wöchentlich und täglich auf und betreffen die

- Strom-
- Heizwärme- und
- Warmwasserversorgung.

Die Bedarfsschwankungen beim **Strom** können für alle Energieparteien über das Netz kompensiert werden und werden in dieser Studie nicht berücksichtigt.

Schwieriger ist die Modellierung der Wärmebedarfsschwankungen, die in der Berechnung des Wärmebedarfes berücksichtigt werden. Für die Modellierung des saisonalen **Heizwärmebedarfes** werden die Heiztage des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und die für Hamburg geltenden Grad-

tagszahlen zugrunde gelegt (Tab. 18). Auf dieser Grundlage lässt sich der normierte Heizwärmebedarf für jeden Heizmonat abschätzen.

Der im folgenden Abschnitt beschriebene **Klimawandel** wurde im Modell berücksichtigt, indem die Gradtagszahlen angepasst wurden. Die Gradtagszahlen ergeben sich nach der VDI-Richtlinie 2067 (Raumheizung: Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen) zu

$$G_{T_{20/15}} = \sum_1^z (T_i - T_a)$$

mit  $G_{T_{20/15}}$  als Gradtagzahl für einen Monat bei einer gewünschten Raumtemperatur (Innentemperatur)  $T_i$  von 20°C und einer mittleren Außentemperatur  $T_a$  eines Heiztages.  $z$  entspricht der Anzahl der meteorologischen Heiztage, bei denen die Außentemperatur unter der Heizgrenztemperatur liegt, die mit 15°C angenommen wird.

**Tab. 18** Mittlere Tagesmitteltemperatur, Heiztage und Gradtagszahlen der Station Hamburg Fuhsbüttel 2007 sowie für 2050 angepasste Gradtagszahlen (Beispiel). Normierter Warmwasser- und Heizwärmebedarf.

Monat	Mittlere Tagesmitteltemperatur <sup>1</sup> °C	Heiztage <sup>1</sup> d	$G_{20/15}$ <sup>1,2</sup> Kd <sup>4</sup>	$G_{20/15}$ <sup>3</sup> Kd <sup>4</sup>	Normierter Warmwasserbedarf (dimensionsfrei)	Normierter Heizwärmebedarf (dimensionsfrei)
Januar	1,38	31	577	553	0,09	0,16
Februar	1,83	28	513	491	0,09	0,14
März	4,39	31	484	460	0,09	0,13
April	8,02	29	356	333	0,09	0,09
Mai	12,73	23	204	186	0,09	0,05
Juni	15,62	14	103	92	0,08	0,03
Juli	17,61	8	47	41	0,06	0,01
August	17,37	7	45	39	0,07	0,01
September	13,75	21	160	143	0,08	0,04
Oktober	9,59	29	317	294	0,08	0,08
November	5,29	30	441	418	0,09	0,12
Dezember	2,58	31	540	516	0,09	0,14

<sup>1</sup>langjähriges Mittel des Deutschen Wetterdienstes (1970-2008); <sup>2</sup>Gradtagszahlen für eine Raumtemperatur von 20°C und eine Heizgrenztemperatur von 15°C; <sup>3</sup>an den Klimawandel angepasste Gradtagszahlen (Beispiel für 2050). <sup>4</sup> Kelvin-Tag.

Mit dem Klimawandel verändern sich nun die mittleren Außentemperaturen. Es gilt somit

$$G_{T_{20/15}} = \sum_1^z [T_i - (T_a + \Delta T)]$$

mit  $\Delta T$  als mittlerer Temperaturanstieg, wobei vereinfachend angenommen wird, dass die Änderung der Temperatur im Mittel unabhängig von der Jahreszeit ist. In den Modellrechnungen werden die zukünftig zu erwartenden Gradtagszahlen entsprechend angepasst.

Für die Modellierung der Schwankungen des Warmwasserbedarfes werden die Angaben aus der VDI-Richtlinie 6002 zugrunde gelegt (normierter täglicher Warmwasserbedarf je Vollbelegungsperson im Mittel des Monats). Dabei werden auch Ferienperioden mit berücksichtigt (Abb. 16, Tab. 18).

Die saisonalen Schwankungen erfordern eine Einstellung flächenbezogener Optionen der Wärmebereitstellung an die Außentemperaturen. Ziel ist dabei, eine Überbemessung bestimmter Komponenten zu vermeiden.

Saisonale Schwankungen komplizieren die zeitliche und räumliche Harmonisierung von Energiebedarf und Energieproduktion. Dies trifft ins-

besondere für die Wärmebereitstellung zu. Durch eine geschickte Kombination von Optionen der flächenbezogenen Wärmebereitstellung können Bedarfsschwankungen ausgeglichen werden, soweit diese nicht zu unwirtschaftlichen Lösungen führen.

## Klimawandel

Die Untersuchungen des Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC zeigen, dass sich zur Zeit ein anthropogen verursachter Klimawandel vollzieht (IPCC 2007). Dieser geht einher mit einer globalen Erwärmung, dem Abschmelzen der Gletscher und Polkappen, dem Anstieg des Meeresspiegels und extremen Wetterereignissen. Im Greenpeace-Report (Greenpeace 2009b) sind die zu erwartenden ökologischen Folgen des Klimawandels dargestellt. Im Stern-Report (Stern 2006) werden die volkswirtschaftlichen Schäden und Kosten durch den Klimawandel beschrieben. Um eine Stabilisierung und Reduktion der Treibhausgase zu erreichen sind erhebliche Anstrengungen nötig, die sich insbesondere auf die Reduktion des Energieverbrauches und den Ersatz fossil-nuklearer Energien durch regenerative Energien beziehen. Dabei nehmen die Städte eine Schlüsselrolle ein.

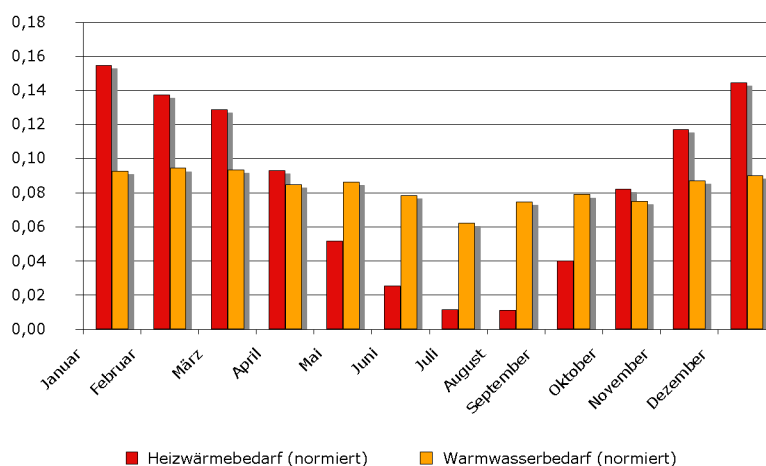


Abb. 16 Saisonale Schwankungen des normierten Heizwärme- und Warmwasserbedarfes (rot/orange) im Modellgebiet (nach Angaben des DWD und VDI Richtlinie 6002).

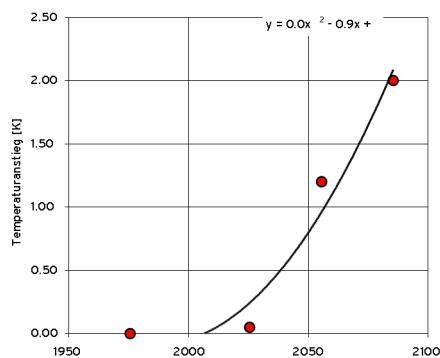


Abb. 17 Für die Modellierung angenommene Temperatursteigerung (optimistisches Szenario) für die Metropolregion Hamburg nach Daten des Norddeutschen Klimabüros (Norddeutsches-Klimabüro 2009).

Sie müssen sich von Treibhausgasquellen und Energiesenken zu Treibhausgassenken und Energiequellen entwickeln.

Die Experten des IPCC fordern, dass der CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre 450 ppm nicht überschreiten darf, sollen die nächsten 30 Generationen - solange dauert es, bis sich das Klima wieder stabilisiert - von den ärgsten Folgen des Klimawandels verschont werden. Als internationale Zielmarke wird eine Begrenzung des durchschnittlichen Temperaturanstiegs auf 2 Grad angestrebt. Aufgrund neuerer Untersuchungen wird sogar eine Beschränkung auf 1,5 Grad und eine Reduktion der Treibhausgasemissionen auf Null bis zur Mitte des Jahrhunderts gefordert (Greenpeace 2009a). Auf der internationalen Klimakonferenz im Dezember 2009 in Kopenhagen wiesen Forschergruppen aus der ganzen Welt nach, dass die Prognosen des IPCC zutreffen und zum Teil schon - im negativen Sinne - übertroffen wurden.

Der Norddeutsche Klimaatlas des Norddeutschen Klimabüros (Norddeutsches-Klimabüro 2009) zeigt für die nächsten Jahrzehnte einen Anstieg der Temperaturen für die Metropolregion Hamburg. Abbildung 17 zeigt die mittlere Prognose mit einem Temperaturanstieg von einem Grad bis 2050.

Dargestellt ist das (gewählte) optimistische Szenario. Es wird angenommen, dass im optimistischen Szenario die durchschnittliche Temperatur bis 2050 um ca. 1 Grad Celsius steigt.

## Aktueller Endenergiebedarf

Der aktuelle **Heizwärmebedarf**  $E'_{VH,i}$  pro Stadtraum wird durch Multiplikation der stadtraumspezifischen Energiebezugsfläche  $A_{E,i}$  mit dem durchschnittlichen stadtraumspezifischen Heizwärmebedarf  $e'_{VH,i}$  berechnet.

$$E'_{VH,i} = A_{E,i} \cdot e'_{VH,i}$$

Die **Heizenergiebedarfsdichte**  $d'_{VH,i}$  als auf den Hektar Stadtraum bezogener Heizenergiebedarf folgt aus dem Heizenergiebedarf pro Stadtraum  $E'_{VH,i}$  und der Fläche des Stadtraumes  $A_{SR,i}$ :

$$d'_{VH,i} = E'_{VH,i} / A_{SR,i}$$

Der **Warmwasserbedarf**  $e'_{VW,i}$  (Energiebedarf zur Bereitstellung von Warmwasser) pro Stadtraum ergibt sich aus dem Warmwasserverbrauch aller Einwohner eines Stadtraumes:

$$e'_{VW,i} = (V_{W,EW} \cdot EW_{SR,i}) / A_{E,i}$$

Über die Anzahl der Einwohner pro Stadtraumtyp  $EW_{SR,i}$  und die Fläche des Stadtraumes  $A_{SR,i}$  lässt sich auch die **Warmwasserbedarfsdichte**  $d'_{VW,i}$

$$d'_{VW,i} = (V_{W,EW} \cdot EW_{SR,i}) / A_{SR,i}$$

bestimmen.

Der Heizwärme- und Warmwasserbedarf wird durch verschiedene Energieträger (Heizöl, Gas, Kohle, Holz, u.a.) und zum Teil auch über Strom oder Fernwärme gedeckt. Der Untersuchungsraum ist allerdings nicht an das Hamburger Fernwärmenetz angeschlossen, es existiert lediglich ein relativ kleines Inselnetz im Bereich der Wohnsiedlung der SAGA im Süden von Wilhelmsburg (südlich Neuenfelder Straße, Schwentnerring).

Der aktuelle **Strombedarf**  $d'_{VS,i}$  ist nach VDI 3607 (Blatt 2) eine Funktion der Haushaltsgröße, die bereits abgeschätzt wurde, um den stadtraumspezifischen Strombedarf  $e'_{VS,i}$  pro Energiebezugsfläche zu bestimmen. Für GHD erfolgt hierzu eine

gesonderte Betrachtung (Anhang B). Die Strombedarfsdichte ergibt sich aus dem gesamten Strombedarf eines Stadtraumes geteilt durch die Fläche des Stadtraumes

$$d'_{VH,i} = E'_{VH,i} / A_{SR,i}.$$

In Abbildung 18 wird der aktuelle stadtraumspezifische Heizwärmebedarf (2007) dargestellt, der auf der Grundlage der Hamburger Gebäudetypologie (BSU 2010), der ausgestellten Energiepässe (IBA-Projekt Prima Klima-Anlage), Angaben von Everding (2007) sowie einer Auswertung von Gasverbrauchsmessungen (siehe Anlage C) abgeschätzt wurde (vgl. Abschnitt Heizwärmebedarf)

Wie aus Abbildung 18 ersichtlich, liegt der größte Heizwärmebedarf bei den Zweckbauten (Xc), gefolgt von Gewerbe (Xa) und Einfamilienhäusern (IX).

Der aktuelle Energiebedarf ist in den Karten 5 und 6 dargestellt. Dieser gilt gleichermaßen für das Referenz- und Exzellenzscenario.

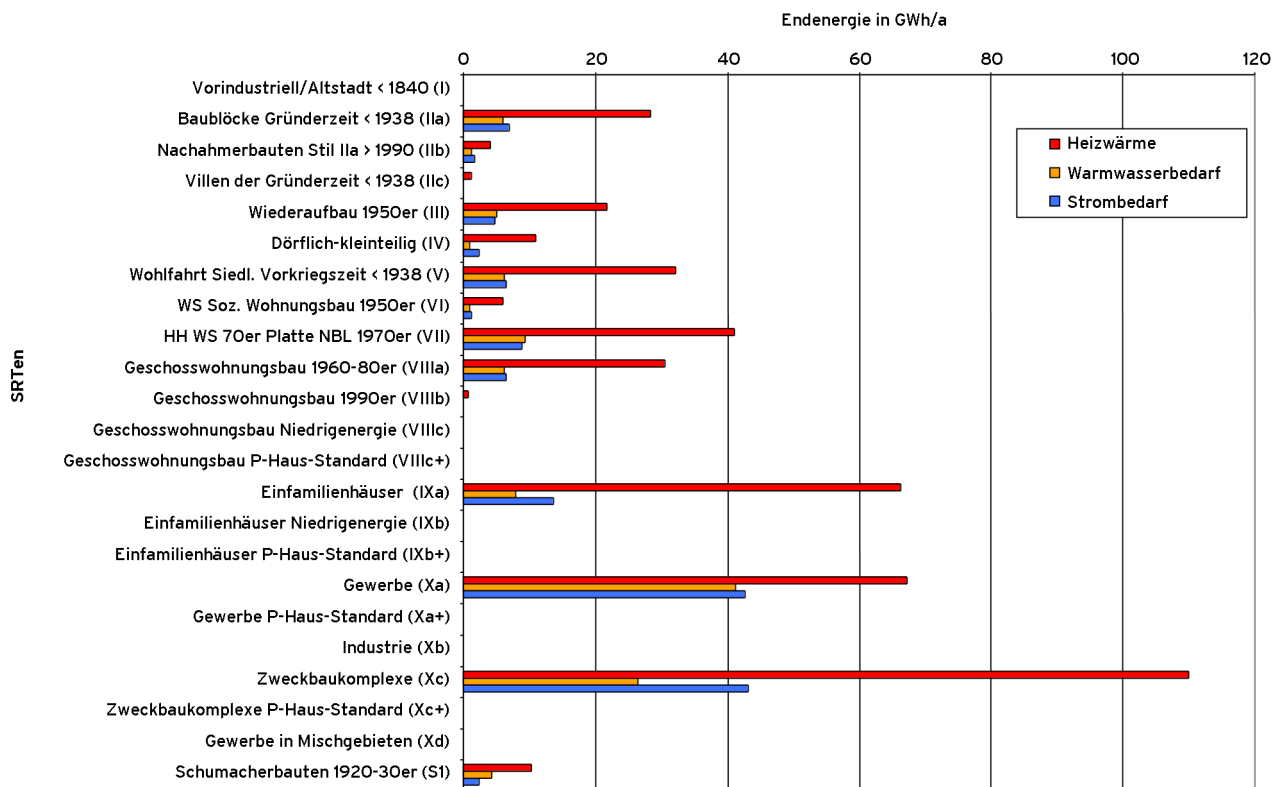
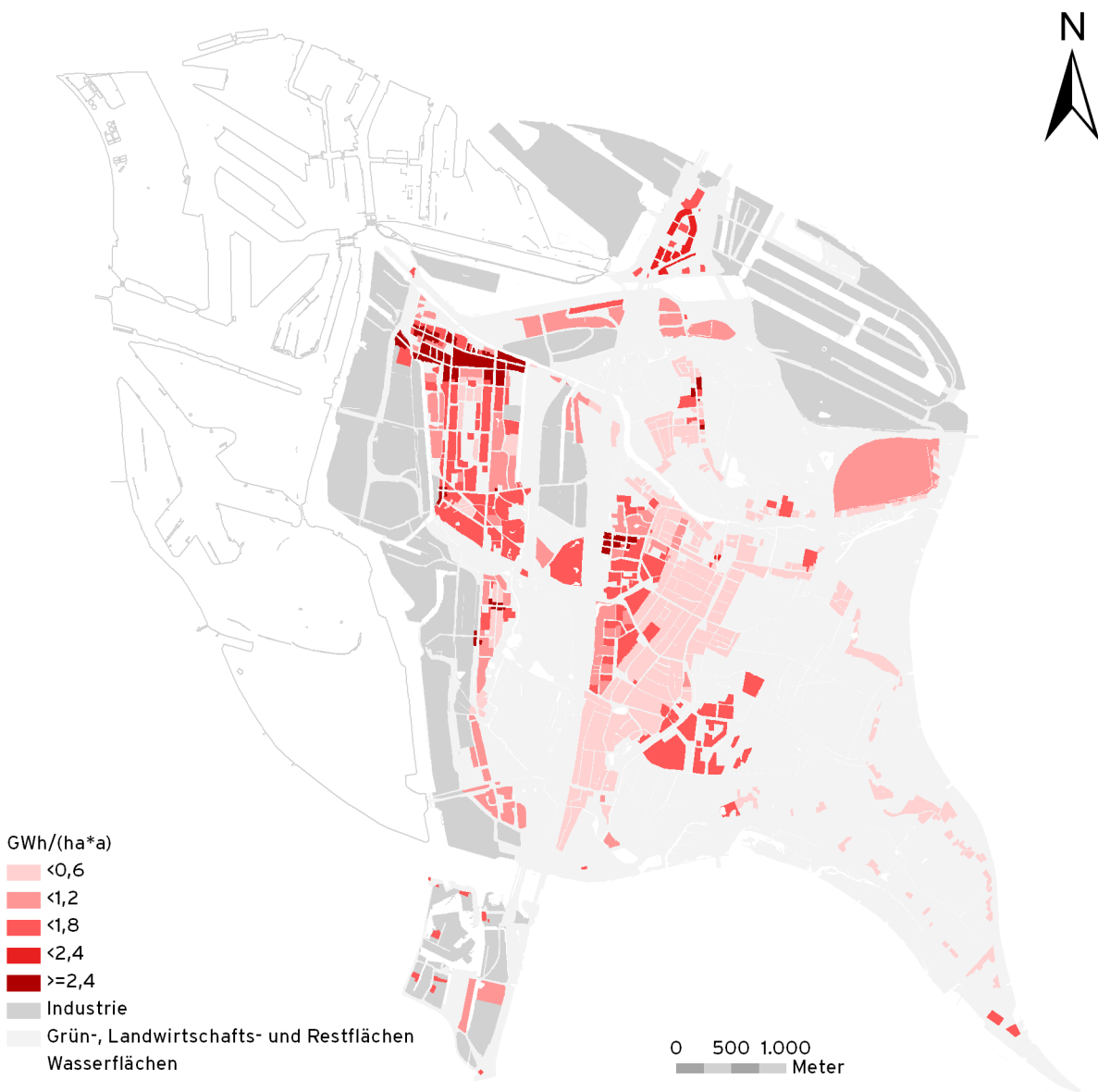


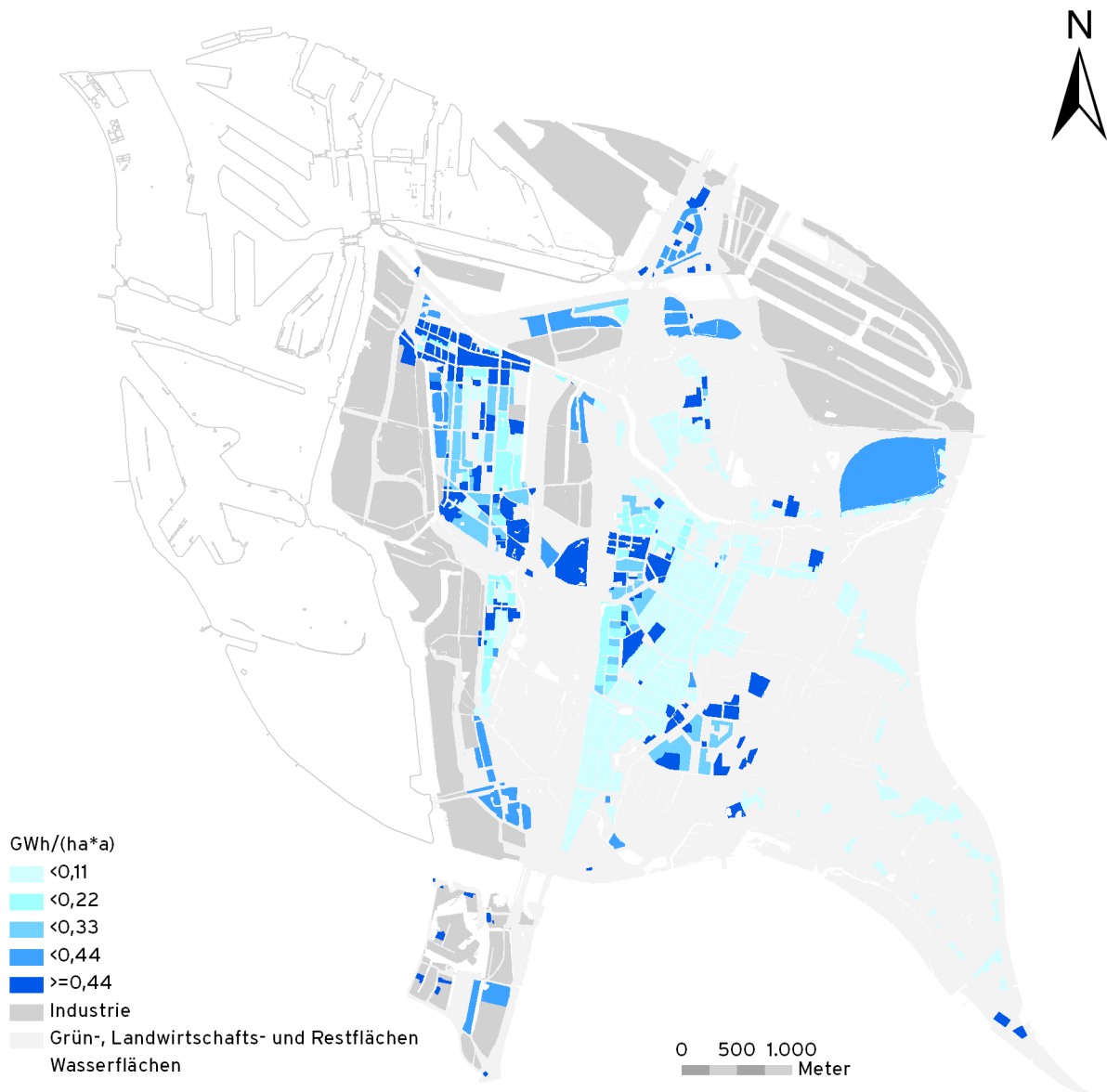
Abb. 18 Aktueller Heizwärme-, Warmwasser- und Strombedarf (2007) nach Stadtraumtypen.



Karte 5

Aktueller Wärme- und Warmwasserbedarf für die Energieparteien Haushalte und GHD (2007) (inklusive Prozesswärme für GHD) im IBA-Modellraum.





Karte 6

Aktueller Strombedarf der Energieparteien Haushalte und GHD im IBA-Modellraum (2007).

## Zukünftiger Endenergiebedarf

Unter Berücksichtigung der Effizienzsteigerungen, insbesondere der Annahmen zu den Sanierungs- und -tiefen und den sich daraus ergebenden Abnahmeraten (Abschnitt Energieeffizienz) ergibt sich für das Ensemble der Stadtraumtypen der **zukünftige Heizwärme- und Strombedarf**.

Dabei ergeben sich für die verschiedenen IBA-Szenarien unterschiedliche Trends, die in den Abbildungen 19 bis 26 dargestellt sind.

Im Anhang A befindet sich eine Kartenserie (Karten 13 bis 22) zur Darstellung der Entwicklung der Endenergiebedarfe in den Zeitschnitten für beide Grundscenarien.

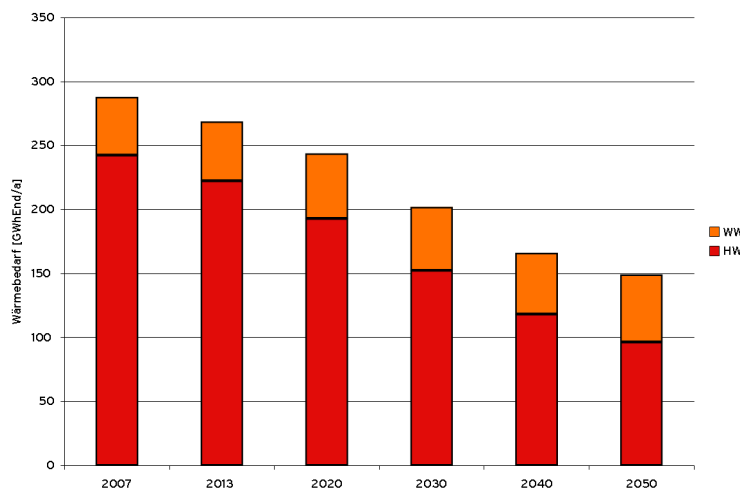


Abb. 19 Entwicklung des thermischen Bedarfes (Endenergie) der Energiepartei Haushalte im Referenzszenario (WW = Warmwasser, HW = Heizwärme).

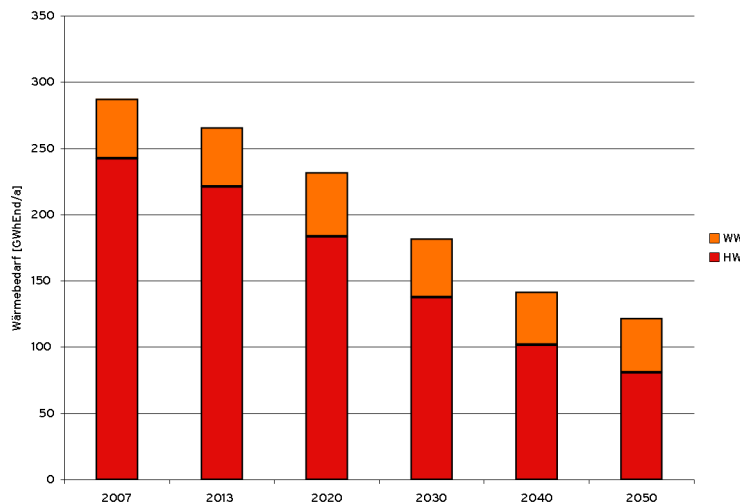


Abb. 20 Entwicklung des thermischen Bedarfes (Endenergie) der Energiepartei Haushalte im Exzellenzszenario (WW = Warmwasser, HW = Heizwärme).

Für alle Szenarien ergibt sich eine absolute Abnahme des thermischen Bedarfes, trotz des deutlichen Einwohnerzuwachses, der sowohl im Referenz- als auch im Exzellenzszenario angenommen wird, wie aus Tabelle 1 und 2 (Abschnitt „Demographische Entwicklung“) ersichtlich ist. Angenommen wird hierbei, dass durch Neubau

auf den Entwicklungsflächen im Referenzszenario ein Bevölkerungszuwachs im Zeitraum von 2007 bis 2050 von ca. 14.000 und im Exzellenzszenario von ca. 18.000 Einwohnern erfolgen wird. Im Exzellenzszenario ist der absolute thermische Energiebedarf für Haushalte im Jahr 2050 trotz des höheren Einwohnerzuwachses von ca. 4.000

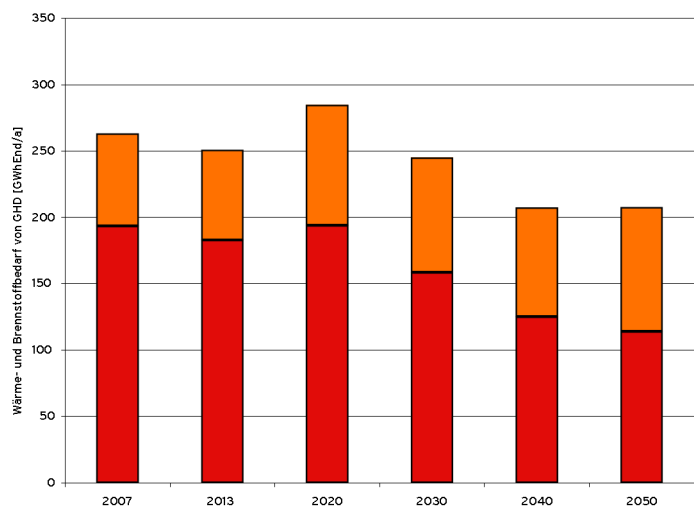


Abb. 21 Entwicklung des thermischen Bedarfes (Endenergie) der Energiepartei GHD im Referenzszenario (WW = Warmwasser, HW = Heizwärme).

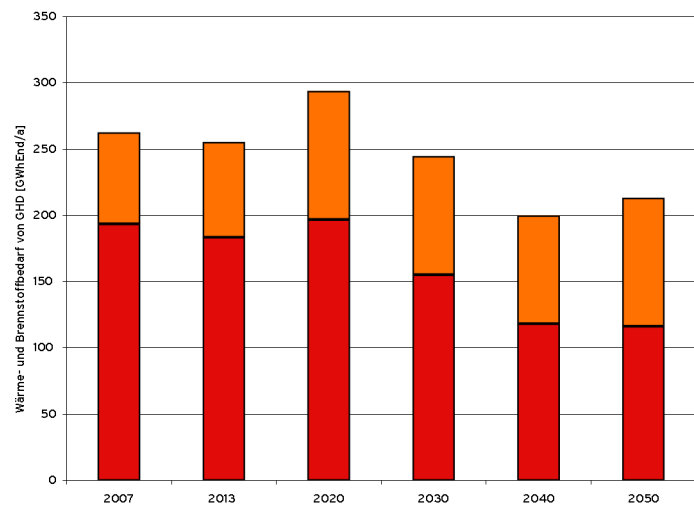


Abb. 22 Entwicklung des thermischen Bedarfes (Endenergie) der Energiepartei GHD im Exzellenzszenario (WW = Warmwasser, HW = Heizwärme).

Einwohnern im Jahr 2050 niedriger als im Referenzszenario. Ursache dafür sind die im Exzellenzszenario angenommenen IBA-Neubauprojekte, die einerseits zeitlich früher niedrigere Heizwärme-standards erreichen, andererseits durch eine höhere Bebauungsdichte gekennzeichnet sind. Im Exzellenzszenario ist der thermische Energiebedarf für GHD im Jahr 2050 ähnlich dem Referenzszenario. Der ersichtliche Anstieg in beiden Kurven in 2020 ist auf die erhebliche Flächenzunahme an Entwicklungsflächen, die ab diesem Zeitpunkt als Gewerbeflächen genutzt werden, zurückzuführen. Bis 2020 wird im Referenzszenario von einer Flächenzunahme für GHD (SRT Xa, Xa+, Xc, Xc+) von ca. 66 ha ausgegangen, im Exzellenzszenario von einer Zunahme von ca. 95 ha.

Der ersichtliche Anstieg in beiden Kurven in 2020 ist auf die erhebliche Flächenzunahme an Entwicklungsflächen, die ab diesem Zeitpunkt als Gewerbeflächen genutzt werden, zurückzuführen. Bis 2020 wird im Referenzszenario von einer Flächenzunahme für GHD (SRT Xa, Xa+, Xc, Xc+) von ca. 66 ha ausgegangen, im Exzellenzszenario von einer Zunahme von ca. 95 ha.

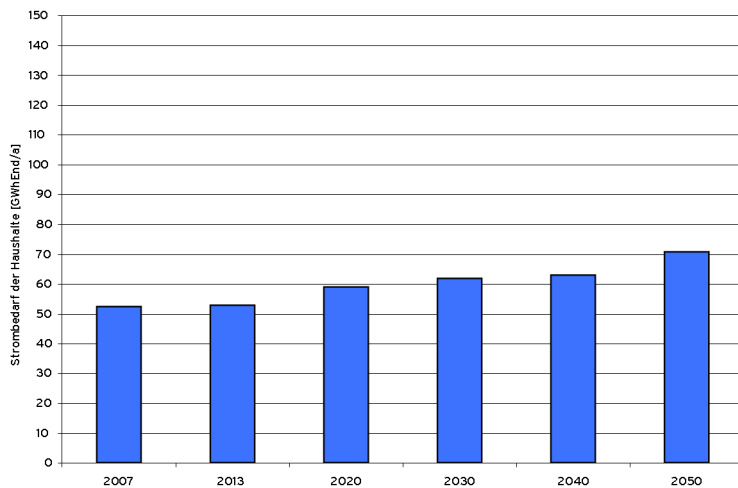


Abb. 23 Entwicklung des elektrischen Bedarfes (Endenergie) der Energiepartei Haushalte im Referenzszenario.

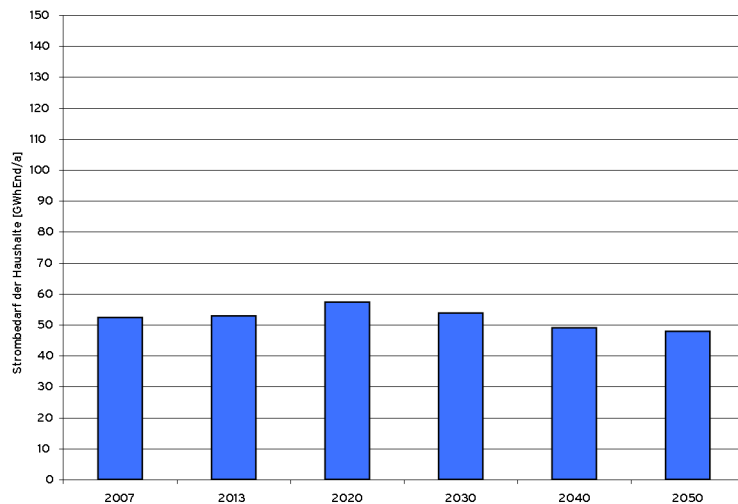


Abb. 24 Entwicklung des elektrischen Bedarfes (Endenergie) der Energiepartei Haushalte im Exzellenzszenario.

Bis zum Jahr 2050 erhöhen sich diese Flächenanteile auf ca. 115 ha im Referenzszenario und auf ca. 178 ha im Exzellenzszenario. Durch die Sanierung des Bestandes und die festgelegten Heizwärme-standards im Neubau kommt es trotz der großen Flächenzunahme durch GHD (60% im Referenzszenario; knappe Verdopplung - 93% der Flächen

im Exzellenzszenario) über den gesamten Zeitraum betrachtet zu einer Verringerung des Energiebedarfes um ca. 50 GWh Endenergie/Jahr. Bei der Prognose des elektrischen Bedarfes der Energiepartei Haushalte im Referenzszenario wird von einem gleich bleibenden Strombedarf ausgegangen. Der ablesbare Anstieg des elektri-

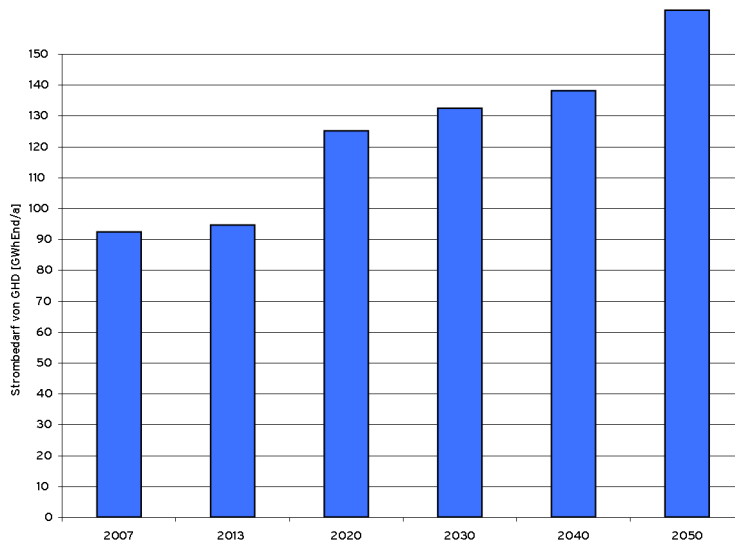


Abb. 25 Entwicklung des elektrischen Bedarfes (Endenergie) der Energiepartei GHD im Referenzszenario.

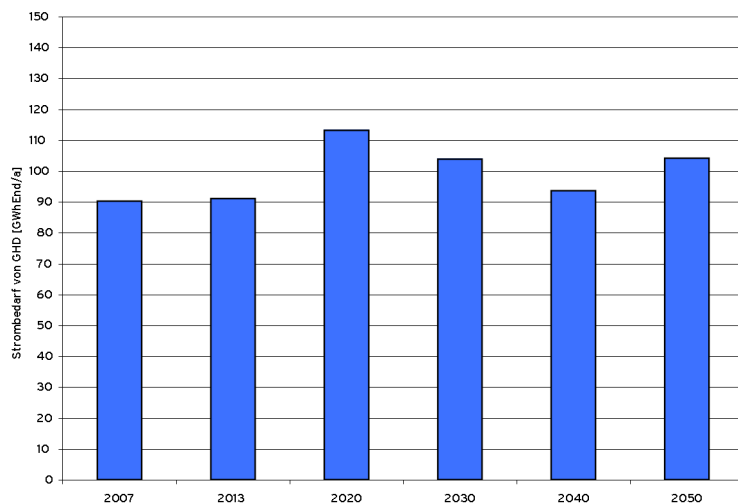


Abb. 26 Entwicklung des elektrischen Bedarfes (Endenergie) der Energiepartei GHD im Exzellenzszenario.

schen Bedarfes ist auch hier auf die flächenmäßige Zunahme - hier insbesondere von Einfamilienhäusern - zurückzuführen.

Auch im Exzellenzscenario gibt es Flächenzuwächse, jedoch werden die daraus folgenden erhöhten Bedarfe durch angenommene Effizienzsteigerungen kompensiert (WWF- Innovationsscenario, vgl. Abschnitt „Strombedarf“).

Bei der Entwicklung des elektrischen Bedarfes (Endenergie) der Energiepartei GHD zeichnet

sich in beiden Szenarien ein ähnlicher Trend wie bei der Energiepartei Haushalte ab. Hierbei ist zu bemerken, dass die Abnahme von 2020 bis 2040 im Exzellenzscenario auf den in Abb. 15 (Abschnitt „Strombedarf“) getroffenen Annahmen des Innovationsscenarios Deutschland-Modell beruht. Diese gehen von einer deutlichen Abnahme des Strombedarfes pro m<sup>2</sup> EBZ aus. Aufgrund der flächenmäßigen Zunahme von Gewerbe- und Zweckbauflächen wird die absolute Abnahme des Strombedarfes nicht eindeutig abgebildet.

# Energiepotenziale

## Überblick

Heute lassen sich mit modernen Technologien erneuerbare Energien in vielfältiger Form und auf sehr effiziente Art und Weise erzeugen. In dieser Studie werden die verschiedenen Optionen der Energieerzeugung vorgestellt und ihr Potenzial ausgelotet. Die Ermittlung der Energieerträge wird stadtraumspezifisch vorgenommen. Grundsätzlich werden nur real nutzbare, im Stadtraum umsetzbare Optionen der erneuerbaren Energieerzeugung untersucht, d.h. es werden keine theoretischen Maximalpotenziale ermittelt.

Um das Spektrum möglicher Potenziale zu systematisieren wird der Grad der Stoffstromintensität und der Flächenrelevanz unterschieden. Zunächst ist zu klären, inwieweit die verschiedenen Optionen größere Stoffströme auslösen, also stoffstromintensiv sind. Die energetische Nutzung von Biomasse ist z.B. stoffstromintensiv, denn sie erfordert einen stofflichen Input (Biomasse) und erzeugt stoffliche Outputs (Biogas, Gärreststoffe oder Aschen). Photovoltaik ist dagegen stoffstromneutral, denn während der Energieerzeugung werden weder Stoffe verarbeitet noch erzeugt.

Ein weiteres grundlegendes Kriterium ist die Flächenrelevanz. Bestimmte Formen der erneuerbaren Energieerzeugung sind flächenneutral, sind im Stadtraum quasi „unsichtbar“. Dies gilt zum Beispiel für Erdwärmesonden oder die Wärmerückgewinnung aus Abwasser. Die Nutzung von Biomasse ist dagegen nicht nur stoffstromintensiv sondern auch flächenrelevant, sobald Biomasse eigens als Energieträger angebaut wird. In diesem Fall werden Flächen für den Anbau erforderlich. Außerdem wird Fläche für die Transformation von Biomasse in Energie verbraucht. Solche Flächen sind üblicherweise im Flächennutzungsplan (FNP) auszuweisen. Flächenrelevante Optionen verbrauchen Fläche, die für andere Nutzungen nicht mehr zur Verfügung steht. Die aktuelle Diskussion um die Flächenkonkurrenz von Nahrungsmittel- und Energieerzeugung zeigt deutlich die gesellschaftliche Dimension dieser Problematik. Die Nutzung von Biomasse ist jedoch nicht zwangsläufig flä-

chenintensiv. Rest- und Abfallstoffe wie zum Beispiel organische Siedlungsabfälle und Grünschnitt aus städtischen Parkanlagen blockieren keine zusätzliche Fläche. Sie sind flächenneutral und haben somit bei der Verwertung von Biomasse einen besonderen Stellenwert.

Optionen, die weder stoffstromintensiv noch flächenrelevant sind, bilden das flächenbezogene Potenzial der Energieerzeugung, das für die unterschiedlichen Stadtraumtypen abgeschätzt wird. Optionen, die entweder stoffstromintensiv und/oder flächenrelevant sind, bilden das punktuelle Potenzial der erneuerbaren urbanen Energieerzeugung, das näher zu ermitteln ist. Es setzt geeignete, im Stadtplanungsprozess relevante Flächen voraus. Ihre Nutzung ist in die städtische Infrastruktur zu integrieren, um den größtmöglichen Effekt zu erzielen. Im Rahmen dieser Studie bilden die geplanten IBA-Projekte im Leitthema „Stadt im Klimawandel“ das punktuelle Potenzial der erneuerbaren Energieerzeugung.

Im IBA-Startjahr dominieren im Modellraum die konventionellen Energien deutlich. Es werden nur Windräder auf der Deponie Georgswerder sowie ein Windrad unmittelbar neben der Deponie betrieben (ca. 13 GWh Strom pro Jahr) und die Deponiegase von der benachbarten Aurubis AG zur regenerativen Wärmebereitstellung genutzt (Angaben IBA- Hamburg 2010) (ca. 5,50 GWh Wärme pro Jahr). Vereinzelt werden kleinere Anlagen der erneuerbaren Energieerzeugung im Modellraum genutzt (kleine PV-Dachanlagen, Solarthermieanlagen), die jedoch kaum ins Gewicht fallen und nicht berücksichtigt werden. Der aktuelle thermische Selbstversorgungsgrad liegt bei etwa einem Prozent, der elektrische liegt unter 10%. Durch den Ausbau der regenerativen Energiepotenziale kann der regionale Selbstversorgungsgrad im Modellraum erheblich erhöht werden.

## Erneuerbare Energien

### Wind

Im Modellraum werden nur Großwindkraftanlagen betrachtet. Kleinwindkraft scheidet aufgrund

der geringen Effizienz, Akzeptanzproblemen und stadträumlicher Beeinträchtigungen aus (BBR/ BBSR & BMVBS 2009).

### Photovoltaik und Solarthermie

Bei der solaren Nutzung werden insbesondere Anlagen berücksichtigt, die in Gebäudehüllen integriert sind. Freiflächenanlagen beanspruchen zusätzlichen Raum und werden daher nur berücksichtigt, wenn sie sich auf anderweitig nicht nutzbarem Gelände – zum Beispiel einem Deponiegelände – befinden.

Für die solare Nutzung ergibt sich der Energieertrag aus der für die Region charakteristischen Einstrahlung, dem Nutzungsgrad der Anlage (der Effizienzverluste und Stillstandszeiten mitberücksichtigt) und der im Stadtraum für die solare Nutzung verfügbaren Fläche. Dabei ist die theoretisch verfügbare Fläche aufgrund urbaner Randbedingungen, insbesondere möglicher Verschattungen und Belangen des Denkmalschutzes, auf ein städtebaulich kompatibles Maß zu reduzieren (BBR/ BBSR & BMVBS 2009). Dieses ergibt sich aus den

**Tab. 19 Stadtraumtypische Solare Gütezahlen nach (Everding 2007), vereinfacht und ergänzt.**

Nutzung	SRT	Stadtraumtypen	Solare Gütezahlen Dach*	Solare Gütezahlen Fassade*
Misch-nutzung	I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	0,136	0,000
	IIa	Baublöcke Gründerzeit < 1938	0,097	0,000
	IIb	Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	0,097	0,000
	IIc	Villen der Gründerzeit < 1938	0,046	0,000
	III	Wiederaufbau 1950er	0,192	0,000
	IV	Dörflich-kleinteilig	0,020	0,000
Wohnen	V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	0,036	0,000
	VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	0,110	0,000
	VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	0,117	0,139
	VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	0,078	0,040
	VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	0,078	0,040
	VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	0,078	0,040
	VIIIc+	Geschosswohnungsbau P-Haus-Standard	0,078	0,040
	IXa	Einfamilienhäuser	0,033	0,009
	IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	0,033	0,009
	IXb+	Einfamilienhäuser P-Haus-Standard	0,033	0,009
Gewerbe	Xa	Gewerbe	0,257	0,053
	Xa+	Gewerbe P-Haus-Standard	0,257	0,053
Industrie	Xb	Industrie + Hafen	0,000	0,000
	Xc	Zweckbaukomplexe	0,121	0,037
Zweckbauten	Xc+	Zweckbaukomplexe P-Haus-Standard	0,121	0,037
	Xd	Gewerbe in Mischgebieten	0,064	0,000
Sondertypen	S1	Schumacherbauten 1920-30er	0,100	0,000

\*Die Angaben zu den solaren Gütezahlen sind dimensionsfrei.



stadtraumtypischen solaren Gütezahlen für Dächer und Fassaden (Everding 2007), die auf das Nettobauland bezogen werden, um die solar nutzbare Fläche zu bestimmen (Tab. 19).

Die Bereitstellung von Wärme ist ortsgebunden, sofern keine Wärmenetze existieren. Da sich Wärme nur mit Verlusten über größere Distanzen transportieren lässt, wird in nicht wärmeversorgten Bereichen zunächst versucht, den Wärmebedarf vollständig dezentral zu decken. Die Einspeisung von Strom ins Stromnetz ist dagegen unabhängig vom Ort der Erzeugung. Aus diesem Grund werden die Potenziale der Stromerzeugung erst nach der Sicherstellung einer nachhaltigen Wärmeversorgung bestimmt.

Da also die solar nutzbare Fläche nicht gleichzeitig solarthermisch und photovoltaisch genutzt werden kann, ist ein Anteilfaktor  $\psi_{pvi}$  zu berücksichtigen. Er bestimmt die Flächenaufteilung für Solarthermie und Photovoltaik.

In dieser Studie wurden die Nutzungsgrade  $\zeta_{pv}$  mit 0,10 und  $\zeta_{st}$  mit 0,35 angenommen. Das Modell lässt sich weiter verfeinern, indem man den Nutzungsgrad als Funktion des Monats definiert, um die saisonalen Schwankungen der Energieerträge zu modellieren.

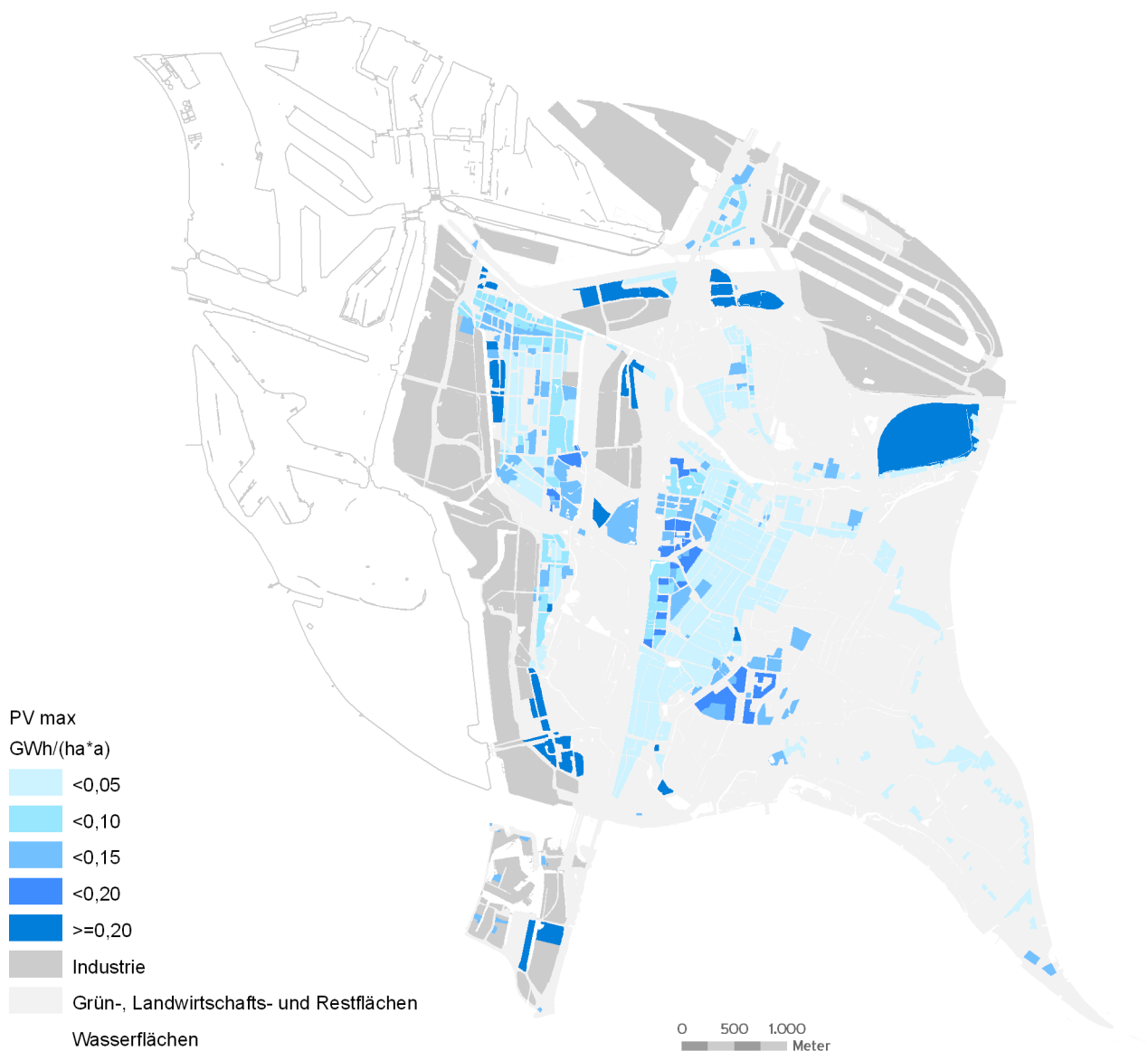
Im Modellraum wird der solarthermische Anteil zunächst zur Deckung des Warmwasserbedarfes genutzt. In der weitgehend heizfreien Periode von Juni bis August wird im Modellraum im Mittel 22% der gesamten Jahresenergie für Warmwasser verbraucht. Diese muss durch die solar verfügbare

Fläche im Stadtraum gedeckt werden, die sich aus den stadtraumtypischen solaren Gütezahlen ergibt. Unter Berücksichtigung des solarthermischen Nutzungsgrads ( $\zeta_{st,i} = 0,35$ ) lässt sich der stadtraumspezifische solarthermische Flächenanteil und die daraus resultierende solarthermische Nutzfläche ermitteln.

Mit diesen Vorgaben entspricht die erforderliche Fläche der Sonnenkollektoren aktuell 2-7% der Energiebezugsfläche, im weitgehend sanierten Gebäudebestand etwa 2-5% der Energiebezugsfläche. In dem am 1. Januar 2009 in Kraft getretenen Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EE-WärmeG) wird ein Anteil von 3-4% empfohlen.

Zu beachten ist, dass in Stadträumen in denen die Warmwasserversorgung durch Wärmenetze oder durch Abwasserwärmerückgewinnung gesichert wird, die gesamte solar nutzbare Fläche photovoltaisch genutzt wird.

Karte 7 zeigt die technisch machbaren Stromerträge aus dach- und fassadengestützten PV-Anlagen bei voller Ausnutzung der solar nutzbaren Fläche, die mit den stadtraumtypischen solaren Gütezahlen bestimmt wird ( $\psi_{pvi} = 1, \psi_{sti} = 0$ ). Aufsummiert beträgt der maximal mögliche, über die Gebäudehüllen erzeugte Strom 107 GWh pro Jahr. Karte 8 zeigt den Wärmeertrag für den Fall, dass alle solar nutzbaren Flächen durch Sonnenkollektoren genutzt würden ( $\psi_{pvi} = 0, \psi_{sti} = 1$ ). Aufsummiert beträgt die maximal mögliche, über die Gebäudehüllen bereitgestellte Wärme 374 GWh pro Jahr.



Karte 7

Maximal mögliche PV-Stromerträge bezogen auf die Stadtraumtypenverteilung im Jahr 2007.



Karte 8

Maximal mögliche Solarthermieerträge bezogen auf die Stadtraumtypenverteilung im Jahr 2007.

### Erdwärmesonden

Der Energieertrag aus Erdwärmesonden ergibt sich aus der machbaren Anzahl von Erdwärmesonden pro Hektar Stadtraum und dem Wärmeertrag pro Erdsonde. Der Wärmeertrag einer Erdsonde ist abhängig von der Einbindelänge der Erdsonde, der bodenspezifischen Entzugsleistung pro Meter und der Jahresarbeitszahl. Darüber hinaus sollte dem Boden nur eine begrenzte Wärmemenge entzogen werden, die nach VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2 100-150 kWh/m, im Mittel also 125 kWh/m beträgt. Für den Modellraum wurden die spezifischen Entzugsleistungen konkret ermittelt, auf die noch eingegangen wird.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die theoretisch mögliche Erdwärmesondendichte aufgrund technischer Randbedingungen wie Behinderungen im Bohrfeld (Bäume, Kanäle, Leitungen, Platzprobleme) und der Gefahr einer thermischen Erschöpfung des Untergrundes eingeschränkt ist. Zur Bestimmung der praktischen Machbarkeit

wird daher ein Abschlagsfaktor  $f_{ES}$  eingeführt, der in dieser Studie mit  $f_{ES} = 0,5$  angenommen wird, d.h. nur die Hälfte der theoretisch machbaren Erdsonden werden technisch ausgeführt.

Die Wärmebereitstellung ergibt sich als Funktion der Anzahl der Erdwärmesonden pro Stadtraum, der Länge der Erdwärmesonden und der bodenspezifischen Entzugsleistung.

Der elektrische Hilfsenergiebedarf zum Betreiben der Wärmepumpen wird in der Energiebilanz mit berücksichtigt. Die Jahresarbeitszahl wird mit 3,5 angenommen. Es wird von 1800 Jahresarbeitsstunden ausgegangen.

Im Modell wird davon ausgegangen, dass ein möglicher Nachheizbedarf im Sommer nicht wärmepumpengestützt stattfindet. Bei der Nutzung der Erdwärme hat dies den positiven ökologischen Effekt der thermischen Erholung des Untergrundes. Die Energie für ein eventuell erforderliches Nachheizen wird vernachlässigt. In den Sommermonaten könnten erdgekoppelte Wärmepumpen (Erd-



Abb. 27 Maximale Dichte vertikaler Erdwärmesonden bei einem thermischen Sicherheitsabstand von mindestens 16m. Die im Modellraum (für die Szenarien) angenommene Dichte entspricht der Hälfte der hier dargestellten Dichte.

wärmesonden) und Abwasserwärmepumpen auch zum Kühlen eingesetzt werden. Dies würde sich insbesondere für den Stadtraumtyp Xc (Zweckbauten und öffentliche Einrichtungen) anbieten. Auf der Grundlage der Auswertung von Luftbil-

dern aus 14 Städten und 39 Stadträumen (FHN 2009) wurden charakteristische, technisch machbare Erdwärmesondendichten pro Stadtraum ermittelt, wobei die Erreichbarkeit mit Bohrgeräten, die Nähe zum Wärmeabnehmer und Min-

**Tab. 20 Charakteristische Dichten vertikaler Erdwärmesonden (maximal mögliche und praktisch machbare) nach Stadtraumtyp.**

Nutzung	SRT		Maximale Erdwärmesondendichte pro ha SRT	praktisch machbar	
Mischnutzung	I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	16	8	
	Ila	Baublöcke Gründerzeit < 1938	24	12	
	Ilb	Nachahmerbauten Stil Ila > 1990	24	12	
	Ilc	Villen der Gründerzeit < 1938	20 <sup>a</sup>	10	
	III	Wiederaufbau/Nachahm. Ila 1950-80er	22	11	
Wohnen	IV	Dörflich-kleinteilig	18	9	
	V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	22	11	
	VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	26	13	
	VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	20	10	
	VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	22	11	
	VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	22	11	
	VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	22	11	
	VIIIc+	Geschosswohnungsbau P-Haus-Standard	22	11	
	IXa	Einfamilienhäuser > 1950	24	12	
	IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	24	12	
	IXb+	Einfamilienhäuser Niedrigenergie P-Haus-Standard	24	12	
	Gewerbe	Xa	Gewerbe	10	5
		Xa+	Gewerbe P-Haus-Standard	10	5
	Industrie	Xb	Industrie + Hafen	10	5
Zweckbauten	Xc	Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	16	8	
	Xc+	Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen P-Haus-Standard	16	8	
Mischgewerbe	Xd	Gewerbe in Mischgebieten	20 <sup>b</sup>	10 <sup>b</sup>	
Sondertypen	S1	Schumacherbauten 1920-30er	24	12	

<sup>a</sup>geschätzt; <sup>b</sup>über die Flächen der Stadtraumtypen I-IV gewichtetes Mittel.

destabstände zur Vermeidung thermischer Überlagerungen von 16 m berücksichtigt wurden. Im Rahmen einer zweiten GIS-gestützten Studie der Forschungsgruppe speziell für den IBA-Modellraum konnten die technisch machbaren Erdwärmesondendichten bis auf wenige Anpassungen bestätigt werden (Abb. 27).

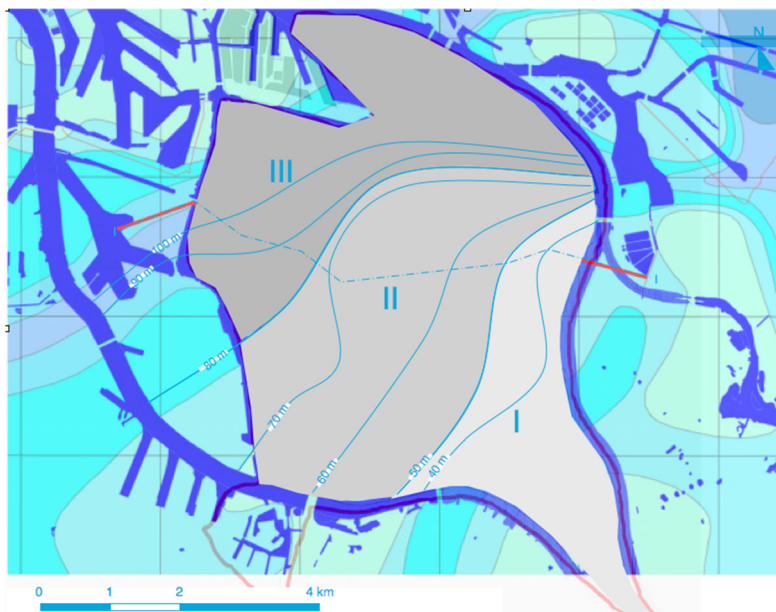
Die im Modellraum gewählten charakteristischen Erdwärmesondendichten sind in Tabelle 20 für alle prototypischen Stadträume aufgeführt.

Im Untersuchungsgebiet ist das Potenzial der Erdwärmesonden aufgrund der speziellen geologischen Bedingungen begrenzt (GLA-Hamburg 2009a). Im Bereich von Wilhelmsburg schneidet eine südost-nordwest streichende Rinne der Elster-Eiszeit bis zu 400 m in die tertiären Sedimente ein. Die Rinnenfüllung wird abgeschlossen durch eine 25-40 m mächtige Schicht undurchlässiger Lauenburger Tone. Diese Schicht darf nicht durchteuft (durchbohrt) werden, da sich darunter ein zur Trink- und Brauchwasserversorgung potenziell genutzter Grundwasserleiter befindet.

Außerhalb des Rinnenbereiches trennen die tertiären Oberen Glimmertone das obere vom unteren Grundwasserstockwerk. Auch diese dürfen nicht durchteuft werden. Im westlichen Teil reichen sie von ca. 60 m bis 130 m tief, im östlichen Teil keilen sie in ca. 30 m u. NN aus.

Erdwärmesonden sollten zur Unterkante der Oberen Glimmertone einen Sicherheitsabstand von etwa 10 m wahren. Das gleiche gilt für die Unterkante der Lauenburger Tone in der elsterzeitlichen Rinne. Daraus folgt eine theoretische Begrenzung der Bohrtiefe für Erdwärmesonden im westlichen Teil der Elbinsel bei 120 m und im Rinnenbereich bei 110 m u. NN.

Ab 100 m unter Gelände gilt jedoch das Bundesberggesetz (BBergG), in dem Erdwärme als bergfreier Bodenschatz angesprochen wird (BBergG § 3 Abs. 2 Nr. 2). Zudem zeigt die Erfahrung, dass Erdwärmesonden aus technischen Gründen meist nur bis 80 m gebohrt werden. Für den westlichen Bereich der Elbinsel und den Rinnenbereich wird daher eine maximale Sondenlänge von 80 m fest-



Karte 9 Homogenbereiche (Bohrtiefen) für Erdwärmesonden.

**Tab. 21 Homogenbereiche, zulässige Bohrtiefen und mittlerer Ertrag der Erdwärmesonden.**

Homogenbereiche	Zulässige Bohrtiefe in m	Entzugsleistung in W/m	Ertrag in kWh/m*a
I	25	48	121
II	50	39	98
III	80	45	113

gelegt. Im östlichen Bereich keilen die Oberen Glimmertone aus. In diesem Bereich sind keine Erdwärmesonden zulässig.

Mit diesen Vorgaben werden im Modellgebiet der IBA Hamburg drei Homogenbereiche unterschieden, in denen die Bohrlängen 25m, 50m und 80m zulässig sind (Karte 9). Es werden nur vertikale Bohrungen betrachtet. Für die bodenspezifische Wärmeentzugsleistung werden für die Homogen-

bereiche die nach VDI-Richtlinie 4640 und den geologischen Vorgaben gemittelten Werte laut Tabelle 21 angenommen. Es ist sichergestellt, dass eine spezifische jährliche Entzugsarbeit von 150 kWh/m nicht überschritten wird (VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2 Abschnitt 5.1.1).

Karte 10 zeigt den technisch machbaren Wärmeertrag vertikaler Erdwärmesonden für stadt-raumtypische Erdwärmesondendichten.



Karte 10

Maximal technisch machbarer Wärmeertrag vertikaler Erdwärmesonden für stadtraumtypische Erdwärmesondendichten bezogen auf die Stadtraumtypenverteilung im Jahr 2007.



### Abwasserwärmerückgewinnung

Aus Abwasser lässt sich sowohl flächenbezogen als auch punktuell Wärme entziehen. Der flächenbezogene Wärmeentzug erfolgt entweder noch im Gebäude vor Eintritt des Abwassers in das Kanalnetz oder in speziellen, gebäudenahen Abwassersammelschächten. Ein punktueller Wärmeentzug kann innerhalb des Kanals mit Wärmetauschern oder am Ausfluss eines Klärwerks erfolgen. Der Wärmeentzug aus geklärten Abwässern ist wesentlich effizienter als im Kanal, da das Abwasser vor dem Klärwerk nur wenig abgekühlt werden darf, um dessen Funktionsfähigkeit nicht zu

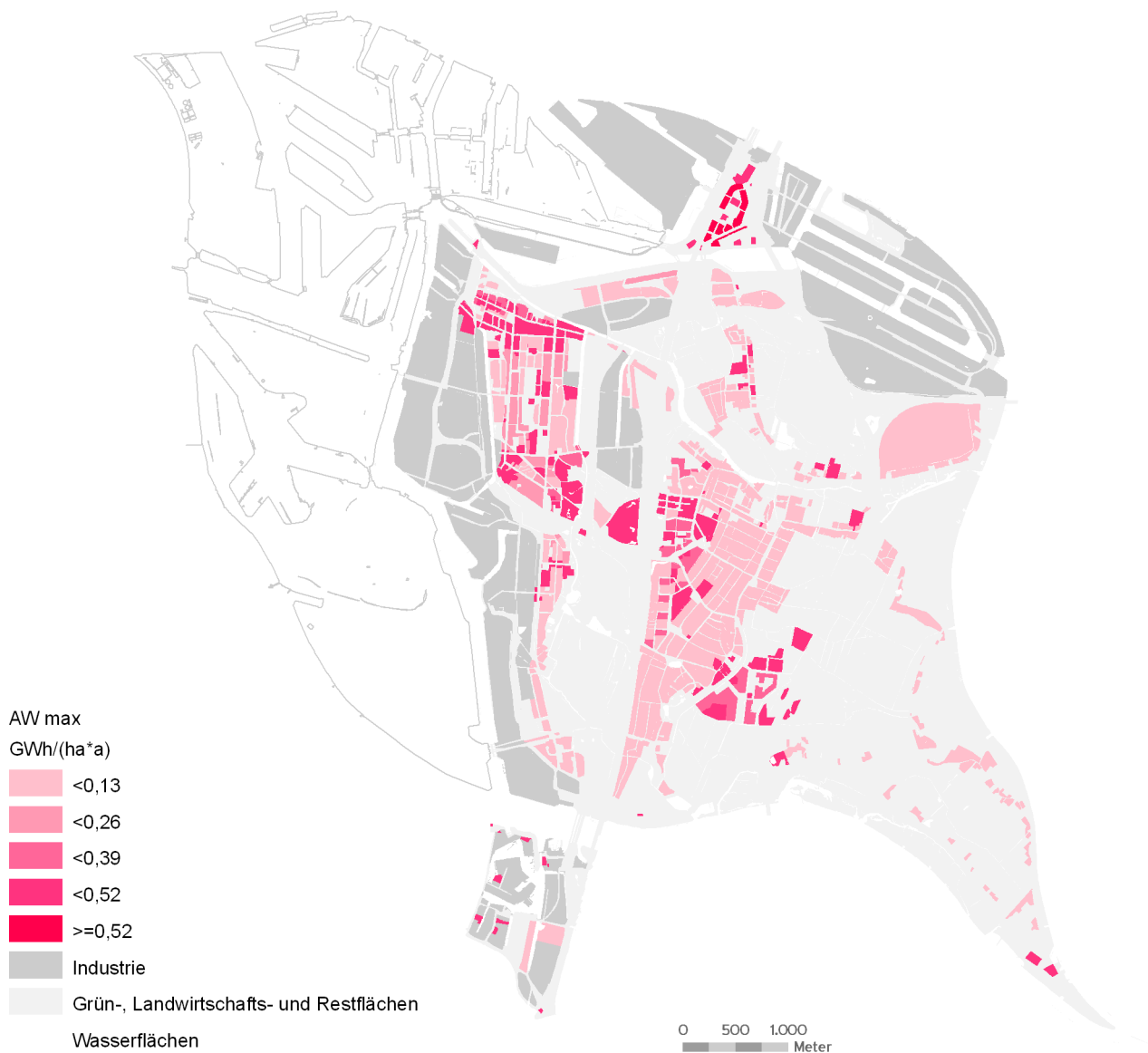
beeinträchtigen. Am Ausfluss des Klärwerks ist dagegen eine erhebliche Abkühlung möglich und ökologisch sogar sinnvoll.

Der technisch machbare Energieertrag aus Abwasser ist eine Funktion der Menge des Abwassers pro Zeiteinheit (dem Durchfluss), der Temperaturdifferenz vor und nach dem Wärmeentzug, der spezifischen Wärmekapazität des Abwassers und der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe.

Da ein Einwohner im Mittel 100 Liter Abwasser pro Tag erzeugt, lässt sich über die Einwohnerzahl pro Stadtraum der theoretisch mögliche Wärmeentzug abschätzen.

**Tab. 22 Wirtschaftlichkeit der Abwasserwärmerückgewinnung nach Stadtraumtypen. In der Modellierung wird die Abwasserwärmerückgewinnung nur berücksichtigt, wenn sie wirtschaftlich erscheint.**

Nutzung	SRT	Stadtraumtypen	Abwasserwärmerückgewinnung
Mischnutzung	I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	Nicht wirtschaftlich
	Ila	Baublöcke Gründerzeit < 1938	Wirtschaftlich
	Ilb	Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	Wirtschaftlich
	Ilc	Villen der Gründerzeit < 1938	Nicht wirtschaftlich
	III	Wiederaufbau 1950er	Wirtschaftlich
Wohnen	IV	Dörflich-kleinteilig	Nicht wirtschaftlich
	V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	Wirtschaftlich
	VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	Wirtschaftlich
	VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	Wirtschaftlich
	VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	Wirtschaftlich
	VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	Wirtschaftlich
	VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	Wirtschaftlich
	IXa	Einfamilienhäuser > 1950	Nicht wirtschaftlich
	IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	Nicht wirtschaftlich
	Gewerbe (reines)	Xa	Gewerbe
Xb		Industrie + Hafen	Nicht bekannt
Zweckbauten	Xc	Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	Wirtschaftlich
Gewerbe I-IV	Xd	Gewerbe in Mischgebieten	Wirtschaftlich
Sondertypen	S1	Schumacherbauten 1920-30er	Wirtschaftlich



Karte 11

Maximal technisch machbarer Wärmeertrag aus Abwasserwärmerückgewinnung bezogen auf die Stadtraumtypenverteilung im Jahr 2007.

Eine weitere Möglichkeit der Abschätzung des Wärmeertrags geht von der Erkenntnis aus, dass im Prinzip 5-10% des thermischen Bedarfes von Wohngebäuden (Heizwärme und Warmwasser) durch Abwasserwärmerückgewinnung gedeckt werden kann (BWP/DBU 2005). Inzwischen konnte anhand von Praxisprojekten nachgewiesen werden, dass der gesamte Warmwasserbedarf durch Abwasserwärmerückgewinnung gedeckt werden kann (FEKA 2009).

Wirtschaftlich wird die Abwasserwärmerückgewinnung jedoch nur in Gebäuden mit mehr als 30 Wohneinheiten (Kalberer 2010). Dabei erfolgt die Abwasserwärmerückgewinnung in Schächten unmittelbar am Gebäude. In Tabelle 22 sind die prototypischen Stadträume gelistet, in denen eine entsprechende Abwasserwärmerückgewinnung wirtschaftlich erscheint. Dabei wird davon ausgegangen, dass Anlagen der Abwasserwärmerückgewinnung auch mehrere Gebäude versorgen können.

Die Abwasserwärmerückgewinnung am Gebäude beeinträchtigt die Funktion von Klärwerken nicht, da das gekühlte Abwasser im Abwasserkanal die Temperatur des Bodens wieder aufnimmt. Zu beachten ist weiterhin, dass auch bei flächenbezogenem Wärmeentzug ein zusätzlicher, beachtlicher Wärmeentzug nach dem Klärwerk möglich ist.

Der elektrische Hilfsenergiebedarf zum Betreiben der Wärmepumpen wird in der Bilanz berücksichtigt. Die Jahresarbeitszahl wird mit 4,0 angenommen. Es wird von 2.400 Jahresarbeitsstunden ausgegangen. Karte 11 zeigt den mit diesen Vorgaben technisch machbaren Wärmeertrag.

#### Summierung flächenbezogener Energieerträge

Das Potenzial des gesamten flächenbezogenen Wärmeertrags ergibt sich aus der Addition der Einzelerträge aus Solarthermie, Erdwärmesonden und Abwasserwärmerückgewinnung.

Das Potenzial des Stromertrags wird ermittelt, nachdem sicher gestellt ist, dass ausreichend Wärme bereitgestellt wird. Dabei dienen die Anteilsfaktoren  $\psi_{PV,i}$  und  $\psi_{ST,i}$  als stadtraumbezogene Steuerparameter, die durch punktuelle Optionen

der Wärmebereitstellung ergänzt werden. Der Stromertrag ist nicht durch den Strombedarf begrenzt. Überschüssiger Strom wird ins Stromnetz eingespeist. In Abzug zu bringen ist der Hilfsenergiebedarf der Wärmepumpen.

Es wird davon ausgegangen, dass im IBA-Startjahr 2007 so gut wie keine Anlagen zur flächenbezogenen erneuerbaren Energieerzeugung im IBA-Modellraum bestanden. Aus diesem Grund ist für das Jahr 2007 kein erneuerbares Energiepotenzial vorhanden und wird nicht dargestellt.

## Markteinführung

Im Gegensatz zur termingerechten Fertigstellung eines konkreten Energieprojektes folgt die Realisierung flächenbezogener Potenziale einem komplexen Prozess der Markteinführung. Grundsätzlich ist von drei Phasen auszugehen: In der ersten Phase wird die Technologie eher zögerlich umgesetzt. Die Technik ist noch nicht ausgereift und noch zu teuer. Es gibt erst wenige Firmen, die sie anbieten, wenige Interessenten, die ihre Bedeutung erkennen und kaum Erfahrungen, die gesammelt werden konnten. Der Markt beobachtet und analysiert die ersten Ergebnisse, um dann, wenn sich eine Technologie als erfolgreich erweist, sie in der zweiten Phase umso zügiger umzusetzen. Diese schwächt sich jedoch wieder ab und mündet in eine dritte Phase, in der der weitere Zubau zurückgeht, bis das Potenzial nahezu komplett ausgeschöpft wird. Es gibt schließlich kaum noch solar nutzbare Flächen, Bohrplätze für Erdwärmesonden oder Haushalte, die ihr Abwasser nicht thermisch nutzen.

Diese S-förmige Markteinführung wird auch bei den Prognosen der meisten Forschungsgruppen angenommen, wie in Abbildung 28 für die Photovoltaik dargestellt. Die Ordinate gibt an, wieviel Strom PV-Einzelanlagen im Vergleich zum Referenzjahr (hier 2005) erzeugen werden. Stellt man die Ordinate logarithmisch dar, schmiegen sich die Kurven mit zunehmender Zeit asymptotisch an einen Endwert, der Marktsättigung, an (Abb. 29). Beim Vergleich der verschiedenen Prognosen nimmt das Leitszenario 2009 (BMU 2009) eine

mittlere Stellung ein. Es wird der Modellierung der IBA-Szenarien zugrunde gelegt.

Die aus dieser Analyse folgende Approximation der Markteinführung beider solarer Optionen (PV und Sonnenkollektoren) zeigt Abbildung 30. Die Ausgleichskurve stellt die mittlerer Markteinfüh-

rung beider solaren Nutzungsoptionen dar. Die Ordinate schneidet die Zeitachse im IBA-Startjahr.

Abbildung 31 zeigt die Markteinführung der Wärmepumpen nach dem Leitszenario (BMU 2009), die als Index für wärmepumpengestützte Anlagen wie Erdwärmesonden gilt.

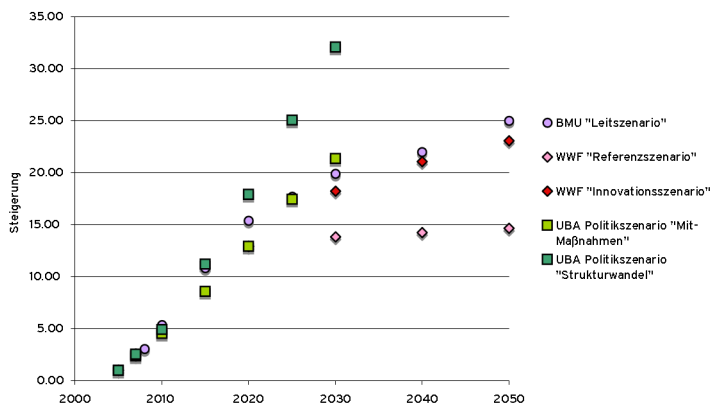


Abb. 28 Die Markteinführung im Sektor Photovoltaik nach verschiedenen Prognosen (BMU 2009; Prognos & Öko-Institut 2009; UBA 2009). Die Ordinate zeigt die Steigerung seit 2005. Die Prognosen sind S-förmig, bis auf die Szenarien des UBA, die nur bis 2030 prognostizieren und insofern noch nicht abgeschlossen sind, d.h. die Erschöpfung des Marktes noch nicht erfassen.

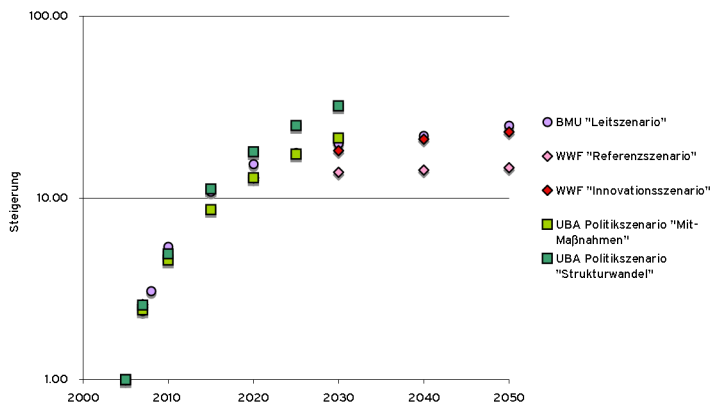


Abb. 29 Die Markteinführung im Sektor Photovoltaik bei logarithmischer Ordinate. Die Kurven schmiegen sich asymptotisch an die Marktsättigung an.

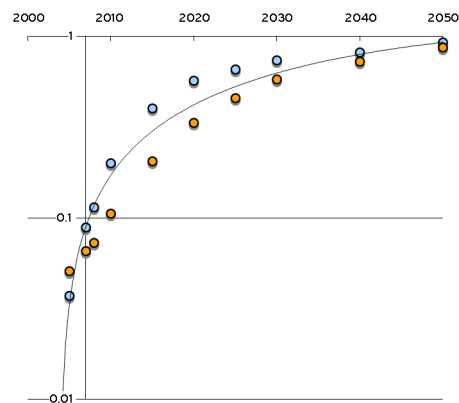


Abb. 30 Approximation der Markteinführung für Photovoltaik (hellblau) und Sonnenkollektoren (orange), skaliert auf 1.0 bei Marktsättigung (Ordinate). Ursprungswerte nach Leitszenario (BMU 2009).

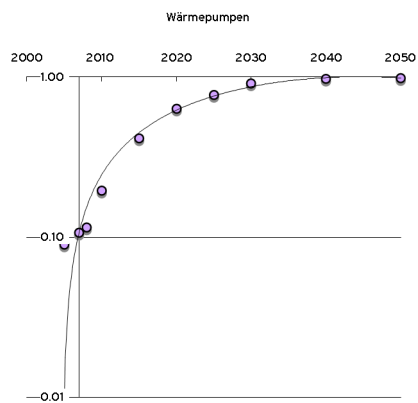


Abb. 31 Approximation der Markteinführung für Wärmepumpen, skaliert auf 1.0 bei Marktsättigung (Ordinate). Ursprungswerte nach Leitszenario (BMU 2009).

Zu berücksichtigen ist, dass diese Kurve den bundesdeutschen Trend widerspiegelt. Dieser wird vereinfacht auch für Wilhelmsburg angenommen. In den IBA-Szenarien wird davon ausgegangen, dass der flächenbezogene erneuerbare Energieertrag im IBA-Startjahr vernachlässigbar gering ist. Für die Modellierung in den Zeitschnitten werden die in den Abbildungen 32 und 33 gezeigten Kurven (gestrichelt) für die solare Nutzung von Dächern und Fassaden und die Einführung von Wärmepumpen zu Grunde gelegt.

Die Kurven lassen sich durch Gleichungen der Bauform

$$\gamma_j = a_j t_b^2 + b_j t_b + c_j \leq 1.0$$

also polynomische Gleichungen 2. Ordnung, approximieren, mit  $\gamma_j$  als Einführungsgrad der Technologie  $j$ ,  $t_b$  als Bezugsjahr und  $a_j$ ,  $b_j$  und  $c_j$  als technologiespezifische Konstanten.

Die Markteinführung einer Zukunftstechnologie, deren Relevanz erst in Pilotprojekten bewiesen wird, erfolgt zeitverzögert. Eine solche Zukunfts-

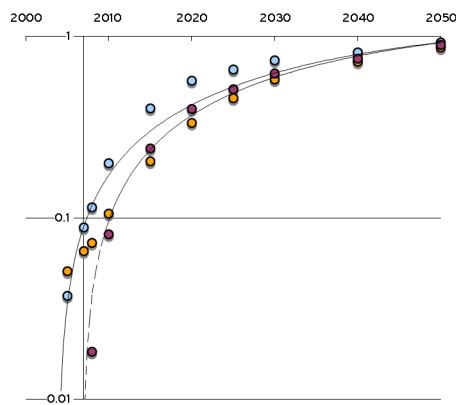


Abb. 32 An den Modellraum angepasste Approximation der Markteinführung im IBA-Referenzszenario für solare Dach- und Fassadennutzung (PV und Sonnenkollektoren), skaliert auf 1.0 bei Marktsättigung (Ordinate). Ursprungswerte (blau für PV, orange für Sonnenkollektoren) nach Leit-szenario (BMU 2009), angepasste Werte (weinrot).

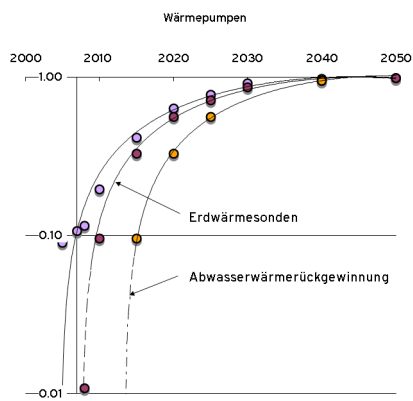


Abb. 33 An den Modellraum angepasste Approximation der Markteinführung im IBA-Referenzszenario für Wärmepumpen, skaliert auf 1.0 bei Marktsättigung (Ordinate). Ursprungswerte (mauve) nach Leitszenario (BMU 2009), angepasste Werte für Erdwärmesonden (weinrot), angepasste Werte für die Abwasserwärmerückgewinnung (orange, siehe Text).

technologie ist die Abwasserwärmerückgewinnung. Obwohl in der Schweiz als Vorreiterin bereits 2006 über 200 Anlagen in Betrieb waren (FEKA 2008), ist die Abwasserwärmerückgewinnung in Deutschland kaum verbreitet. Einige Pilotprojekte wie die Anlage in Waiblingen (Baden-Württemberg), die gereinigtem Abwasser Wärme

entzieht, sind jedoch bereits seit über 20 Jahren im Betrieb (BWP/DBU 2005). Es ist zu erwarten, dass die Technologie der Abwasserwärmerückgewinnung mit steigenden Energiepreisen auch in Deutschland zunehmend an Bedeutung gewinnen wird. Als ausschlaggebend wird hier nicht die technologische Entwicklung gesehen, die ausge-

reift erscheint, sondern die steigenden Energiepreise. Nach der Prognose von Prognos und dem Öko-Institut (2009: 47) werden sich die Realpreise der fossilen Energieträger (bezogen auf 2007) bis 2020 um 50-100% erhöhen. Spätestens dann wird auch die Markteinführung der Abwasserwärmerückgewinnung in Deutschland beginnen.

## Erneuerbare Energieerträge

In den IBA-Szenarien addieren sich punktuelle und flächige regenerative Energiepotenziale. Dabei wurde bei den flächigen Wärmeerträgen darauf geachtet, die saisonalen Wärmeschwankungen und Heizperioden mit zu berücksichtigen, so dass keine Wärmespeicherung erforderlich ist. In den folgenden Tabellen sind die Energieerträge zusammenfassend dargestellt, wobei nur erneuerbare Energien berücksichtigt wurden.

Die Energieerträge in den IBA- Referenzszenarien zeigen die Tabellen 23 (Referenzszenario 1) und 24 (Referenzszenario 2 oder Moorburg-Szenario). Tabelle 25 zeigt die Zunahme der Erträge bei einer Ausnutzung des geothermischen Potenzials mit drei Anlagen ab 2020 (Exzellenzszenario 1). Ta-

belle 26 zeigt ein stärker diversifiziertes Potenzial mit nur einer geothermischen Tiefbohrung sowie einer Anlage zur Nutzung der Elbwärme für die Veddel und der solarthermischen Überbauung von Kirchdorf-Süd (Exzellenzszenario 2). Zu beachten ist, dass die Wärmeversorgungsnetze mit der Zeit größer werden, der Wärmebedarf wegen der Sanierungsrate jedoch mit der Zeit abnimmt. Daher bleiben einige Wärmenetze hinsichtlich ihrer Wärmebereitstellung stabil, obwohl der Netzausbau weiter geht und Netze schließlich zusammenwachsen. Abbildung 34 veranschaulicht diesen Zusammenhang für das Exzellenzszenario 2.

Zum (teilweisen) Ausgleich des noch bestehenden Wärmedefizits ist eine mögliche Option die Erzeugung von Bio-Methan (SunSNG) (Sternier & Specht 2010). Eine weitere Möglichkeit böte die Brennstoffzellen-Technologie. Der Vorteil beim Bio-Methan ist jedoch die Möglichkeit, die Erdgas-Infrastruktur (Netze, Speicher) zu nutzen bzw. kostengünstig auszubauen.

Weiterhin werden die Abwärmenutzung bei Zweckbauten (SRT Xc außerhalb von Wärmenetzen) und die Abwärmenutzung im verarbeitenden Gewerbe (SRT Xa) berücksichtigt, was sich jedoch nicht auf die erneuerbare Energieproduktion auswirkt.

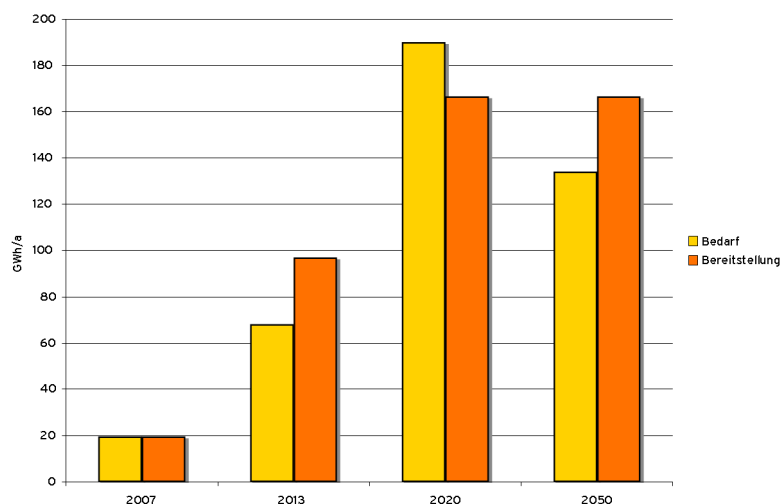


Abb. 34 Wärmebereitstellung durch Wärmenetze und Wärmebedarf im Netzbereich bis zum Prognosehorizont für das Exzellenzszenario 2.

Tab. 23 Punktuelle und flächenbezogene erneuerbare Energieerträge (Endenergie) im Referenzszenario 1.

Referenz 1	Wärme				Strom				Wärme				Strom			
	2007	2013	2020	2050	2007	2013	2020	2050	2007	2013	2020	2050	2007	2013	2020	2050
<b>Punktuelle Erträge</b>	GWh/a				GWh/a				%				%			
Energieberg Georgs- werder	6	6	6	6	1	2	2	2	100	33	17	6	8	9	5	2
Windparks außerhalb Energieberg	0	0	0	0	12	12	12	12	0	0	0	0	92	52	30	13
Biomasse für weitere Projekte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flächenbezogene Erträge	0	12	30	103	0	9	26	80	0	67	83	94	0	39	65	85
<b>Gesamtsumme</b>	<b>6</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>109</b>	<b>13</b>	<b>23</b>	<b>40</b>	<b>94</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Tab. 24 Punktuelle und flächenbezogene erneuerbare Energieerträge (Endenergie) im Referenzszenario 2.

Referenz 2	Wärme				Strom				Wärme				Strom			
	2007	2013	2020	2050	2007	2013	2020	2050	2007	2013	2020	2050	2007	2013	2020	2050
<b>Punktuelle Erträge</b>	GWh/a				GWh/a				%				%			
Energieberg Georgs- werder	6	6	6	6	1	2	2	2	100	33	27	12	8	9	5	2
Windparks außerhalb Energieberg	0	0	0	0	12	12	12	12	0	0	0	0	92	52	30	12
Biomasse für weitere Projekte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flächenbezogene Erträge	0	12	16	43	0	9	26	81	0	67	73	88	0	39	65	86
<b>Gesamtsumme</b>	<b>6</b>	<b>18</b>	<b>22</b>	<b>49</b>	<b>13</b>	<b>23</b>	<b>40</b>	<b>95</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



Tab. 25 Punktuelle und flächenbezogene erneuerbare Energieerträge (Endenergie) im Exzellenzenzenario 1.

Exzellenz 1	Wärme					Strom					Wärme					Strom				
	2007	2013	2020	2050	2050	2007	2013	2020	2050	2050	2007	2013	2020	2050	2050	2007	2013	2020	2050	2050
Konkrete Erträge	GWh/a					GWh/a					%					%				
Energieberg Georgswerder	6	6	6	6	6	1	10	10	23	23	100	8	2	2	2	10	13	6	7	7
Energiebunker	0	9	17	17	17	0	3	10	10	10	0	13	7	6	6	0	3	6	3	3
Tiefengeothermie Wilhelmsburg	0	35	70	70	70	0	0	-1	-1	-1	0	49	27	25	25	0	0	0	0	0
Tiefengeothermie Kirchdorf Süd	0	0	70	70	70	0	0	-1	-1	-1	0	0	27	25	25	0	0	0	0	0
Tiefengeothermie Veddel	0	0	70	70	70	0	0	-1	-1	-1	0	0	27	25	25	0	0	0	0	0
Windparks außerhalb Energieberg	0	0	0	0	0	12	52	112	180	180	0	0	0	0	0	90	66	68	53	53
Urbanes Biogas	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	2	1	0	0
Nahwärmenetz Neue Hamburger Terrassen	0	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	6	2	1	0	0	0	0	0	0
Energieverbund Neue Mitte Wilhelmsburg	0	6	6	6	6	0	3	3	3	3	0	8	2	2	2	0	4	2	1	1
Diffuse Wärmeerträge (Solarthermie, Erdwärmesonden, Abwasserwärme)	0	11	19	42	42	0	(-2)	(-4)	(-11)	(-11)	0	16	7	15	15	0	0	0	0	0
Diffuse Stromerträge (PV-Dach- und Fassadenanlagen)	0	0	0	0	0	0	10	30	126	126	0	0	0	0	0	0	13	18	37	37
<b>Gesamtsumme<sup>2</sup></b>	<b>6</b>	<b>72</b>	<b>263</b>	<b>285</b>	<b>285</b>	<b>13</b>	<b>78</b>	<b>164</b>	<b>341</b>	<b>341</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

<sup>2</sup>Der Strombedarf der Wärmepumpen wurde bereits im Gesamtbedarf der Stadträume berücksichtigt. Der Hilfsstrombedarf der Sonnenkollektoren wird vernachlässigt.<sup>2</sup>Die Gesamtsumme berücksichtigt auch die (hier nicht dargestellten) Nachkommastellen. Etwalge Abweichungen in der Summenbildung ergeben sich aus Rundungen.

Tab. 26 Punktuelle und flächenbezogene erneuerbare Energieerträge (Endenergie) im Exzellenzscenario 2.

Exzellenz 2 Konkrete Erträge	Wärme GWh/a				Strom GWh/a				Wärme %				Strom %			
	2007	2013	2020	2050	2007	2013	2020	2050	2007	2013	2020	2050	2007	2013	2020	2050
Energieberg Georgs- werder	6	6	6	6	1	10	10	23	100	8	2	2	10	13	7	12
Energiebunker	0	9	17	17	0	3	10	10	0	13	8	6	0	3	7	5
Tiefengeothermie Wilhelmsburg	0	35	70	70	0	0	-1	-1	0	49	32	24	0	-1	-1	-1
Windkraftanlagen au- ßerhalb Energieberg	0	0	0	0	12	52	112	180	0	0	0	0	90	66	75	95
Urbanes Biogas	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	2	1	1
Nahwärmenetz Neue Hamburger Terrassen	0	4	4	4	0	0	0	0	0	6	2	1	0	0	0	0
Energieverbund Neue Mitte Wilhelmsburg	0	6	6	6	0	3	3	3	0	8	3	2	0	4	2	2
Elbwärmepumpe Veddel	0	0	15	15	0	0	-4	-4	0	0	7	5	0	0	-3	-2
Soarkonzept Kirchdorf-Süd	0	0	11	11	0	0	5	5	0	0	5	4	0	0	3	3
Sonstiges <sup>1</sup>	0	0	73	54	0	0	-17	-9	0	0	33	19	0	0	-11	-5
Bio-Methan	0	0	0	60	0	0	0	-144	0	0	0	21	0	0	0	-76
Diffuse Wärmeerträge (Solarthermie, Erdwär- mesonden, Abwasser- wärme) <sup>1</sup>	0	11	19	42	0	(-2)	(-4)	(-11)	0	16	9	15	0	0	0	0
Diffuse Stromerträge (PV-Dach- und Fassa- denanlagen)	0	0	0	0	10	30	126		0	0	0	0	0	13	20	66
<b>Gesamtsumme<sup>2</sup></b>	<b>6</b>	<b>72</b>	<b>222</b>	<b>286</b>	<b>13</b>	<b>78</b>	<b>149</b>	<b>191</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

<sup>1</sup>Beinhaltet Energiegewinne und -verluste durch zusätzliche Maßnahmen der Abwärme- und Abluftnutzung, Sanierungsmaßnahmen (Veddel) und Ertragsbilanzen beim Soarkonzept Kirchdorf-Süd (Reduktion der PV-Erträge auf Kosten der Solarthermie, Wärmepumpenstrom für zusätzliche Erdwärmesonden).<sup>2</sup>Der Strombedarf der Wärmepumpen wurde bereits im Gesamtbedarf der Stadträume berücksichtigt. Der Hilfsstrombedarf der Sonnenkollektoren wird vernachlässigt.<sup>3</sup>Die Gesamtsumme berücksichtigt auch die (hier nicht dargestellten) Nachkommastellen. Etwaige Abweichungen in der Summenbildung ergeben sich aus Rundungen.

In den Abbildungen 35 bis 42 wird die Zunahme der erneuerbaren Energieerträge noch einmal verdeutlicht. In allen Szenarien nehmen die flächigen Energieerträge als Folge einer allmählichen Markteinführung mit der Zeit zu. In den Referenzszenarien (Abb. 35 - 36; Abb. 39 - 40) weichen sie kaum voneinander ab. Im Bereich des Moorburgnetzes können die solar nutzbaren Dach- und Fassadenflächen ausschließlich für Photovoltaik, also zur Stromerzeugung, genutzt werden. Der Effekt ist aber vernachlässigbar gering, da in den verdichteten Bereichen ohnehin der Warmwasserbedarf im konkurrierenden Referenzszenario 1 durch Abwasserwärmerückgewinnung bereitgestellt wird. Der hierfür notwendige Wärmepumpenstrom ist allerdings zu berücksichtigen. Es wird weiterhin deutlich, dass die flächige Wärmebereitstellung im Referenzszenario 1 deutlich höher ist als im Referenzszenario 2, in dem das Moorburg-Netz die regenerative Wärmebereitstellung zu einem großen Teil obsolet macht (Abb. 37 - 38; Abb. 41 - 42).

Die Referenzszenarien produzieren deutlich weniger erneuerbare Energie als das Exzellenzszena-

rio. Der Unterschied wird besonders mit Abschluss der Internationalen Bauausstellung und der durch sie ausgelösten Effekte im Jahr 2013 deutlich. Im Exzellenzszenario 1 dominieren die Windkraft beim Strommix (Abb. 41) und die Geothermie beim Wärmemix (Abb. 37). Eine Diversifizierung des Energiemixes findet im Exzellenzszenario 2 statt. Die Anlagen zur Nutzung der Elbwärme und die Solarsiedlung Kirchdorf Süd tragen zur thermischen Selbstversorgung bei. Weiterhin wirken sich die Sanierungsmaßnahmen auf der Veddel und in Kirchdorf-Süd aus, wie auch die Nutzung der Abluft in Zweckbauten (SRT Xc) und der Abwärme in Gewerbegebieten (SRT Xa), die sowohl den Stromüberschuss vergrößern als auch den Wärmebedarf verringern (unter „Sonstiges“ in Tabelle 26 zusammengefasst). Die Nutzung von Bioabfällen wird einen weiteren Energieertrag bringen (noch nicht berücksichtigt). Zum Ende des Prognosehorizontes lässt sich mit dem Stromüberschuss (zum Beispiel) Bio-Methan erzeugen.

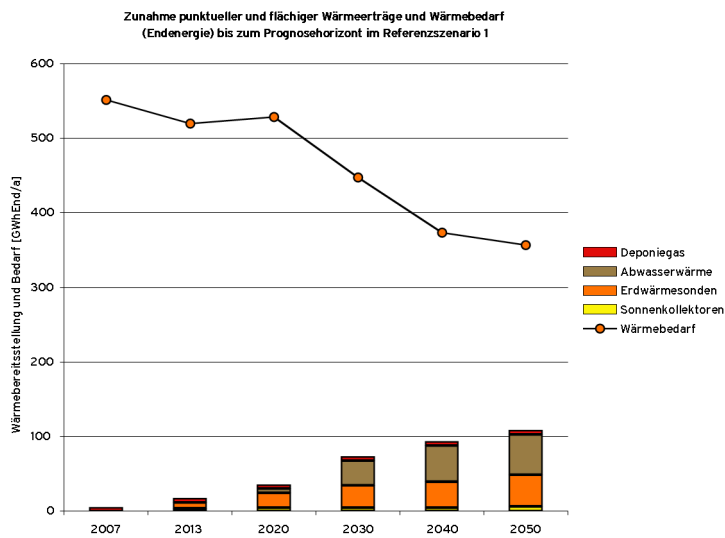


Abb. 35 Zunahme punktueller und flächenbezogener erneuerbarer Wärmeerträge (Endenergie) bis zum Prognosehorizont im Referenzszenario 1. Der Bestand entspricht im Wesentlichen der Wärmebereitstellung durch die Nutzung des Deponiegases.

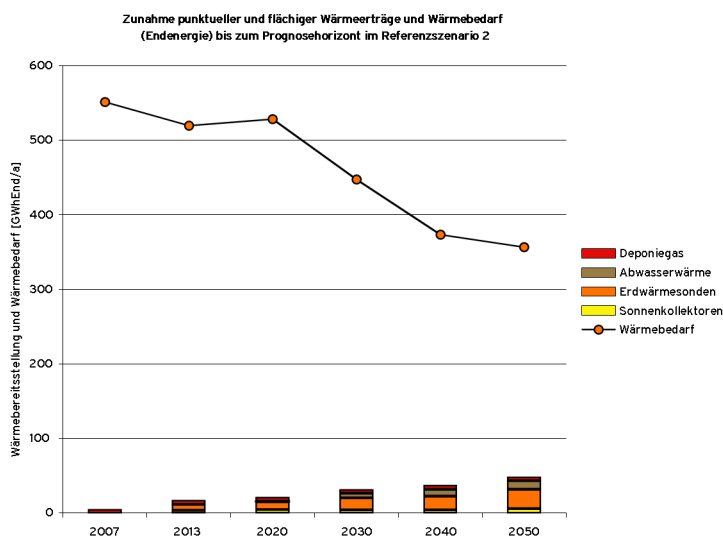


Abb. 36 Zunahme punktueller und flächenbezogener erneuerbarer Wärmeerträge (Endenergie) bis zum Prognosehorizont im Referenzszenario 2 (Moorburg). Der Bestand entspricht im Wesentlichen der Wärmebereitstellung durch die Nutzung des Deponiegases.

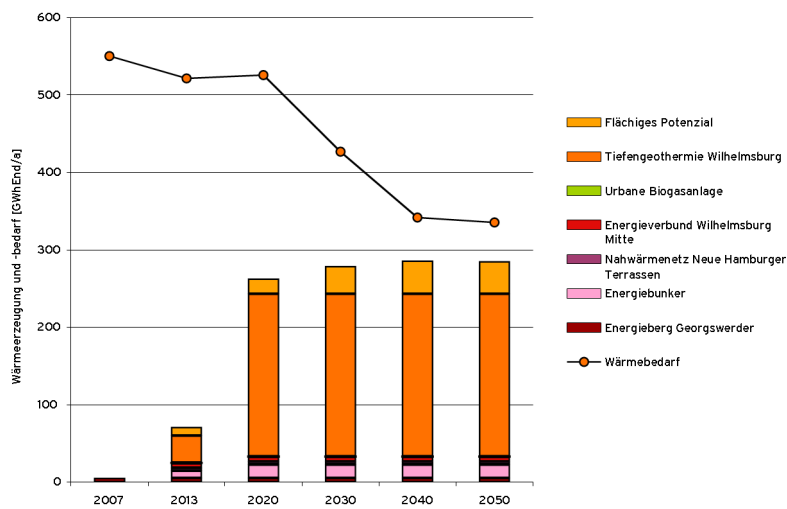


Abb. 37 Zunahme punktueller und flächenbezogener erneuerbarer Wärmeerträge (Endenergie) bis zum Prognosehorizont im Exzellenzszenario 1. Flächige Optionen sind Solarthermie, Erdwärmesonden und Abwasserwärmerückgewinnung.

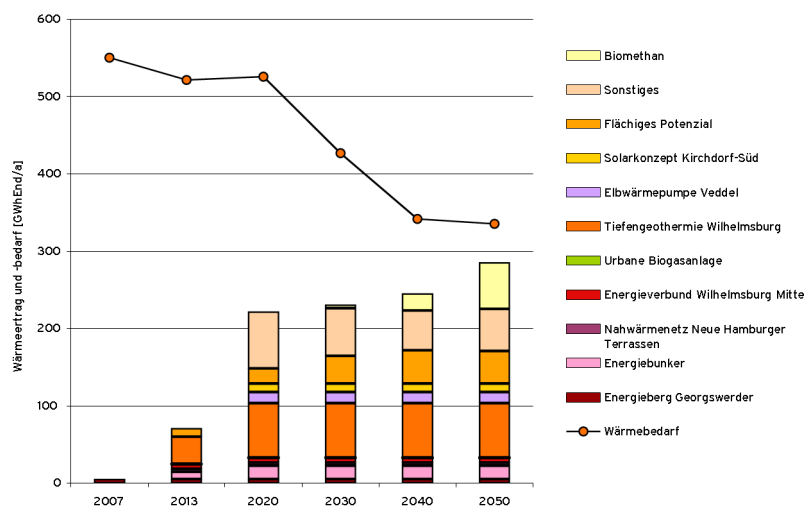


Abb. 38 Zunahme punktueller und flächenbezogener erneuerbarer Wärmeerträge (Endenergie) bis zum Prognosehorizont im Exzellenzszenario 2. Flächige Optionen sind Solarthermie, Erdwärmesonden und Abwasserwärmerückgewinnung. Sonstiges bezieht sich auf die Projekte Veddel und Kirchdorf-Süd sowie die Abluft- und Abwärmenutzung.

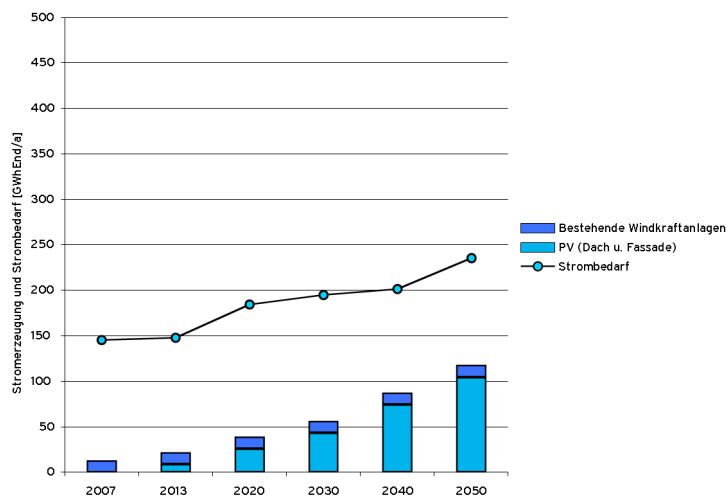


Abb. 39 Zunahme punktueller und flächiger erneuerbarer Stromerträge (Endenergie) bis zum Prognosehorizont im Referenzszenario 1.

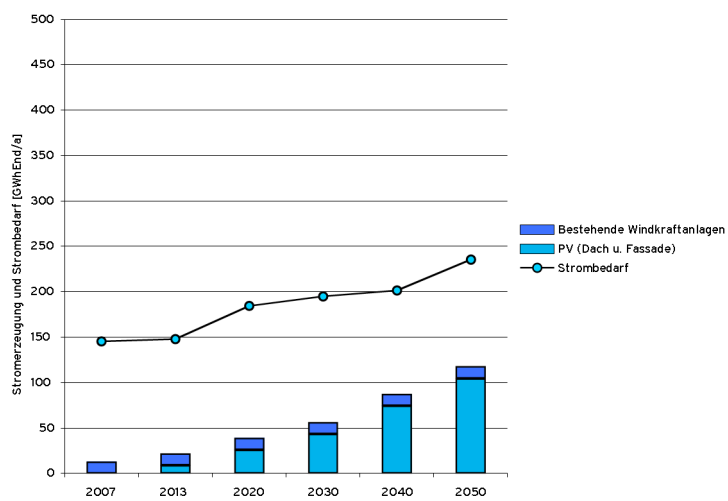


Abb. 40 Zunahme punktueller und flächiger erneuerbarer Stromerträge (Endenergie) bis zum Prognosehorizont im Referenzszenario 2 (Moorburg).

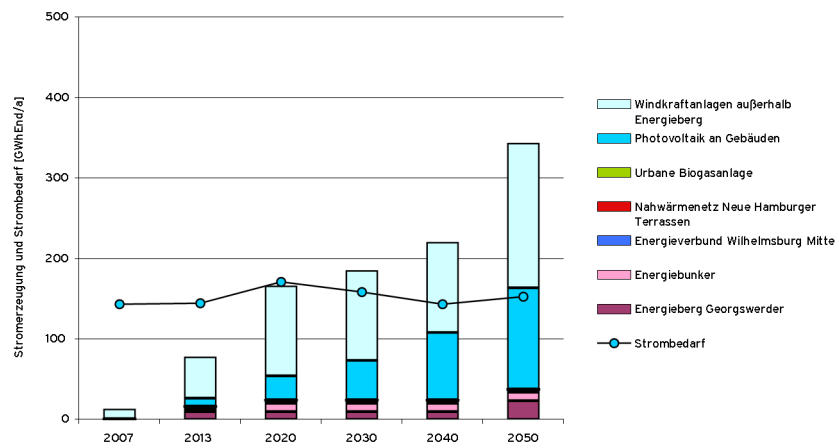


Abb. 41 Zunahme punktueller und flächiger erneuerbarer Stromerträge (Endenergie) bis zum Prognosehorizont im Exzellenzszenario 1.

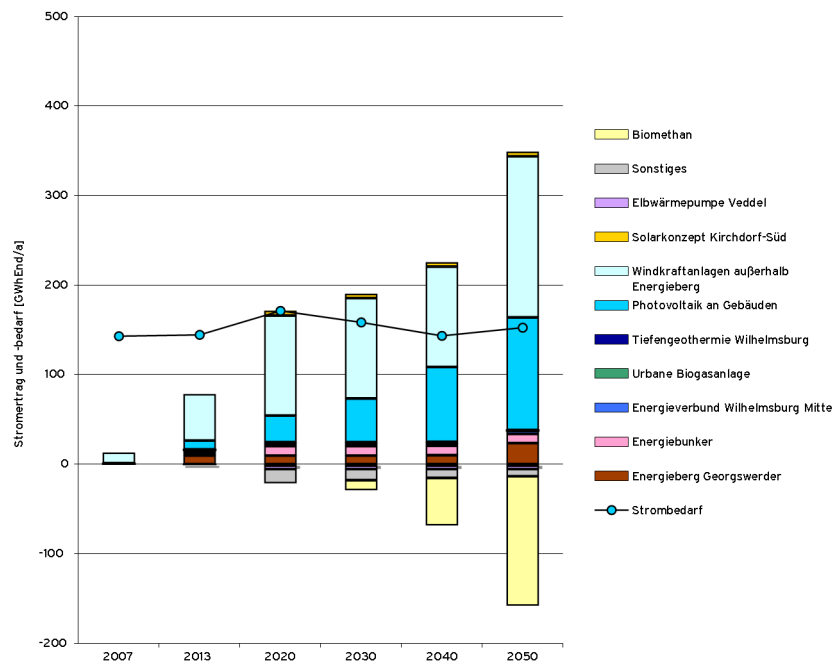


Abb. 42 Zunahme punktueller und flächiger erneuerbarer Stromerträge (Endenergie) bis zum Prognosehorizont im Exzellenzszenario 2. Sonstiges bezieht sich auf die Projekte Veddel und Kirchdorf-Süd sowie die Abluftnutzung.

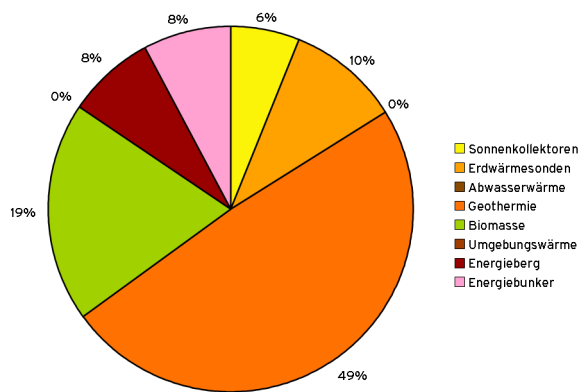


Abb. 43 Erneuerbarer Wärmemix im IBA-Abschlussjahr (2013) im Exzellenzscenario 1.

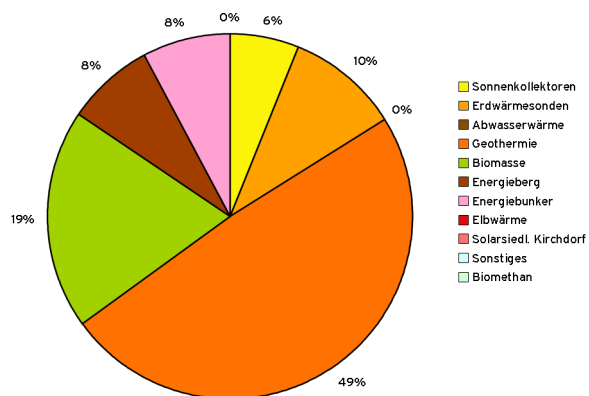


Abb. 44 Erneuerbarer Wärmemix im IBA-Abschlussjahr (2013) im Exzellenzscenario 2.



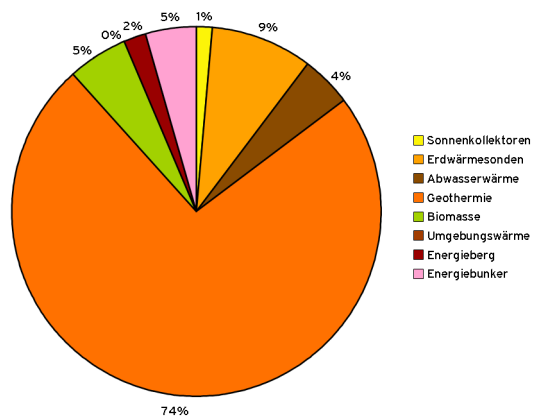


Abb. 45 Erneuerbarer Wärmemix 2050 im Exzellenzscenario 1.

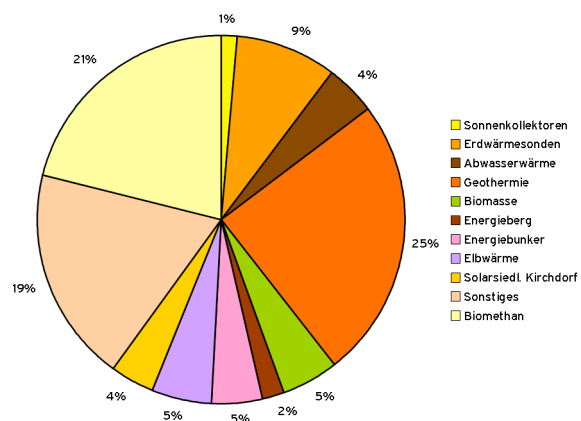


Abb. 46 Erneuerbarer Wärmemix 2050 im Exzellenzscenario 2. Sonstiges bezieht sich auf die Projekte Veddel und Kirchdorf-Süd sowie Abluft- und Abwärmenutzung.

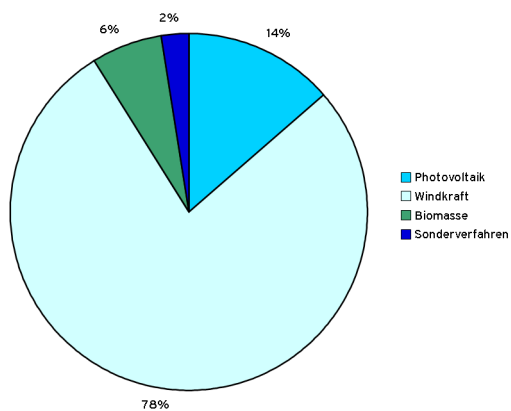


Abb. 47 Erneuerbarer Strommix im IBA-Abschlussjahr (2013) im Exzellenzscenario 1. Unter Sonderverfahren fallen die Strombezüge- und abzüge aus dem Projekt Energiebunker.

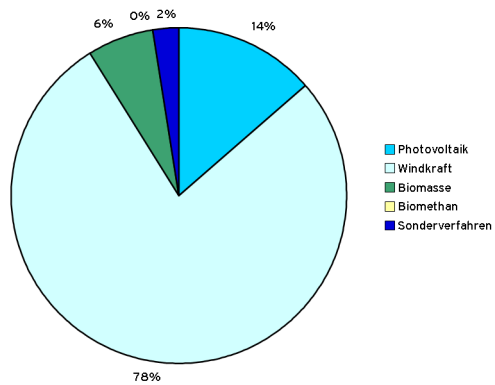


Abb. 48 Erneuerbarer Strommix im IBA-Abschlussjahr (2013) im Exzellenzscenario 2. Unter Sonderverfahren fallen die Strombezüge- und abzüge aus dem Projekt Energiebunker.

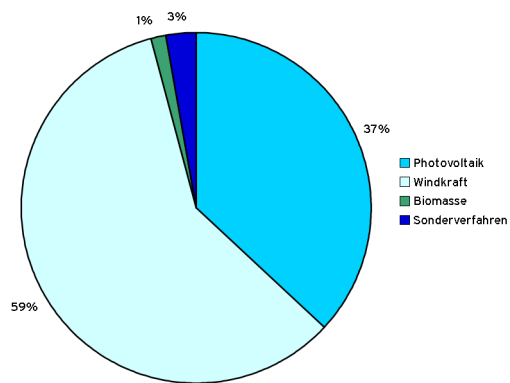


Abb. 49 Erneuerbarer Strommix 2050 im Exzellenzscenario 1. Unter Sonderverfahren fallen die Strombezüge- und abzüge aus dem Projekt Energiebunker.

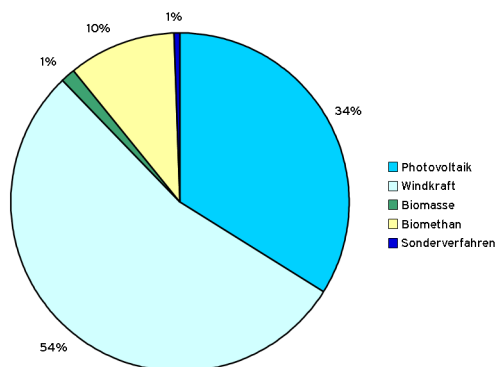


Abb. 50 Erneuerbarer Strommix 2050 im Exzellenzscenario 2. Unter Sonderverfahren fallen die Strombezüge- und abzüge aus dem Projekt Energiebunker.

# CO<sub>2</sub>-äquivalente Treibhausgase

## Haushalte

Die Sanierung der Bausubstanz und die Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien führen zu einer Reduktion von Treibhausgasen. Das Potenzial der Reduktion CO<sub>2</sub>-äquivalenter Emissionen hat somit zwei Komponenten:

- Einsparungen durch baulich-energetische Sanierung und effizientere Energieversorgungstechnik im Bestand sowie
- Einsparungen durch die Erzeugung und Nutzung regenerativer Energien.

Im Folgenden wird dargestellt, wie beide Komponenten bestimmt und das Gesamteinsparpotenzial ermittelt wird. Dabei dienen die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen als Maßzahl für die Treibhausgasemissionen.

## Baulich-energetische Sanierung

Der Effekt einer baulich-energetischen Sanierung wird deutlich, indem die CO<sub>2</sub>-Emissionen vor der Sanierung und nach der Sanierung bestimmt werden. Mit dem aktuellen Heizwärme-, Warmwasser- und Stromverbrauch und den aktuellen Emissionsfaktoren für Heizwärme, Warmwasser und Strom können die CO<sub>2</sub>-Emissionen für die prototypischen Stadträume ermittelt werden.

Nach einer baulich-energetischen Sanierung ist der Heizwärme-, Warmwasser- und Stromverbrauch geringer. Somit verringern sich auch die Emissionen.

Dabei bleiben die Emissionsfaktoren die gleichen, da angenommen wird, die Energieversorgung - überwiegend fossil - sei noch nicht angepasst, er-

**Tab. 27 Direkte CO<sub>2</sub>-Emissionswerte für verschiedene Formen der Energieerzeugung (ohne Vorkette und Entsorgung).**

Energieerzeugung	thermisch	elektrisch	Quelle
	tCO <sub>2</sub> /GWh <sub>End</sub> <sup>1</sup>	tCO <sub>2</sub> /GWh <sub>End</sub> <sup>1</sup>	
Bundesdeutscher Energiemix			
2007	245 <sup>2</sup>	579 <sup>2</sup>	(BMU 2009b), (UBA 2008)
2013	230 <sup>2</sup>	512 <sup>2</sup>	(BMU 2009b), (UBA 2008)
2020	211 <sup>2</sup>	429 <sup>2</sup>	(BMU 2009b), (UBA 2008)
2050	118 <sup>2</sup>	25 <sup>2</sup>	(BMU 2009b), (UBA 2008)
Wärmemix Wilhelmsburg			
Haushalte	217 <sup>3</sup>		(BEI 2009)
GHD	225 <sup>3</sup>		(BEI 2009)
Brennstoffe			
			(GEMIS 2009)
Heizöl	266-270	646	(UBA 2009a)
Erdgas	202	456	(UBA 2009a)
Steinkohle	344-353	862	(UBA 2009a)
Braunkohle	359-367	1050	(UBA 2009a)
Fernwärme aus Kohle <sup>4</sup>			
70% KWK	219		(GEMIS 2009)
35% KWK	313		(GEMIS 2009)
0% KWK	407		(GEMIS 2009)
Moorburg-Netz	238		(IBA Hamburg 2009)
Regenerative Energien	0	0	(UBA 2009a)

<sup>1</sup>auf die Endenergie bezogen; <sup>2</sup>auf der Grundlage des prognostizierten Energiemix nach dem Leitszenario 2009 (BMU 2009, Tabelle 10, S. 95) ermittelt; <sup>3</sup>gewichteter Mittelwert auf der Grundlage des vom Bremer Energie Institut ermittelten Endenergiemixes (BEI 2009, Tab. 5-11, S. 42) und den in dieser Tabelle aufgelisteten Emissionsfaktoren für Brennstoffe; <sup>4</sup>Stromgutschrift für Kohlestrom berücksichtigt.

neuerbarer Energien seien noch nicht eingeführt. Es wird vom aktuellen Emissionsfaktor des bundesdeutschen Strommixes ausgegangen. Wird die Wärmeversorgung über ein Wärmenetz sichergestellt, so gilt der hierfür ermittelte Emissionsfaktor für alle betrachteten Zeitschnitte. Außerhalb eines Wärmenetzes gilt der aktuelle Emissionsfaktor des Wärmemixes im Modellraum, der auf der Grundlage der Untersuchungen des Bremer Energie Institutes (BEI 2009) abgeschätzt wurde.

In Tabelle 27 sind die Emissionsfaktoren für die relevanten Energiegruppen dargestellt.

Die stadtraumtypischen Einsparungen ergeben sich aus der Differenz der ermittelten Emissionen. Daraus ergeben sich die thermischen und elektrischen Einsparungen aller Stadtraumtypen, sowie die Gesamteinsparung im Modellraum.

Die flächenbezogenen Einsparpotenziale eignen sich besonders zur räumlichen, stadtraumbezogenen Darstellung der CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale. Durch die kartographische Darstellung des Einsparpotenzials wird deutlich, welchen Effekt eine Förderung der baulich-energetischen Sanierung in den einzelnen Stadträumen haben wird.

Eine flächenbezogene Darstellung ist unerlässlich, wenn sich die Flächen der einzelnen Stadtraumtypen infolge der baulichen Entwicklung ändern. Dies ist im IBA-Modellraum der Fall.

## Erzeugung und Nutzung regenerativer Energien

Mit der Erzeugung und Nutzung regenerativer Energien reduzieren sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen weiter. Bei Berücksichtigung dieses Potenzials ergeben sich geringere Emissionen. Der Wärmebedarf, der nicht regenerativ gedeckt werden kann, muss berücksichtigt werden. Zu beachten ist, dass die Wärmebereitstellung den Wärmebedarf nicht übersteigen darf. Die Emissionen aus dem Stromverbrauch werden analog ermittelt. Dabei ist zu beachten, dass überschüssiger Strom ins Netz eingespeist werden kann. Es können sich also CO<sub>2</sub>-Gutschriften ergeben, wenn der durch erneuerbare Energien erzeugte Strom den Bedarf übertrifft. Zu beachten ist, dass bei Nutzung des nicht im Modellraum erzeugten regenerativen Stroms der Emissionsfaktor für den Strommix im betrachteten Zeitschnitt gilt. Angenommen wird der bundesdeutsche Strommix mit den im Leitszenario 2009 prognostizierten Anteilen von erneuerbaren Energien und entsprechenden CO<sub>2</sub>-Emissionen. Der bundesdeutsche Strommix wird mit der Zeit immer erneuerbarer (Abb. 51 und Abb. 52).

Daher nimmt der Effekt der Einführung erneuerbarer Energien im Stromsektor im Modellraum mit der Zeit ab. Die stadtraumtypischen Einsparungen ergeben sich aus der Differenz der ermittelten

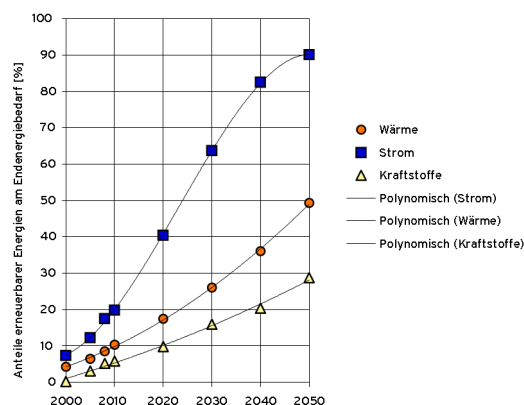


Abb. 51 Anteile erneuerbarer Energien am Wärme- und Strommix laut Leitszenario 2009 (BMU 2009).

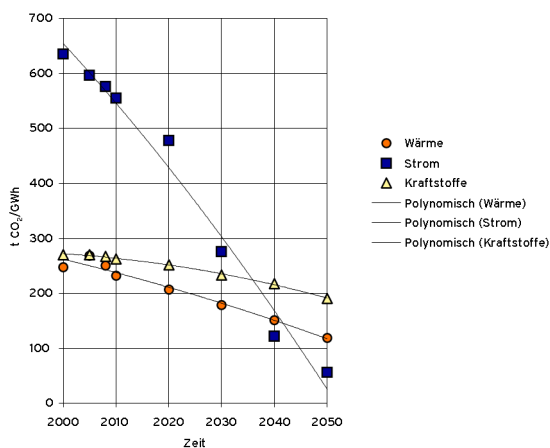


Abb. 52 Abnahme der CO<sub>2</sub>-Emissionen für den Wärme- und Strommix nach dem Leitszenario 2009 (BMU 2009). Für den Wärme- und Strommix ohne regenerativen Anteil werden CO<sub>2</sub>-Emissionen von 339 t CO<sub>2</sub>/GWh und 700 t CO<sub>2</sub>/GWh angenommen. Für einen rein regenerativen Wärme- und Strommix wird vereinfachend der CO<sub>2</sub>-Ausstoß auf Null gesetzt (direkte Emissionen ohne Vorkette und Entsorgung).

Emissionen ohne Nutzung regenerativer Energien zu den Emissionen unter Berücksichtigung der potenziell möglichen regenerativen Energieerzeugung. Die Summierung aller Einsparungen ergibt die Gesamteinsparung.

Somit lassen sich neben den CO<sub>2</sub>-Einsparungen aus baulich-energetischer Sanierung auch die Einsparungen durch die Einführung erneuerbarer Energien räumlich und stadtraumtypisch darstellen. Im Anhang A (Karten A 23 bis A 25) befindet sich eine Kartenserie zur Darstellung der Abnah-

me der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Exzellenzszenarien in den verschiedenen Zeitschnitten. Sie zeigen, welchen Effekt eine Förderung der Einführung erneuerbarer Energien in den einzelnen Stadträumen haben wird.

Die Abbildungen 53 bis 56 zeigen die maximalen Klimagaseinsparungen bis zum Prognosehorizont. Es wird deutlich, dass im Referenzszenario 2 kaum CO<sub>2</sub> eingespart werden kann. In den Exzellenzszenarien ist dagegen eine deutliche Abnahme der Treibhausgasemissionen zu konstatieren.

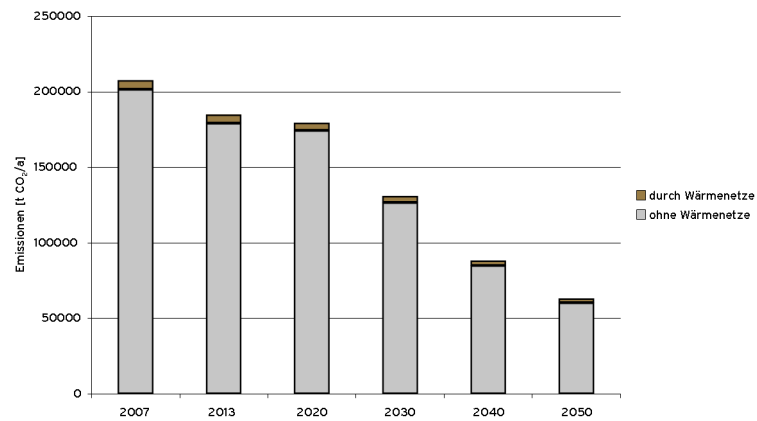


Abb. 53 CO<sub>2</sub>-Emissionen der Energieversorgung für Haushalte und GHD im Referenzszenario 1 bis zum Prognosehorizont.

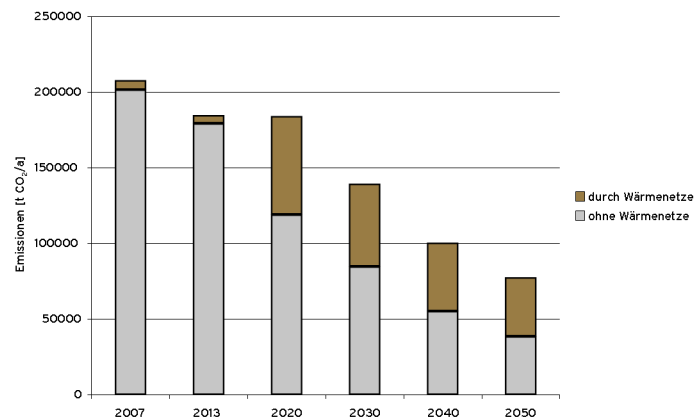


Abb. 54 CO<sub>2</sub>-Emissionen der Energieversorgung für Haushalte und GHD im Referenzszenario 2 bis zum Prognosehorizont.

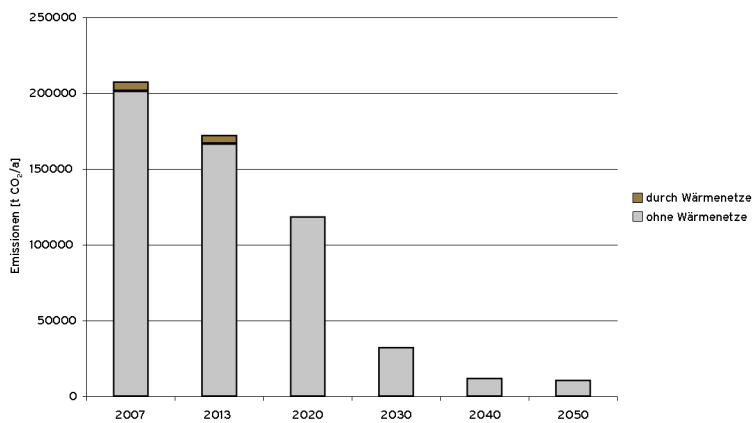


Abb. 55 CO<sub>2</sub>-Emissionen der Energieversorgung für Haushalte und GHD im Exzellenzscenario 1 bis zum Prognosehorizont.

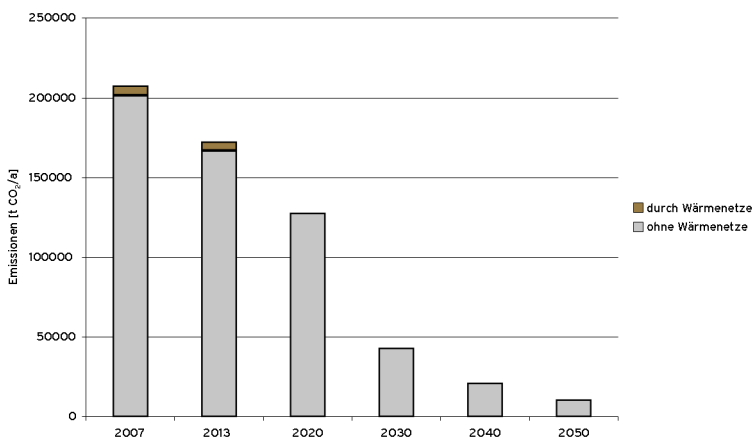


Abb. 56 CO<sub>2</sub>-Emissionen der Energieversorgung für Haushalte und GHD im Exzellenzscenario 2 bis zum Prognosehorizont.



# Investitionen und Rentabilität

## Investitionsbedarf

Um einen urbanen Raum nachhaltig zu gestalten, ihn energieeffizient umzubauen und klimagerecht anzupassen, sind Investitionen erforderlich. Diese betreffen in erster Linie

- Investitionen für die Sanierung des Baubestandes und
- Investitionen für Anlagen erneuerbarer Energieerzeugung.

Im Folgenden werden beide Investitionsgruppen diskutiert.

### Sanierung des Baubestandes

Die Investitionen zur Sanierung des Baubestandes wurden im Rahmen einer speziellen Untersuchung abgeschätzt. Tabelle 28 zeigt die Sanierungskosten im Referenzszenario, Tabelle 29 im Exzellenzszenario (Hartwig & Hegger 2010).

Je nach Stadtraumtyp, Sanierungstiefe und Sanierungsrate ergeben sich unterschiedliche Sanierungskosten. Die jährlichen Investitionen nehmen mit der Zeit zu. Bezogen auf den Hektar Stadtraum sind die Sanierung gründerzeitlicher Gebäude, ihrer Nachahmerbauten und der Wiederaufbauensembles besonders kostenintensiv. Im Gegensatz dazu lassen sich dörfliche und kleinteilige Strukturen sowie Einfamilienhäuser vergleichsweise kostengünstig sanieren. Zu beachten ist, dass die auf den Quadratmeter Wohnfläche bezogenen Sanierungskosten nicht mit den auf den Hektar Stadtraum bezogenen Sanierungskosten vergleichbar sind.

Im Exzellenzszenario ist aufgrund der höheren Sanierungsrate in einigen Stadträumen mit höheren Kosten zu rechnen.

### Erneuerbare Energieerzeugung

Die Investitionen für die Umsetzung einer erneuerbaren Energieversorgung umfassen punktuelle Projekte sowie flächig im Ensemble der Stadträume über die Zeit realisierte Energiepotenziale wie dach- und fassadengestützte Solaranlagen, Erdwärmesonden und Anlagen zur Nutzung anthropogener Wärmequellen. Insofern sind konkrete

Projektinvestitionen und flächig verteilte Einzelinvestitionen zu unterscheiden.

Letztere werden von privaten Initiativen, von Wohnungsbaugesellschaften oder auch von Investoren finanziert, die sich spezifische urbane Flächenressourcen nutzbar machen möchten, wie zum Beispiel solar nutzbare Dach- und Fassadenflächen. Gerade der letzte Aspekt hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen: So gibt es bereits in Modellstädten wie Gelsenkirchen (und seit 2010 auch in Hamburg) ein Solardachkataster, das sowohl Privatleute als auch Investoren nutzen können, um Flächen zur Installation von Photovoltaikanlagen zu finden.

Der Investitionsbedarf ergibt sich somit zum einen aus den konkreten IBA- und Folgeprojekten (ab 2013), zum anderen aus den flächenbezogenen, in den Stadträumen über die Zeit gemeinschaftlich realisierten Energiepotenzialen. Der konkrete Investitionsbedarf wird für die Einzelprojekte spezifisch bestimmt, wogegen der Investitionsbedarf für die flächenbezogenen Optionen allein aufgrund des prognostizierten Zuwachses an erneuerbaren Energiequellen abgeschätzt werden kann. Die Annahmen zur Abschätzung der flächigen Investitionen zeigt Tabelle 30.

Die zukünftigen Investitionen orientieren sich an den jeweiligen Prognosen der Energiegestehungskosten, mit  $k_r$  als Gestehungskosten im Referenzjahr (2007) und  $k_p$  mit den Gestehungskosten im Prognosejahr.

$$inv_p = inv_r \frac{k_p}{k_r}$$

Die Energiegestehungskosten und ihre Entwicklung bis zum Prognosehorizont werden im Abschnitt „Verfahren zur Wirtschaftlichkeit“ diskutiert. Die Kosten für die Erneuerung dezentraler Anlagen werden nicht berücksichtigt.

Die Investitionen für punktuelle Projekte ergeben sich aus dem betrachteten Szenario. Für das Exzellenzszenario 2 sind sie in Tabelle 31 zusammengestellt.

Zusätzlich zu berücksichtigen sind die Kosten für die Produktion von Biomethan ab dem Jahr 2025 (Beginn des Stromüberschusses). Hier wurde ver-

**Tab. 28 Investitionen (in TEUR pro Hektar Stadtraum) im Referenzszenario nach (Hartwig & Hegger 2010).**

SRT	Stadtraumtyp	Investitionen in TEUR pro Hektar <sup>1</sup>		
		2007	2010	2013+
I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	30,3	35,8	41,4
IIa	Baublöcke Gründerzeit < 1938	50,7	60,0	69,2
IIb	Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	61,3	72,4	83,5
IIc	Villen der Gründerzeit < 1938	10,6	12,5	14,4
III	Wiederaufbau 1950er	56,1	66,3	76,5
IV	Dörflich-kleinteilig	11,1	13,1	15,2
V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	27,7	32,7	37,7
VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	14,0	16,6	19,1
VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	23,2	27,4	31,6
VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	19,7	23,3	26,9
VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	24,5	29,0	33,4
VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	0,0	0,0	0,0
VIIIc+	Geschosswohnungsbau P-Haus-Standard	0,0	0,0	0,0
IXa	Einfamilienhäuser	11,6	13,7	15,8
IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	0,0	0,0	0,0
IXb+	Einfamilienhäuser P-Haus-Standard	0,0	0,0	0,0
Xa	Gewerbe	0,0	0,0	0,0
Xa+	Gewerbe P-Haus-Standard	0,0	0,0	0,0
Xb	Industrie + Hafen	0,0	0,0	0,0
Xc	Zweckbaukomplexe	0,0	0,0	0,0
Xc+	Zweckbaukomplexe P-Haus-Standard	0,0	0,0	0,0
Xd	Gewerbe in Mischgebieten	0,0	0,0	0,0
S1	Schumacherbauten 1920-30er	36,8	43,5	50,2

<sup>1</sup> Die Investitionen beziehen sich auf den Hektar Stadtraum.

**Tab. 29 Investitionen (in TEUR pro Hektar Stadtraum) im Exzellenzscenario nach (Hartwig & Hegger 2010).**

SRT	Stadtraumtyp	Investitionen in TEUR pro Hektar <sup>1</sup>		
		2007	2010	2013+
I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	30,3	35,8	41,4
IIa	Baublöcke Gründerzeit < 1938	50,7	60,0	69,2
IIb	Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	61,3	72,4	83,5
IIc	Villen der Gründerzeit < 1938	10,6	12,5	14,4
III	Wiederaufbau 1950er	56,1	66,3	76,5
IV	Dörflich-kleinteilig	11,1	13,1	15,2
V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	27,7	45,3	62,9
VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	14,0	22,9	31,9
VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	23,2	37,9	52,6
VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	19,7	23,3	26,9
VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	24,5	29	33,4
VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	0	0	0
VIIIc+	Geschosswohnungsbau P-Haus-Standard	0	0	0
IXa	Einfamilienhäuser	11,6	13,7	15,8
IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	0	0	0
IXb+	Einfamilienhäuser P-Haus-Standard	0	0	0
Xa	Gewerbe	0	0	0
Xa+	Gewerbe P-Haus-Standard	0	0	0
Xb	Industrie + Hafen	0	0	0
Xc	Zweckbaukomplexe	0	0	0
Xc+	Zweckbaukomplexe P-Haus-Standard	0	0	0
Xd	Gewerbe in Mischgebieten	0	0	0
S1	Schumacherbauten 1920-30er	36,8	43,5	50,2

<sup>1</sup> Die Investitionen beziehen sich auf den Hektar Stadtraum.

**Tab. 30 Investitionen für im Modellraum relevante Optionen der erneuerbaren Energieerzeugung.**

	Option		Spannweite	gewählt
Stromerzeugung	PV	EUR <sub>2010</sub> /m <sup>2</sup>	240-460 <sup>1</sup>	350
	Wind (onshore)	EUR <sub>2010</sub> /kW	700-1000 <sup>2,3</sup>	n.v.G. <sup>4</sup>
	Geothermie (el)	EUR <sub>2010</sub> /kW	7000-9000 <sup>2</sup>	n.v.G. <sup>4</sup>
	Biomasse	EUR <sub>2010</sub> /kW	1500-4500 <sup>2</sup>	n.v.G. <sup>4</sup>
	Biogas	EUR <sub>2010</sub> /kW	1500-4500 <sup>2</sup>	n.v.G. <sup>4</sup>
Wärmebereitstellung	Solarthermie	EUR <sub>2010</sub> /m <sup>2</sup>	1000-1500 <sup>1</sup>	1250
	Erdwärmesonden	EUR <sub>2010</sub> /m	80-100 <sup>1</sup>	90
	Abwasserwärmerückgewinnung	EUR <sub>2010</sub> /kW	1460-2200 <sup>5</sup>	1830
	Geothermie (th)		n.b. <sup>6</sup>	
	Biomasse (th)		n.b. <sup>6</sup>	

<sup>1</sup>Erfahrungswerte Ingenieurbüro A. Graw Osnabrück und eigene Projekte; <sup>2</sup>Greenpeace (2005), <sup>3</sup>(BMU 2004); <sup>4</sup>Gesamtkosten aus vorliegenden Gutachten übernommen; <sup>5</sup>Richtangebote der FEKA-Energiesysteme Bad Ragaz (Schweiz) vom März 2010; <sup>6</sup>nicht bekannt.

**Tab. 31 Investitionen in konkrete Projekte und Folgeprojekte (ab 2014) im Exzellenzszenario 2 (in Mio. EUR). Kosten bis 2013, von 2013 bis 2020 und von 2020 bis 2050.**

Zeitschnitte	Energieberg Georgswerder	Energiebunker Weitquartier	Geothermie Wilhelmsburg	Windparks außerhalb Energieberg	Biomasse für weitere Projekte	Neue Hamburger Terrassen	Neue Mitte Wilhelmsburg	Eibwärmepumpe Veddel	Kirchdorf-Süd
Bis 2013	6,90 <sup>1</sup>	10,83 <sup>1</sup>	28,40 <sup>1</sup>	24,00 <sup>1</sup>	1,50 <sup>1</sup>	2,17 <sup>1</sup>	1,45 <sup>1</sup>		
2013 - 2020	9,23 <sup>2</sup>	14,49 <sup>2</sup>		43,20 <sup>1</sup>			1,94 <sup>2</sup>	5,82 <sup>3</sup>	22,70 <sup>4</sup>
2020 - 2050	6,74 <sup>2</sup>	10,58 <sup>2</sup>		121,50 <sup>1</sup>			1,42 <sup>2</sup>		
<b>Summe</b>	<b>22,87</b>	<b>35,90</b>	<b>28,40</b>	<b>188,70</b>	<b>1,50</b>	<b>2,17</b>	<b>4,81</b>	<b>5,82</b>	<b>22,70</b>

<sup>1</sup>Angaben der Internationalen Bauausstellung IBA Hamburg; <sup>2</sup>Investition hochgerechnet über die Vergrößerung des Wärmenetzes, bezogen auf die Investitionen der IBA-Projekte; <sup>3</sup>angenommen wurden (nach Vergleich mit Praxisprojekten) 1560 EUR/kW Wärmeleistung; <sup>4</sup>ermittelt wurden die Zusatzkosten für die Solarthermie und PV-Anlage (Parkplatz) auf der Grundlage der Anhaltswerte (Tab. 30), Kosten für die PV auf den Zweckbauten und der Abwasserwärmerückgewinnung sind bereits in den flächigen Investitionen enthalten.

einfachend der Mittelwert der IBA-Investitionen für Stromerzeugung und Wärmebereitstellung als charakteristisch für innovative Investitionen interpretiert und auf die Biomethan-Produktion übertragen, die sich zurzeit noch im Versuchsstadium befindet. Dabei wurde eine Laufzeit der Anlagen (Abschreibung) von 25 Jahren angesetzt. Die mittleren Jahresinvestitionen für die Biogasproduktion ergeben sich dann aus einem einfachen Dreisatz zu ca. 1 Mio. EUR bis 2030.

Schließlich sind die Sanierungskosten für den Baubestand der Veddel und Kirchdorf-Süd zu berücksichtigen, die sich nach den Vorgaben der Studie Hartwig & Heger (2010) zu etwa 30 Mio. Euro (Veddel) bzw. 31 Mio. Euro (Kirchdorf-Süd) ergeben. Dafür brauchen keine Investitionen in die Sanierung der Veddel und Kirchdorf-Süd nach 2020 angesetzt zu werden.

## Nutzen

Neben den Kosten für erneuerbarer Energien ist auch der damit verbundene Nutzen zu quantifizieren. Dabei spielen folgende Aspekte eine Rolle:

- Die Einführung erneuerbarer Energien stimuliert Innovationen, die den Standort Deutschland im internationalen Wettbewerb stärken.
- Mit Forschung und Entwicklung sowie der praktischen Umsetzung (Errichtung und Betrieb) regenerativer Technologien entstehen Arbeitsplätze.
- Der Merit-Order-Effekt, also die Strompreisbindung der Börse am teuersten Kraftwerk zur Deckung des Strombedarfes, wird durch die erneuerbaren Energien erheblich gedämpft, der Börsenpreis für Strom sinkt.
- Erneuerbar erzeugte Energie ersetzt die immer teurer werdende konventionelle Energie, die nicht mehr eingekauft werden muss.
- Die CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen verursachen erhebliche volkswirtschaftliche Kosten, die mit erneuerbaren Energien deutlich gesenkt werden.

Die Entwicklung der erneuerbaren Energien hat in Deutschland einen enormen Technologieschub

ausgelöst. Gleichzeitig sind Arbeitsplätze entstanden. Bereits 2008 waren 280.000 Menschen in den Branchen Wind, Solarenergie, Biomasse, Wasserkraft, Geothermie sowie Forschung, Entwicklung und Umsetzung beschäftigt. 2009 waren es schon über 300.000, ein Anstieg von rund 8%. Darüber hinaus senkten die erneuerbaren Energien den Strompreis: 2006 betrug das Merit-Order-Volumen knapp 5 Mrd. EUR. Dies hatte den Effekt einer Preisreduktion am Spotmarkt von durchschnittlich 7,8 EUR pro MWh (BMU 2009a).

In dieser Studie bleiben diese makro-ökonomischen Effekte unberücksichtigt. Ermittelt werden dagegen die Einspareffekte durch die vermiedenen Einkaufskosten für konventionelle Energie, die in Zukunft deutlich ansteigen werden. Geld, das bisher zur Deckung des Energiebedarfes die Region verlassen würde, kann nun im Modellraum investiert werden. Je nach Szenario fallen diese Geldflüsse unterschiedlich aus.

Weiterhin werden die externen volkswirtschaftlichen Kosten beziffert, die durch CO<sub>2</sub>-äquivalente Emissionen entstehen. Sie beinhalten Kosten durch Umwelt- und Klimaschäden und werden mit etwa 70 EUR/t CO<sub>2</sub> abgeschätzt (BMU 2009a). Je nach Szenario ergeben sich auch hier unterschiedliche Einspareffekte.

## Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Bei der klassischen Wirtschaftlichkeitsberechnung werden Kosten und Nutzen gegenübergestellt. Auf der Kostenseite stehen in erster Linie die zu tätigen Investitionen, aber auch die Verzinsung des Kredits, die Betriebskosten und weitere Ausgaben. Auf der Nutzenseite stehen die Gewinne bzw. Einsparungen.

Eine detaillierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung beinhaltet die Ermittlung der Gestehungskosten, des Nettobarwertes der Investition, der statischen Kapitalrendite und des internen Zinsfußes. Tabelle 32 zeigt die aktuellen und zukünftigen Stromgestehungskosten, Tabelle 33 die aktuellen und zukünftigen Wärmegestehungskosten für Optionen

der erneuerbaren Energieerzeugung, die für den Modellraum relevant sind.

Der Nettobarwert *NPV* oder Kapitalwert ist ein Kriterium zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit. Sobald er negativ wird, ist die Investition unwirtschaftlich. Im Energiesektor errechnet er sich nach (Greenpeace 2005)

$$NPV = PF \left( \sum_m E_m - \sum_n K_n \right) - I_0$$

mit  $E_n$  als jährliche Erlöse,  $K_n$  als jährliche Betriebs- und Verbrauchskosten,  $PF$  als Barwertfaktor und  $I_0$  als Investition. Die jährlichen Betriebskosten der Energieoptionen sind in Tabelle 34 als Prozentsatz der Investition dargestellt. Für einige der Optionen liegen noch keine Erfahrungswerte für die Betriebskosten vor.

Die statische Kapitalrendite (Return on Investment ROI) folgt aus

$$ROI = \frac{\sum_m E_m - \sum_n K_n - \frac{I_0}{t_A}}{\frac{I_0}{2}}$$

mit  $t_A$  als Lebensdauer der Anlage.

Der interne Zinsfuß (Internal Rate of Return IRR) ist ein weiteres Kriterium zur Wirtschaftlichkeits-

betrachtung. Er ist eine Funktion der Investition, der jährlichen Erlöse und der jährlichen Betriebs- und Verbrauchskosten und spiegelt die virtuelle Verzinsung des angelegten Kapitals wider, bei dem der Nettobarwert zu Null wird (Greenpeace 2005). Seine Ermittlung erfolgt iterativ.

Eine detaillierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Gesamtheit des Modellraumes ist aufwendig und aufgrund der Unsicherheiten bei der Prognose der relevanten Parameter nicht belastbar. In dieser Studie wird daher die Prüfung der Rentabilität des energetischen Umbaus auf die Abschätzung der Investitionen (Kosten) und der Einsparungen (Nutzen) bis zum Prognosehorizont beschränkt. Dabei werden Zinseffekte nicht berücksichtigt, weder auf der Kosten- noch auf der Nutzenseite.

## Rentabilität

Auf der Grundlage des Energieverbrauches der betrachteten Energieparteien (Haushalte und GHD) und der Begabung des urbanen Ensembles, regenerativ Energie zu erzeugen, lassen sich Kosten und Nutzen des geplanten, energetischen Stadtumbaus abschätzen. Dabei werden auf der Kostenseite die stadtraumtypischen Sanierungskosten und die Investitionen in erneuerbare Energien berücksichtigt. Auf der Nutzenseite werden Einsparungen beim Energieeinkauf und einge-

**Tab. 32** Stromgestehungskosten für im Modellraum relevante Optionen der erneuerbaren Energieerzeugung (Neuanlagen, kursive Zahlen sind interpolierte Werte).

	PV <sup>1</sup>	Wind <sup>1</sup>	Geothermie <sup>1</sup>	Biomasse <sup>1,2</sup>	Biogas <sup>1</sup>
	EUR/kWh	EUR/kWh	EUR/kWh	EUR/kWh	EUR/kWh
2007	0,462	0,086	0,471	0,101	0,128
2010	0,354	0,091	0,211		0,123
2013	0,258	0,101	0,16	0,107	0,118
2020	0,137	0,071	0,06	0,099	0,103
2030	0,106	0,061	0,072	0,072	0,097
2040	0,097	0,054	0,064	0,064	0,090
2050	0,092	0,050	0,061	0,061	0,083

<sup>1</sup>Leitszenario 2009 (BMU 2009b); <sup>2</sup>brennbare Biomasse.

**Tab. 33** Wärmegestehungskosten für im Modellraum relevante Optionen der erneuerbaren Energieerzeugung (Neuanlagen, kursive Zahlen sind interpolierte Werte).

	Solarthermie <sup>1,2</sup>	Erdwärmesonden <sup>1</sup>	Abwasserwärmerückgewinnung <sup>1,3,4</sup>	Geothermie	Biomasse <sup>1,5</sup>
	EUR/kWh	EUR/kWh	EUR/kWh		
2007	<i>0,146</i>	<i>0,158</i>	<i>0,106</i>	n.b. <sup>6</sup>	0,070
2010	0,135	0,150	0,100	n.b. <sup>6</sup>	0,070
2013	<i>0,125</i>	<i>0,143</i>	<i>0,094</i>	n.b. <sup>6</sup>	0,070
2020	0,080	0,125	0,080	n.b. <sup>6</sup>	0,070
2030	0,080	0,100	0,080	n.b. <sup>6</sup>	0,070
2040	0,080	0,080	0,080	n.b. <sup>6</sup>	0,070
2050	0,080	0,075	0,075	n.b. <sup>6</sup>	0,070

<sup>1</sup>Leitstudie 2008, S. 106 (BMU 2008); <sup>2</sup>Modell Deutschland S. 357 (BMU 2009b; Prognos & Öko-Institut 2009); <sup>3</sup>Road Map Erneuerbare Energien Schweiz (SATW 2006), Werte für Wärmepumpen; <sup>4</sup>Ausführungsinformationen in „Heizen und Kühlen mit Abwasser“ (BWP/DBU 2005); <sup>5</sup>Nahwärme; <sup>6</sup>nicht bekannt.

**Tab. 34** Jährliche Betriebskosten als Prozentsatz der Investition.

	Option	Jährliche Betriebskosten	gewählt
		%	
Stromerzeugung	PV	1-2 <sup>1</sup>	1,5
	Wind (onshore)	4-5 <sup>1,2</sup>	n.b. <sup>7</sup>
	Geothermie (el)	1 <sup>3</sup>	n.b. <sup>7</sup>
	Biomasse	15-35 <sup>3,4</sup>	n.b. <sup>7</sup>
	Biogas	10-20 <sup>3,4</sup>	n.b. <sup>7</sup>
Wärmebereitstellung	Solarthermie	1-2 <sup>5</sup>	n.b. <sup>7</sup>
	Erdwärmesonden	1-2 <sup>6</sup>	n.b. <sup>7</sup>
	Abwasserwärmerückgewinnung	1-2 <sup>6</sup>	n.b. <sup>7</sup>
	Geothermie (th)	1 <sup>6</sup>	n.b. <sup>7</sup>
	Biomasse (th)	10-40 <sup>6</sup>	n.b. <sup>7</sup>

<sup>1</sup>Positionspapier zur Novellierung des EEG im Bereich Photovoltaik des Bundesverband Solarindustrie BSI & Unternehmensvereinigung Solarwirtschaft UVS Mai 2003; <sup>2</sup>Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU April 2004; <sup>3</sup>2003 nach Greenpeace (2005); <sup>4</sup>inklusive Brennstoffe (Biomasse); <sup>5</sup>VDI 6002 Blatt 1 Abschnitt 5.2; <sup>6</sup>geschätzt; <sup>7</sup>nicht bekannt.

sparte Kosten durch Umwelt- und Klimaschäden angerechnet.

Abbildung 57 zeigt die jährlichen Investitionen und Einsparungen für das Referenzszenario 1. Dargestellt sind die (negativen) gemeinschaftlichen Investitionen für diffuse (dezentrale) Optionen der erneuerbaren Energieerzeugung (Photovoltaik, Sonnenkollektoren, Erdwärmesonden, Abwasserwärmerückgewinnung). Weiterhin sind die Investitionen für die Sanierung des Bestandes dargestellt, die im Wesentlichen der Reduktion des Heizwärmebedarfes dienen. Außerdem werden die Kosten durch CO<sub>2</sub>-Emissionen berücksichtigt (70 EUR/t CO<sub>2</sub>), die auch Umwelt- und Klimaschäden abdecken (BMU 2009a). Schließlich sind die (vermiedenen) Kosten für den Einkauf von Wärme und Strom dargestellt, die durch die Nutzung erneuerbarer Energien eingespart werden. Sie ergeben sich auf der Grundlage von Prognosen (Prognos & Öko-Institut 2009) und ihrer Hochrechnung auf den Modellraum.

Abbildung 58 zeigt die jährlichen Investitionen und Einsparungen für das Referenzszenario 2 (Moorburg-Szenario). Die Investitionen in dezentrale (diffuse) Anlagen der erneuerbaren Energieerzeugung sind etwas geringer, die Sanierungskosten identisch, die CO<sub>2</sub>-Kosten (ab 2020) höher. Im Vergleich zum Referenzszenario 1 wird deutlich, dass die Kosten durch den Einkauf konventioneller Wärme steigen, die Einsparungen somit deutlich geringer sind. Obwohl die jährlichen Investitionen in (diffuse) erneuerbare Energien kaum geringer und die Sanierungsraten identisch sind, beträgt der Einspareffekt bei der Wärme zum Ende des Prognosehorizonts weniger als die Hälfte des im Referenzszenario 1 prognostizierten.

Abbildung 59 zeigt die Investitionen und Einsparungen im Exzellenzszenario 1, in dem zusätzlich die Projekte der IBA in die Bilanz eingehen. Dabei wird die Wärmebereitstellung durch drei Geothermie-Anlagen dominiert, von denen eine noch während der IBA verwirklicht werden soll. Die jährlichen Investitionen sowohl während als auch nach der IBA sind in der Abbildung dargestellt. Die Investitionen für diffuse erneuerbare Energieoptionen (Photovoltaik, Sonnenkollektoren, Erdwär-

mesonden, Abwasserwärmerückgewinnung) sind vergleichbar mit dem Referenzszenario. Zwar wird im Exzellenzszenario von einer höheren Einführungsrate ausgegangen, doch bewirkt die ebenfalls höhere Sanierungsrate in den Stadträumen V, VI, VII, VIIIa (Wohnen) und Xc (Zweckbauten) eine geringere Energienachfrage. Die Kosten infolge der CO<sub>2</sub>-Emissionen sind niedriger als in den Referenzszenarien und werden zum Ende des Prognosehorizonts quasi Null. Durch die IBA-Projekte können mit der Zeit erhebliche Kosten für den Einkauf von Strom und Wärme eingespart werden, deutlich mehr als in den Referenzszenarien. Dazu kommt der Verkauf von überschüssigem Strom, entweder innerhalb des Modellraumes – zum Beispiel an die Energiepartei „Mobilität“ – oder an Energieverbraucher extra muros.

Im Exzellenzszenario 2 (vgl. Abb. 60) wird das Portfolio erneuerbarer Energien diversifiziert. Zu den IBA-Initiativen kommen ab 2020 weitere Zukunftsprojekte wie die Nutzung der Elbwärme, die solare Aufwertung von Kirchdorf-Süd, ihre Sanierung sowie die Sanierung der Veddel und Effizienzmaßnahmen bei der Abwärme- und Prozesswärmerückgewinnung. Weiterhin wird ab ca. 2025 versucht, das Wärmedefizit durch Nutzung des überschüssigen Stroms auszugleichen. Als Technologie wird hier (exemplarisch) die Produktion von Biomethan angenommen. Hieraus ergeben sich höhere Projektinvestitionen nach Abschluss der IBA. Die Sanierung von Kirchdorf-Süd und der Veddel haben bis 2020 höhere Ausgaben für die Sanierung zur Folge, die jedoch nach 2020 eingespart werden können. Die Einsparungen für den Einkauf von Strom sind bis zum Ende der IBA wie im Exzellenzszenario 1, danach sind sie bis 2020 geringer, dann wieder identisch, da mehr Strom produziert als gebraucht wird (der Bedarf aber in beiden Exzellenzszenarien gleich ist). Es gibt allerdings deutlich weniger überschüssigen Strom, da ein großer Teil davon intra muros in Wärme umgewandelt wird. Somit ist der Gewinn aus dem Verkauf von Strom geringer. Im Gegensatz dazu muss weniger Wärme „eingekauft“ werden.

Der Kosten-Nutzen-Vergleich zeigt, dass die durch die IBA-Initiativen entstehenden Kosten zwar ins



Gewicht fallen, die zukünftigen Einsparungen diese Investitionen jedoch mehr als ausgleichen. Beide Exzellenzscenarien generieren mit der Zeit erheblich höhere Kosteneinsparungen als die Referenzscenarien. Im Exzellenzscenario 2 wird der im nächsten Abschnitt diskutierte höhere thermische Selbstversorgungsgrad „erkauft“ durch geringere Gewinne bei Stromverkauf.

Bei den IBA-Projekten handelt es sich um Zukunftsinvestitionen. Sie dienen der Reduktion der

Abhängigkeit von konventionellen Energien und den damit verbundenen Ausgaben. Gleichzeitig werden die Treibhausgasemissionen reduziert und dadurch weitere Kosten eingespart. Die frei werdenden Mittel können in andere Projekte investiert werden, die dem nachhaltigen Stadtumbau dienen und weitere Wirtschaftsimpulse auslösen.

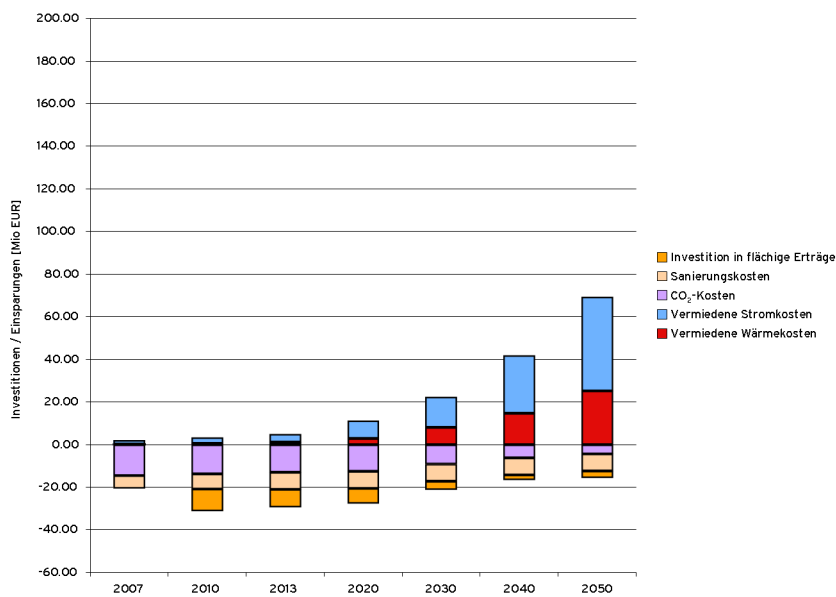


Abb. 57 Jährlichen Investitionen in die Sanierung des Baubestandes, erneuerbare Energien und CO<sub>2</sub>-Kosten sowie Einsparungen beim (konventionellen) Strom- und Wärmeeinkauf für das Referenzszenario 1. Alle Beträge sind auf 2010 bezogen. Weder Inflation noch Zinsen wurden berücksichtigt. Flächige Optionen sind Solarthermie, Erdwärmesonden, Abwasserwärmerückgewinnung und Photovoltaik.

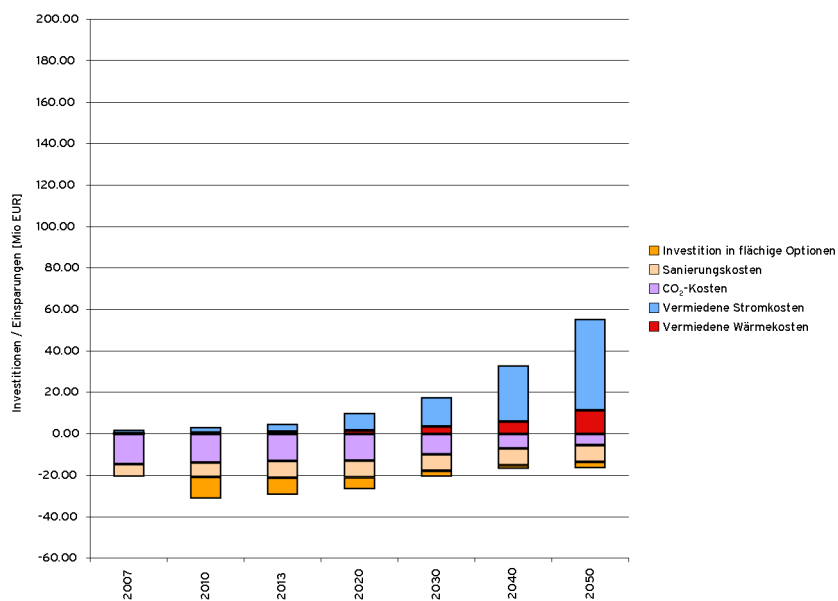


Abb. 58 Jährlichen Investitionen in die Sanierung des Baubestandes, erneuerbare Energien und CO<sub>2</sub>-Kosten sowie Einsparungen beim (konventionellen) Strom- und Wärmeeinkauf für das Referenzszenario 2. Alle Beträge sind auf 2010 bezogen. Weder Inflation noch Zinsen wurden berücksichtigt. Flächige Optionen sind Solarthermie, Erdwärmesonden, Abwasserwärmerückgewinnung und Photovoltaik.

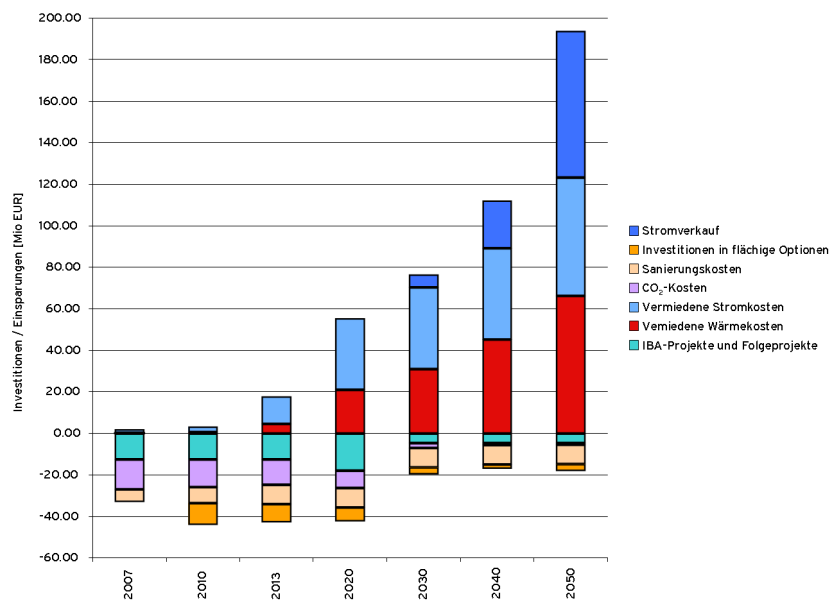


Abb. 59 Jährlichen Investitionen in die Sanierung des Baubestandes, erneuerbare Energien und CO<sub>2</sub>-Kosten sowie Einsparungen beim (konventionellen) Strom- und Wärmeeinkauf für das Exzellenzscenario 1. Alle Beträge sind auf 2010 bezogen. Weder Inflation noch Zinsen wurden berücksichtigt. Flächige Optionen sind Solarthermie, Erdwärmesonden, Abwasserwärmerückgewinnung und Photovoltaik.

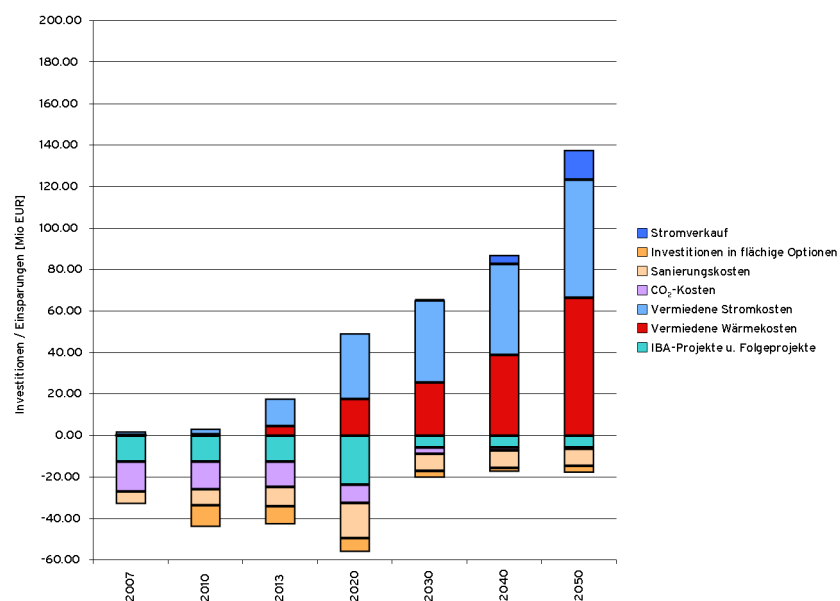


Abb. 60 Jährlichen Investitionen in die Sanierung des Baubestandes, erneuerbare Energien und CO<sub>2</sub>-Kosten sowie Einsparungen beim (konventionellen) Strom- und Wärmeeinkauf für das Exzellenzscenario 2. Alle Beträge sind auf 2010 bezogen. Weder Inflation noch Zinsen wurden berücksichtigt. Flächige Optionen sind Solarthermie, Erdwärmesonden, Abwasserwärmerückgewinnung und Photovoltaik.

# Schlussfolgerungen

Um die Energie- und Klimaziele der Bundesregierung und der Hansestadt Hamburg zu erreichen, sind eine Fülle von Maßnahmen nötig. Diese Studie untersucht mögliche Einspar- und Effizienzmaßnahmen sowie Maßnahmen zur Einführung erneuerbarer Energien. Vor diesem Hintergrund wurden zwei Szenarien untersucht:

- Referenzszenario mit den beiden Unterszenarien Referenzszenario 1 (Fortschreibung der bisherigen Praxis) und Referenzszenario 2 (Berücksichtigung eines Wärmenetzes des Kohlekraftwerkes Moorburg) und
- Exzellenzszenario mit den beiden Unterszenarien Exzellenz 1 (Verstärkte Nutzung der Geothermie) und Exzellenz 2 (Diversifizierung des erneuerbaren Energie-Portfolios).

Zur Beurteilung der regenerativ-energetischen Wirksamkeit der Szenarien werden die regionalen Selbstversorgungsgrade bestimmt, also die Fähigkeit eines Modellraumes, sich selbst mit erneuer-

barer Energie zu versorgen. Ihre Klimarelevanz wird durch die Abschätzung der CO<sub>2</sub>-äquivalenten Einsparpotenziale bestimmt.

Die Ermittlung der regionalen Selbstversorgungsgrade erneuerbarer Energieerzeugung im Stadt- raum basiert auf einer Reihe von Prämissen, Modellrechnungen, Prognosen und Schätzungen. Die Ergebnisse werden durch Bedarfswerte, Potenzialwerte und Kennzahlen der Energiedeckung konkretisiert und mit einem Geo-Informationssystem (GIS) für die Stadträume visualisiert. Dies erlaubt den Vergleich von Szenarien der Energie- und Raumplanung. Ziel dieser Abschätzungen und Berechnungen ist die möglichst vollständige Deckung des Energiebedarfes der Energieparteien „Haushalte“ und „GHD“ mit erneuerbaren Energien innerhalb des IBA-Modellraumes.

Ein wesentlicher Baustein zur Reduzierung des Energiebedarfes ist zunächst die Erhöhung der Energieeffizienz durch energetische Sanierungen,

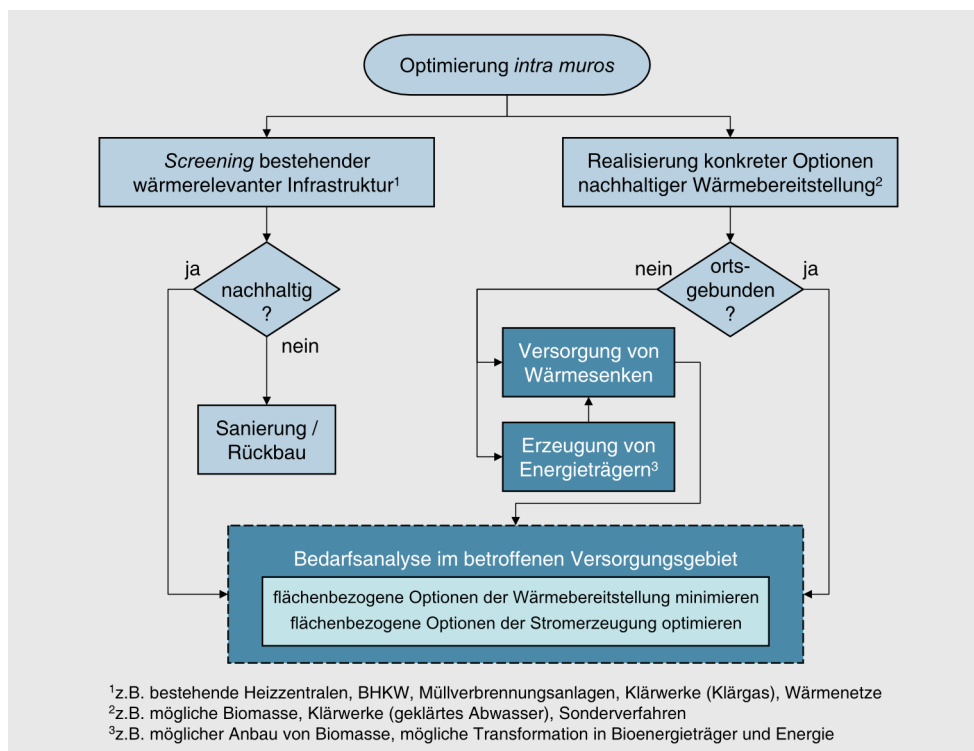


Abb. 61 Optimierung der Energieerzeugung intra muros.

die im Expertensystem über die Einführung von Sanierungsraten abgebildet wird. Der verbleibende Energiebedarf soll möglichst erneuerbar gedeckt werden. Nachdem das Stadtgebiet in prototypische Stadträume eingeteilt wurde, wird für diese Stadträume der Energiebedarf in den gewählten Zeitschnitten bestimmt. Anschließend wird der mögliche Energieertrag für die Optionen erneuerbarer Energieerzeugung auf der Grundlage des stadtraumtypischen Flächenpotenzials ermittelt. Schließlich wird das Potenzial der Energieerzeugung mit dem langfristigen Energiebedarf für alle Stadträume verglichen und in Form von Karten (den Deckungsgradkarten) visualisiert.

Mit den punktuellen Optionen werden gezielt bestehende Wärmesenken bedient. Darüber hinaus gilt grundsätzlich, dass in allen Gebieten, in denen die Wärmebereitstellung mit punktuellen nachhaltigen Potenzialen gelingt, die flächenbezogene Wärmebereitstellung zugunsten der flächenbezogenen Stromerzeugung zurückgenommen wird. Die nachhaltige Energieversorgung intra muros beinhaltet somit praktische Bedarfsanalysen mit dem Ziel

- die flächenbezogenen Optionen der Wärmebereitstellung zu minimieren und

- die flächenbezogenen Optionen der Stromerzeugung zu optimieren.

Dieser Zusammenhang ist im Ablaufdiagramm (Abb. 61) dargestellt.

Punktuelle Potenziale zur Stromproduktion werden ebenfalls räumlich dargestellt und in der Gesamtbilanzierung berücksichtigt.

Im Anhang A (Karten A 26 bis A 33) befindet sich eine Kartenserie zur Darstellung der Entwicklung der regionalen Energieversorgungsgrade in den Zeitschnitten für die Referenzszenarien und die Exzellenzszenarien. Desweiteren sind die punktuellen Energieerzeuger (Wärme und Strom) für die verschiedenen Zeitschnitte dargestellt.

Das Verhältnis des gesamten Energiebedarfes zur erneuerbaren Energieerzeugung bildet den Autarkie- oder Selbstversorgungsgrad, der auf das Modellgebiet bezogen als regionaler Selbstversorgungsgrad bezeichnet wird. Die Abbildungen 62 und 63 zeigen die thermischen und elektrischen regionalen Selbstversorgungsgrade für die beiden Referenzszenarien.

Beim Vergleich der beiden Referenzszenarien wird die erheblich geringere erneuerbare Wärmeerzeugung im Referenzszenario 2 (Moorburg-

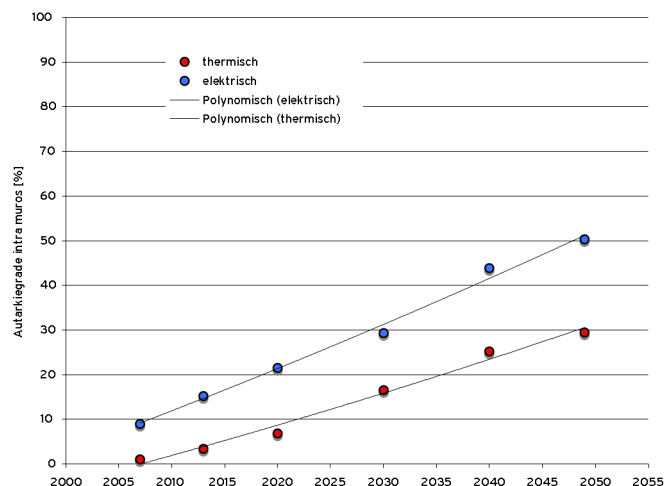


Abb. 62 Regionaler thermischer und elektrischer Selbstversorgungsgrad im Referenzszenario 1 bis zum Prognosehorizont.

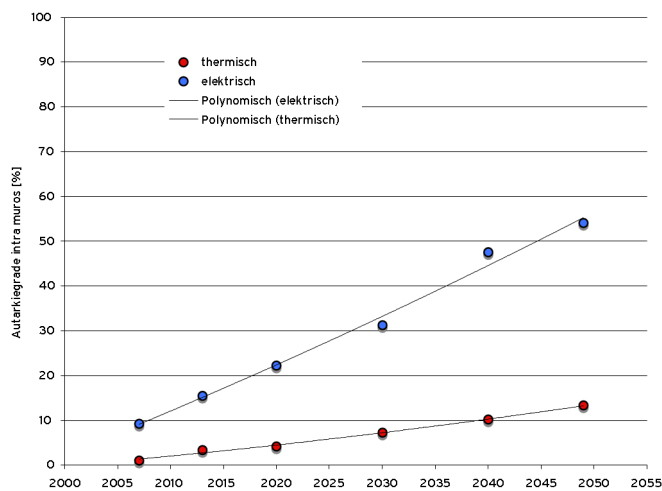


Abb. 63 Regionaler thermischer und elektrischer Selbstversorgungsgrad im Referenzszenario 2 (Moorburg) bis zum Prognosehorizont.

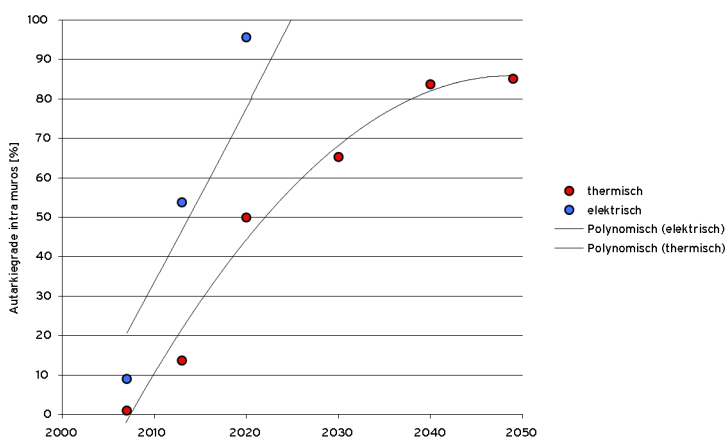


Abb. 64 Regionaler thermischer und elektrischer Selbstversorgungsgrad im Exzellenzszenario 1 bis zum Prognosehorizont.

Szenario) deutlich. Fossile Energie dominiert die Wärmeversorgung und behindert den Aufbau einer regenerativen Selbstversorgung. Weiterhin zeigt sich, dass sich der Stromertrag aus PV im Moorburg-Netz kaum vom Referenzszenario unterscheidet. Dies liegt daran, dass auch im Referenzszenario 1 die photovoltaische Stromproduktion im verdichteten Stadtraum Vorrang vor der Solarthermie (den Sonnenkollektoren) hat, da Warmwasser hier auch mittels Abwasserwärme bereitgestellt werden kann. Der elektrische Selbstversorgungsgrad im Moorburg-Szenario bleibt bis zum Prognosehorizont unter 55%, im Referenzszenario 1 unter 50%.

Die Veränderung des geothermisch dominierten Exzellenzszenarios 1 zu den Referenzszenarien ist deutlich: Hier ist bereits im Jahr 2025 eine elektrische Selbstversorgung der beiden betrachteten Energieparteien (Haushalte und GHD) möglich (Abb. 64). Zum Ende des Prognosehorizontes kann der Strombedarf der Energieparteien mehr als zweimal gedeckt werden (225%). Eine thermische Selbstversorgung wird jedoch nicht erreicht. 2050 beträgt sie 85%, d.h. 15% Wärme sind noch konventionell zu decken.

Im diversifizierten Exzellenzszenario 2 (vgl. Abb. 65, 66 und 67) wird die elektrische Selbstver-

sorgung ebenfalls bis etwa 2025 erreicht. Zum Ende des Prognosehorizontes wird, auch unter Berücksichtigung des Stromverbrauches für die Methanproduktion, noch ein Viertel mehr Strom produziert als gebraucht wird. Die thermische Selbstversorgung liegt 2050 bei 85%. Durch die energetische Schließung von Biomüll-Kreisläufen kann die thermische Selbstversorgung bereits vorher erreicht werden.

Ein weiteres Kriterium der Beurteilung von Szenarien ist ihre Klimaverträglichkeit. Für alle Szenarien wurde daher berechnet, wieviel CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart werden können. Dabei wird zunächst der status-quo für das IBA-Startjahr 2007 definiert. Dafür werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen infolge des Energieverbrauches der Energieparteien Haushalte und GHD bestimmt. In einem zweiten Schritt wird die Einsparung von Treibhausgasen durch Energieeinsparungs- und Effizienzmaßnahmen bestimmt. Im letzten Schritt wird die Einsparung infolge der Einführung regenerativer Energien ermittelt. Für jeden Zeitschnitt lässt sich so das CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial abschätzen.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass auch erneuerbare Energien Treibhausgase emittieren (Bau der Anlage, Transport, Entsorgung, etc.). Allerdings sind diese Emissionen wesentlich geringer als die

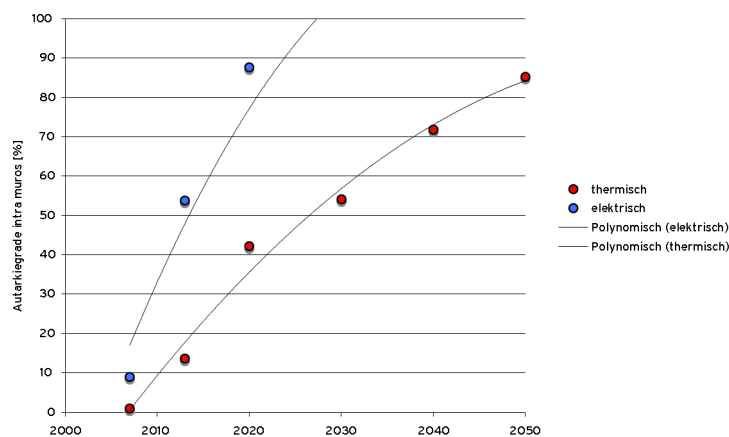


Abb. 65 Regionaler thermischer und elektrischer Selbstversorgungsgrad im Exzellenzszenario 2 bis zum Prognosehorizont.

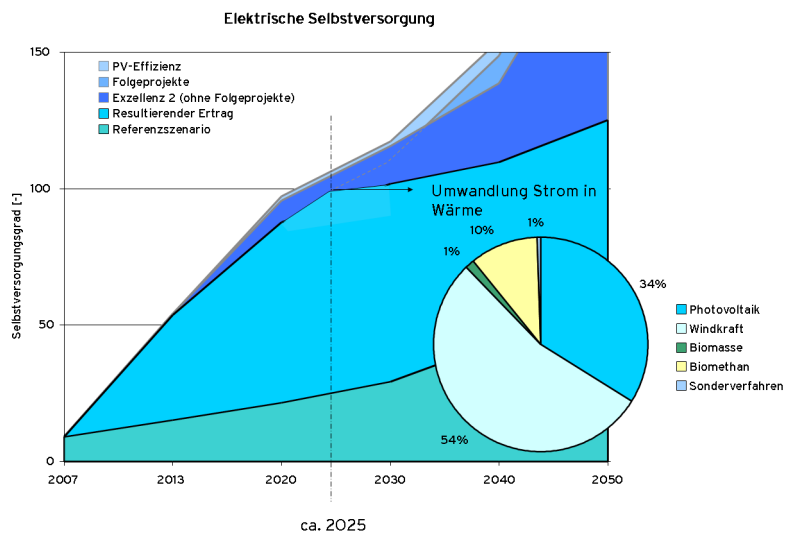


Abb. 66 Die Steigerung der elektrischen Selbstversorgung aufgrund des Szenarienwechsels sowie Zusatz- und Effizienzmaßnahmen. Ab 2025 lässt sich überschüssiger Strom in Wärme verwandeln.

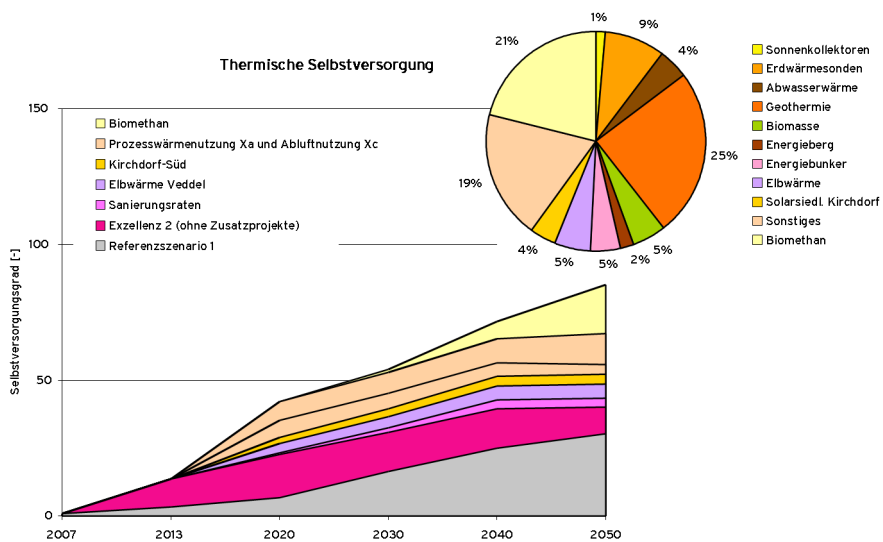


Abb. 67 Die Steigerung der thermischen Selbstversorgung aufgrund des Szenarienwechsels sowie Zusatz- und Effizienzmaßnahmen. Zum Ende des Prognosehorizonts liegt der thermische Selbstversorgung bei 85%.



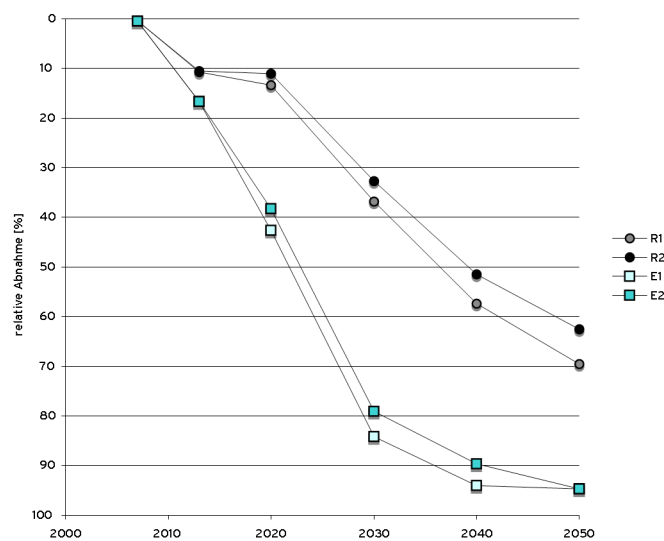


Abb. 68 Vergleichende Darstellung der Treibhausgaseinsparungen für alle Szenarien.

durch fossile Energien verursacht. Weiterhin sind die Emissionen durch den Bau von Wärmenetzen zu berücksichtigen. Hierzu liegen nur wenige Informationen vor. Für die fossil betriebenen Wärmenetze wurden die Emissionsfaktoren bereits im Abschnitt „CO<sub>2</sub>-äquivalente Treibhausgase“ diskutiert. Die regenerativ betriebenen Netze weisen erheblich geringere, je nach Rechenmethode sogar negative Werte auf. Vereinfachend werden sie in dieser Studie als CO<sub>2</sub>-neutral angesehen.

In Abbildung 68 sind die relativen Einsparungen für alle Szenarien noch einmal zusammenfassend dargestellt. Nach dieser Auswertung stellen sich die beiden Exzellenzszenarien am klimafreundlichsten dar.

In den Tabellen 35 bis 38 sind noch einmal alle relevanten Ergebnisse für die gewählten Zeitschnitte zusammengestellt. Neben dem Wärme- und Strombedarf sind der regenerative Wärme- und Stromertrag sowie der Selbstversorgungsgrad dargestellt. Generell nimmt der Wärmebedarf mit der Zeit infolge der Sanierung im Bestand ab. Da in den Exzellenzszenarien in einigen Stadträumen eine höhere Sanierungsrate gilt, nimmt hier der

Wärmebedarf entsprechend schneller ab - trotz der im Vergleich zu den Referenzszenarien stärker zunehmenden Bevölkerung. Der Strombedarf nimmt in allen Szenarien zu, in den Exzellenzszenarien aufgrund der strikteren Effizienz- und Einsparmaßnahmen allerdings weniger. Weiterhin ist zu konstatieren, dass in den Exzellenzszenarien die regenerativen Energien in einem, mit Blick auf die Verknappung fossiler Ressourcen angemessenen Tempo eingeführt werden, wogegen in den Referenzszenarien - insbesondere im Referenzszenario 2 - eine langfristige Bindung an fossile Ressourcen besteht bzw. festgeschrieben wird. Eine elektrische Selbstversorgung ist in den Exzellenzszenarien bis 2025 möglich, eine thermische Selbstversorgung wird bis 2030 bzw. bis zum Prognosehorizont annähernd erreicht. Dabei werden im Vergleich zu den Referenzszenarien erhebliche Mengen an Treibhausgasen eingespart. Darüber hinaus erweisen sich die Investitionen als lohnend (Abschnitt „Investitionen und Rentabilität“), nicht nur wegen der Einsparung der Kosten für konventionelle, immer knapper werdende Energieressourcen, sondern auch mit Blick auf die regionale Wertschöpfung und die Schaffung von Arbeitsplätzen.

**Tab. 35** Entwicklung des Energiebedarfes und der regenerativen Energieerträge, des daraus resultierenden Selbstversorgungsgrades und der Treibhausgasemissionen im Referenzszenario 1.

Wärme	Bedarf	Ertrag (reg.)	Selbstversorgungsgrad
	GWh <sub>[End]</sub> /a	GWh <sub>[End]</sub> /a	%
2007	550	6	1
2013	520	18	3
2020	529	36	7
2030	447	73	16
2040	374	94	25
2050	357	109	30

Strom	Bedarf	Ertrag (reg.)	Selbstversorgungsgrad
	GWh <sub>[End]</sub> /a	GWh <sub>[End]</sub> /a	%
2007	143	13	9
2013	148	22	15
2020	185	40	21
2030	195	57	29
2040	202	88	44
2050	236	118	50

Treibhausgase	CO <sub>2</sub> -Emissionen	Einsparungen
	t CO <sub>2</sub> /a	%
2007	207815	0
2013	184972	11
2020	179515	13
2030	130924	37
2040	88370	57
2050	63118	70

**Tab. 36** Entwicklung des Energiebedarfes und der regenerativen Energieerträge, des daraus resultierenden Selbstversorgungsgrades und der Treibhausgasemissionen im Referenzszenario 2.

Wärme	Bedarf	Ertrag (reg.)	Selbstversorgungsgrad
	GWh <sub>[End]</sub> /a	GWh <sub>[End]</sub> /a	%
2007	550	6	1
2013	520	18	3
2020	529	22	4
2030	447	32	7
2040	374	38	10
2050	357	49	14

Strom	Bedarf	Ertrag (reg.)	Selbstversorgungsgrad
	GWh <sub>[End]</sub> /a	GWh <sub>[End]</sub> /a	%
2007	143	13	9
2013	148	22	15
2020	181	40	22
2030	184	57	31
2040	187	88	47
2050	220	118	54

Treibhausgase	CO <sub>2</sub> -Emissionen	Einsparungen
	t CO <sub>2</sub> /a	%
2007	207815	0
2013	184972	11
2020	184259	11
2030	139507	33
2040	100567	51
2050	77669	63

**Tab. 37** Entwicklung des Energiebedarfes und der regenerativen Energieerträge, des daraus resultierenden Selbstversorgungsgrades und der Treibhausgasemissionen im Exzellenzscenario 1.

Wärme	Bedarf	Ertrag (reg.)	Selbstversorgungsgrad
	GWh <sub>[End]</sub> /a	GWh <sub>[End]</sub> /a	%
2007	550	6	1
2013	521	72	14
2020	526	263	50
2030	427	279	65
2040	342	286	84
2050	335	285	85

Strom	Bedarf	Ertrag (reg.)	Selbstversorgungsgrad
	GWh <sub>[End]</sub> /a	GWh <sub>[End]</sub> /a	%
2007	143	13	9
2013	145	78	54
2020	171	164	96
2030	158	183	116
2040	143	218	152
2050	153	341	224

Treibhausgase	CO <sub>2</sub> -Emissionen	Einsparungen
	t CO <sub>2</sub> /a	%
2007	207815	0
2013	172728	17
2020	118873	43
2030	32724	84
2040	12318	94
2050	11017	95

**Tab. 38** Entwicklung des Energiebedarfes und der regenerativen Energieerträge, des daraus resultierenden Selbstversorgungsgrades und der Treibhausgasemissionen im Exzellenzscenario 2. Der Strombedarf zur Herstellung des Bio-Methans ist beim Ertrag bereits abgezogen.

Wärme	Bedarf	Ertrag (reg.)	Selbstversorgungsgrad
	GWh <sub>[End]</sub> /a	GWh <sub>[End]</sub> /a	%
2007	550	6	1
2013	521	72	14
2020	526	222	42
2030	427	231	54
2040	342	245	72
2050	335	286	85

Strom	Bedarf	Ertrag (reg.)	Selbstversorgungsgrad
	GWh <sub>[End]</sub> /a	GWh <sub>[End]</sub> /a	%
2007	143	13	9
2013	145	78	54
2020	171	150	88
2030	158	161	102
2040	143	157	110
2050	153	191	125

Treibhausgase	CO <sub>2</sub> -Emissionen	Einsparungen
	t CO <sub>2</sub> /a	%
2007	207815	0
2013	172728	17
2020	127900	38
2030	43320	79
2040	21338	90
2050	10945	95

# Schriftenverzeichnis

- AG-Energiebilanzen (2008) Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland 1990-2006 und Auswertungstabellen 1990-2007 ([www.ag-energiebilanzen.de](http://www.ag-energiebilanzen.de)). Berlin, Köln, DIW, EEFA.
- AHZ (2004) Messung Wärmepumpe Helmhaus Zürich: Sanierung Flusswasser-Wärmepumpe. Zürich, Hochbaudepartement der Stadt Zürich, Amt für Hochbau, Faltblatt.
- Bardt, H., M. Demary & M. Voigtländer (2008) Immobilien und Klimaschutz: Potenziale und Hemmnisse. IW-Trends(2): 1-16.
- BBR/BBSR & BMVBS (2009) Nutzung städtischer ‚Freiflächen‘ für erneuerbare Energien (Bearbeitung: Dieter D. Genske, Ariane Ruff, Thomas Joedecke / Redaktion: Lars Porsche, Doris Lorenz). Bonn, Berlin, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), 140.
- BEI (2009) Klimaschutzkonzept Erneuerbares Wilhelmsburg: Ermittlung des Status Quo des Energieverbrauches der Sektoren „private Haushalte“ und „Gewerbe/Handel/Dienstleistungen“ (Bearbeitet von B. Eikmeier und K. Jahn). Bremen, Bremer Energie Institut BEI, 46.
- BMU (2009a) Erneuerbare Energien in Zahlen. Berlin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), 80.
- BMU (2008) Leitstudie 2008: Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas (Bearbeitung: J. Nitsch). Berlin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU, 191.
- BMU (2009) Leitszenario 2009: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbare Energien in Deutschland (Bearb. J. Nitsch, B. Wenzel). Berlin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU 106.
- BMW i & BMU (2009) Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für die Jahre 2004 bis 2006 (B. Schломann, E. Gruber, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung; B. Geiger, H. Kleeberger, U. Wehmhörner, Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik IfE der Technische Universität München; T. Herzog, D.-M. Konopka, GfK Marketing Services GmbH & Co. KG ). Berlin, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMW i), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), 40.
- Bornholdt, H. (2008) Kanäle, Straßen, Eisenbahnen: Die Entwicklung der Verkehrsinfrastruktur in Wilhelmsburg (Eds.) Wilhelmsburg: Hamburgs große Elbinsel. Geschichtswerkstatt Wilhelmsburg Honigfabrik e.V. / Museum Elbinsel e.V., Hamburg, Medien-Verlag-Schubert, 27-39.
- BSU (2010). Hamburger Gebäudetypologie. from <http://www.klima.hamburg.de/energiediagnose/1998140/gebauedetypologie.html>.
- BWP/DBU (2005) Heizen und Kühlen mit Abwasser: Ratgeber für Bauherren und Kommunen. Bundesverband WärmePumpe BWP, Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU, 33.
- Clausen, S. (2008) Wer baut ein Haus? (Eds.) Wilhelmsburg: Hamburgs große Elbinsel. Geschichtswerkstatt Wilhelmsburg Honigfabrik e.V. / Museum Elbinsel e.V., Hamburg, Medien-Verlag-Schubert, 7-26.

- DENA (2006) Besser als ein Neubau: Hocheffizientes Sanieren leicht gemacht. Berlin, Deutsche Energie-Agentur DENA, auf CD.
- Ecofys, RWTH-Aachen & FH-Köln (2004) Leitbilder und Potenziale eines solaren Städtebaus. Köln, Aachen, Köln, Ecofys GmbH Köln, RWTH Aachen, Fachhochschule Köln, 257.
- EnEV (2009) Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung. Bundesregierung, Bundesgesetzblatt Jg. 2009 T. I Nr.23, ausgegeben zu Bonn 30. April 2009.
- Everding, D., Ed. (2007) Solarer Städtebau: Vom Pilotprojekt zum planerischen Leitbild. Stuttgart, W. Kohlhammer.
- Everding, D., ECOFYS, FH-Köln & RWTH-Aachen (2004) Leitbilder und Potenziale des solaren Städtebaus. Köln, Ecofys GmbH, FH-Köln (Institut für Regenerative Energien), RWTH Aachen (Lehrstuhl für Städtebau und Landesplanung), Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), 18.
- Fabig, K. (2009) Energieberg Georgswerder: Auftaktkolloquium Wettbewerb Energieberg. Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Hamburg.
- Falke, M. (2008) Windenergie auf der Elbinsel Wilhelmsburg (IBA Strategielabor 11.11.2008). BSU.
- FEKA (2008). FEKA-Energiesysteme: Energie aus Abwasser. FEKA-Energiesysteme AG. Retrieved 03.08.2008, from [www.feka.ch](http://www.feka.ch).
- FEKA (2009). FEKA-Energiesysteme: Energie aus Abwasser. FEKA-Energiesysteme AG. Retrieved 03.08.2008, from [www.feka.ch](http://www.feka.ch).
- GEMIS (2009) Globalen Emissions-Modell Integrierter Systeme. Darmstadt, Ökoinstitut,
- Genske, D. D. (2006) Ingenieurgeologie: Grundlagen und Anwendung. Berlin Heidelberg New York, Springer, 588.
- IBS (2009) Neue Terrassen Hamburg. Nahwärmeversorgung mit Holzheizung. Bietigheim-Bissingen. Ingenieurbüro Schuler.
- GLA-Hamburg (2009a) Profilschnitt Wilhelmsburg West-Ost. Hamburg, Geologisches Landesamt, 1 (unveröffentlicht).
- GLA-Hamburg (2009b) Quartärbasiskarte im Bereich Wilhelmsburg. Hamburg, Geologisches Landesamt, 1 (unveröffentlicht).
- Göderitz, J., R. Rainer & H. Hoffmann (1957) Die gegliederte und aufgelockerte Stadt. Tübingen / Berlin, Wasmuth, 10.
- Greenpeace (2005) 2000 Megawatt sauber: Die Alternative zum geplanten RWE Braunkohle-Kraftwerk Neurath (Bearbeiter M. Kruska, J. Mey). Hamburg, Greenpeace, 141.
- Greenpeace (2009a) Klimaschutz: Plan B 2050, Energiekonzept für Deutschland (Kurzfassung) (S. Achner, K. Barzantny, S. Vomberg, H.-M. Groscurth, W. Hassenstein, A. Böhlting, T. Breuer). Hamburg, Greenpeace, 149.
- Greenpeace (2009b) Racing Over the Edge - New Science on climate change.
- GTN (2009) Bewertung von energetischen Nutzungsmöglichkeiten der am Standort Hamburg-Wilhelmsburg erschließbaren Thermalsolen. Neubrandenburg, Geothermie Neubrandenburg GmbH GTN, 137.

- Helmsmuseum (2009). Domplatz 2005/2006. Helmsmuseum. Retrieved 19.04.2009, from [www.helmsmuseum.com](http://www.helmsmuseum.com).
- IBA Hamburg (2009a) CO<sub>2</sub>-äquivalente Emissionen des geplanten Moorburg-Wärmenetzes. Hamburg, IBA, unveröffentlichtes Gutachten.
- IBA Hamburg (2009b) Fachauskünfte der IBA Hamburg. Hamburg.
- IPCC (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)). Geneva, Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, 104.
- ISI (2008) CO<sub>2</sub>-Minderung im Stromsektor durch den Einsatz erneuerbarer Energien (bearbeitet von M. Klobasa und M. Ragwitz). Karlsruhe, Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, 36.
- IWU (1994) Empirische Überprüfung der Möglichkeiten und Kosten, im Gebäudebestand und bei Neubauten Energie einzusparen und die Energieeffizienz zu steigern (Endbericht für die Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestags). Darmstadt, Institut für Wohnen und Umwelt.
- Kalberer, D. (2010) Fachauskunft zur Abwasserwärmerückgewinnung der FEKA-Energiesysteme AG. Bad Ragaz, Schweiz.
- Kaltschmitt, M., W. Streicher & A. Wiese (2006) Erneuerbare Energien: Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. Berlin Heidelberg New York, Springer, 702.
- Krieg & Fischer (2008) Präsentation zur Studie Trockenfermentation. Krieg Fischer Ingenieure GmbH.
- Krieger, M. (2006) Geschichte Hamburgs. München, C.H. Beck, 127.
- LfU (2008) Leitfaden zur Abwärmennutzung in Kommunen. Augsburg, Bayrisches Landesamt für Umwelt LfU, 70.
- Markert, M. (2008) Der Sprung über die Elbe: Wilhelmsburgs Weg in die Mitte der Stadt (Eds.) Wilhelmsburg: Hamburgs große Elbinsel. Geschichtswerkstatt Wilhelmsburg Honigfabrik e.V. / Museum Elbinsel e.V., Hamburg, Medien-Verlag-Schubert, 191-213.
- Matthes, F. C. & M. Cames (2000) Energiewende 2020: Der Weg in eine zukunftsfähige Energiewirtschaft. Berlin, Heinrich Böll Stiftung, 95.
- MegaWatt (2008) IBA Hamburg Machbarkeitsuntersuchung für den Energieverbund Neue Mitte Wilhelmsburg. MegaWatt GmbH.
- Norddeutsches-Klimabüro (2009). Norddeutscher Klimaatlas. GKSS-Forschungszentrum. Retrieved 15.07.2009, from [www.norddeutscher-klimaatlas.de](http://www.norddeutscher-klimaatlas.de).
- Paech, F. (2008) „Die ganze menschliche Geschichte“: Die Hamburger Sturmflut von 1962 im Bewusstsein der Wilhelmsburger Bevölkerung (Eds.) Wilhelmsburg: Hamburgs große Elbinsel. Geschichtswerkstatt Wilhelmsburg Honigfabrik e.V. / Museum Elbinsel e.V., Hamburg, Medien-Verlag-Schubert, 161-174.
- Pelzeter, A. (2005) Ursache und Wirkung: Beeinflussung der Lebenszykluskosten eines Gebäudes durch seine Gestaltung. Facility Management(5): 37-40.



- Peterhans, S. (2007) Heizen mit Wärmepumpen: Eine echte Chance. *Haustech* 9: 79-80.
- Prognos & Öko-Institut (2009) Modell Deutschland, Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken (Bearbeiter A. Kirchner, F.C. Matthes et al.). Eine Studie im Auftrag des WWF Deutschland. Basel/Freiburg, Prognos AG, Ökoinstitut, 495.
- Reichow, H. B. (1948) *Organische Stadtbaukunst*. Braunschweig, Westermann, 212.
- Reichow, H. B. (1959) *Die autogerechte Stadt*. Ravensburg, O. Maier, 91.
- SATW (2006) *Road Map Erneuerbare Energien Schweiz / Road map renewable energies Switzerland*. Zürich, Schweizerische Akademie der Wissenschaften SATW, 24.
- SBA (2007) *Gliederung der Klassifikation der Wirtschaftszweige Ausgabe 2008*. Wiesbaden, Statistisches Bundesamt, 56.
- SBA (2008) *Klassifikation der Wirtschaftszweige*. Wiesbaden, Statistisches Bundesamt, 828.
- SBA (2008a) *Energieverbrauch der privaten Haushalte (Begleitmaterial Pressekonferenz 5.11.2008)*. Wiesbaden, 36.
- SBA (2008b) *Klassifikation der Wirtschaftszweige*. Wiesbaden, Statistisches Bundesamt, 828.
- Stern, N. (2006) *Review on the economics of climate change*. London.
- Sterner, M. & M. Specht (2010) *Erneuerbares Methan. Solarzeitalter(1): 51-58*.
- STZ-EGS (2009) *Flakturm / Energiebunker: Ergebnisse neuer Simulationen*. Stuttgart, Steinbeis-Transferzentrum Energie, Gebäude- und Solartechnik, 27.
- UBA (2008) *Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommixes 1990-2006 (Informationsblatt)*. Dessau, Umweltbundesamt UBA.
- UBA (2009) *Politiksznarien für den Klimaschutz V - auf dem Weg zum Strukturwandel*. Dessau, Umweltbundesamt, 284.
- UBW (2007) *Leuchtturmprojekte zur Nutzung erneuerbarer Energien in Baden-Württemberg*. Stuttgart, Umweltministerium Baden-Württemberg.
- Walter, R. & P. Dorn (2007) *Geologie von Mitteleuropa*. Stuttgart, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Wesselak, V. & T. Schabbach (2009) *Regenerative Energietechnik*. Berlin, Heidelberg, New York, Springer, 527.
- ZEWUmobil-23 (2009) *Befragung von 23 Gewerbebetrieben zum Energieverbrauch*. Hamburg, ZEWU-mobil-23, unveröffentlicht.

# Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Entwicklung der Einwohnerzahlen im IBA-Modellraum im Referenzszenario in den Zeitschnitten 2007 bis 2050.....	10
Tab. 2	Entwicklung der Einwohnerzahlen im IBA-Modellraum im Exzellenzszenario in den Zeitschnitten 2007 bis 2050.....	11
Tab. 3	Prototypische Stadträume (SRT) und deren Charakteristik.....	17
Tab. 4	Stadt- und Landschaftsraumtypen und deren Flächenanteile im IBA-Modellraum 2007.....	20
Tab. 5	Entwicklung der Anteile der einzelnen Stadt- und Landschaftsraumtypen im IBA-Modellraum im Referenzszenario in den Zeitschnitten 2007 bis 2050.....	24
Tab. 6	Entwicklung der Anteile der einzelnen Stadt- und Landschaftsraumtypen im IBA-Modellraum im Exzellenzszenario in den Zeitschnitten 2007 bis 2050.....	25
Tab. 7	Sanierungsraten (in Prozent) im IBA-Referenzszenario in den Zeitschnitten.....	30
Tab. 8	Sanierungsraten im IBA-Exzellenzszenario in den Zeitschnitten.....	31
Tab. 9	Entwicklung des Heizenergiebedarfes (Endenergie) in den Referenzszenarien.....	34
Tab. 10	Entwicklung des Heizenergiebedarfes (Endenergie) im Exzellenzszenario.....	35
Tab. 11	Warmwasserbedarf (Endenergie) für Haushalte und Warmwasser-, Prozesswärme- und Brennstoffbedarf für GHD in den Referenzszenarien.....	37
Tab. 12	Warmwasserbedarf (Endenergie) für Haushalte und Warmwasser-, Prozesswärme- und Brennstoffbedarf für GHD im Exzellenzszenario.....	38
Tab. 13	Entwicklung des Strombedarfes (Endenergie) in den Referenzszenarien.....	41
Tab. 14	Entwicklung des Strombedarfes (Endenergie) im Exzellenzszenario.....	42
Tab. 15	Effizienzsteigerungen bei regenerativen Energien bis zum Jahr 2050.....	43
Tab. 16	Geschossflächenzahlen und Energiebezugsflächen im IBA-Modellraum im Referenzszenario in den Zeitschnitten 2007 bis 2050.....	45
Tab. 17	Geschossflächenzahlen und Energiebezugsflächen im IBA-Modellraum im Exzellenzszenario in den Zeitschnitten 2007 bis 2050.....	46
Tab. 18	Mittlere Tagesmitteltemperatur, Heitztage und Gradtagszahlen der Station Hamburg Fuhlsbüttel 2007 sowie für 2050 angepasste Gradtagszahlen (Beispiel). Normierter Warmwasser- und Heizwärmebedarf.....	47
Tab. 19	Stadtraumtypische Solare Gütezahlen nach (Everding 2007), vereinfacht und ergänzt....	60
Tab. 20	Charakteristische Dichten vertikaler Erdwärmesonden (maximale mögliche und praktisch machbare) nach Stadtraumtyp.....	65
Tab. 21	Homogenbereiche, zulässige Bohrtiefen und mittlerer Ertrag der Erdwärmesonden.....	67
Tab. 22	Wirtschaftlichkeit der Abwasserwärmerückgewinnung nach Stadtraumtypen. In der Modellierung wird die Abwasserwärmerückgewinnung nur berücksichtigt, wenn sie wirtschaftlich erscheint.....	69

Tab. 23	Punktuelle und flächenbezogene erneuerbare Energieerträge (Endenergie) im Referenzszenario 1. ....	76
Tab. 24	Punktuelle und flächenbezogene erneuerbare Energieerträge (Endenergie) im Referenzszenario 2. ....	76
Tab. 25	Punktuelle und flächenbezogene erneuerbare Energieerträge (Endenergie) im Exzellenzszenario 1. ....	77
Tab. 26	Punktuelle und flächenbezogene erneuerbare Energieerträge (Endenergie) im Exzellenzszenario 2. ....	78
Tab. 27	Direkte CO <sub>2</sub> -Emissionswerte für verschiedene Formen der Energieerzeugung (ohne Vorkette und Entsorgung).....	88
Tab. 28	Investitionen (in TEUR pro Hektar Stadtraum) im Referenzszenario nach (Hartwig & Hegger 2010).....	94
Tab. 29	Investitionen (in TEUR pro Hektar Stadtraum) im Exzellenzszenario nach (Hartwig & Hegger 2010).....	95
Tab. 30	Investitionen für im Modellraum relevante Optionen der erneuerbaren Energieerzeugung.....	96
Tab. 31	Investitionen in konkrete Projekte und Folgeprojekte (ab 2014) im Exzellenzszenario 2 (in Mio. EUR). Kosten bis 2013, von 2013 bis 2020 und von 2020 bis 2050. ....	96
Tab. 32	Stromgestehungskosten für im Modellraum relevante Optionen der erneuerbaren Energieerzeugung (Neuanlagen, kursive Zahlen sind interpolierte Werte).....	98
Tab. 33	Wärmegestehungskosten für im Modellraum relevante Optionen der erneuerbaren Energieerzeugung (Neuanlagen, kursive Zahlen sind interpolierte Werte).....	99
Tab. 34	Jährliche Betriebskosten als Prozentsatz der Investition.....	99
Tab. 35	Entwicklung des Energiebedarfes und der regenerativen Energieerträge, des daraus resultierenden Selbstversorgungsgrades und der Treibhausgasemissionen im Referenzszenario 1. ....	110
Tab. 36	Entwicklung des Energiebedarfes und der regenerativen Energieerträge, des daraus resultierenden Selbstversorgungsgrades und der Treibhausgasemissionen im Referenzszenario 2. ....	111
Tab. 37	Entwicklung des Energiebedarfes und der regenerativen Energieerträge, des daraus resultierenden Selbstversorgungsgrades und der Treibhausgasemissionen im Exzellenzszenario 1. ....	112
Tab. 38	Entwicklung des Energiebedarfes und der regenerativen Energieerträge, des daraus resultierenden Selbstversorgungsgrades und der Treibhausgasemissionen im Exzellenzszenario 2. Der Strombedarf zur Herstellung des Bio-Methans ist beim Ertrag bereits abgezogen. ....	113

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Geologisches Profil durch Hamburg-Wilhelmsburg (vereinfacht nach GLA-Hamburg 2009a)).	4
Abb. 2	Glaziale Landformen (vereinfacht). Dargestellt ist der Gletscherrand während der Eiszeit (oben) und nach dem Rückzug der Gletscher. Die Vergletscherung hat zu einer Vielzahl geomorphologischer (landschaftsbildender) Formen geführt: E Esker, EM Endmoräne, GM Grundmoräne, GS Gletschersee, K Kames, SA Sander, SÖ Sölle, T Toteisblöcke, U Urstromtal (Genske 2006).	5
Abb. 3	Darstellung der Anteile an Landschaftsraumtypen und der bebauten Flächenanteile im IBA-Modellraum 2007.	16
Abb. 4	Anteile der Stadtraumtypen an der bebauten Fläche im IBA-Modellraum im Jahr 2007.	21
Abb. 5	Heizenergiestandards (WSVO, EnEV) in Deutschland über die Zeit.	28
Abb. 6	Bei logarithmischer Ordinate lassen sich die zukünftigen Heizenergiestandards (pink) durch eine Gerade extrapolieren. Es wird angenommen, dass der Heizwärmebedarf nicht unter $15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ sinkt.	29
Abb. 7	Heizwärmebedarf (Endenergie, Haushalte) nach der Prognose der Leitstudie 2009 (BMU 2009), dem WWF-Referenzszenario des „Modell Deutschland“ (Prognos & Öko-Institut 2009) des IBA-Referenzszenarios und des IBA-Exzellenzszenarios.	32
Abb. 8	Die Veränderungen des Heizwärmebedarfes (Endenergie) der Haushalte im Referenz- und Exzellenzszenario.	32
Abb. 9	Die Veränderungen des Heizwärmebedarfes (Endenergie) von GHD im Referenz- und Exzellenzszenario.	33
Abb. 10	Die Veränderung des Warmwasserbedarfes der Haushalte für das Referenz- und Exzellenzszenario.	36
Abb. 11	Die Veränderungen des Warmwasser-, Prozesswärme- und Kraftstoffbedarfes der Energiepartei GHD für das Referenz- und Exzellenzszenario.	36
Abb. 12	Jahresstromverbrauch von Haushalten bezogen auf die Wohnfläche nach DIN 3807 B2 Tab 6.	39
Abb. 13	Jahrsstromverbrauch von Haushalten bezogen auf die Anzahl der Haushaltsmitglieder nach DIN 3807 B2 Tab 7.	40
Abb. 14	Veränderung des Strombedarfes der Haushalte für das Referenz- und Exzellenzszenario.	40
Abb. 15	Die Veränderungen des Strombedarfes der Energiepartei GHD für das Referenz- und Exzellenzszenario.	40
Abb. 16	Saisonale Schwankungen des normierten Heizwärme- und Warmwasserbedarfes (rot/orange) im Modellgebiet (nach Angaben des DWD und VDI Richtlinie 6002).	48
Abb. 17	Für die Modellierung angenommene Temperatursteigerung (optimistisches Szenario) für die Metropolregion Hamburg nach Daten des Norddeutschen Klimabüros (Norddeutsches-Klimabüro 2009).	49

Abb. 18	Aktueller Heizwärme-, Warmwasser- und Strombedarf (2007) nach Stadtraumtypen.....	51
Abb. 19	Entwicklung des thermischen Bedarfes (Endenergie) der Energiepartei Haushalte im Referenzszenario (WW = Warmwasser, HW = Heizwärme).....	54
Abb. 20	Entwicklung des thermischen Bedarfes (Endenergie) der Energiepartei Haushalte im Exzellenzszenario (WW = Warmwasser, HW = Heizwärme).....	54
Abb. 21	Entwicklung des thermischen Bedarfes (Endenergie) der Energiepartei GHD im Referenzszenario (WW = Warmwasser, HW = Heizwärme).....	55
Abb. 22	Entwicklung des thermischen Bedarfes (Endenergie) der Energiepartei GHD im Exzellenzszenario (WW = Warmwasser, HW = Heizwärme).....	55
Abb. 23	Entwicklung des elektrischen Bedarfes (Endenergie) der Energiepartei Haushalte im Referenzszenario.....	56
Abb. 24	Entwicklung des elektrischen Bedarfes (Endenergie) der Energiepartei Haushalte im Exzellenzszenario.....	56
Abb. 25	Entwicklung des elektrischen Bedarfes (Endenergie) der Energiepartei GHD im Referenzszenario.....	57
Abb. 26	Entwicklung des elektrischen Bedarfes (Endenergie) der Energiepartei GHD im Exzellenzszenario.....	57
Abb. 27	Maximale Dichte vertikaler Erdwärmesonden bei einem thermischen Sicherheitsabstand von mindestens 16m. Die im Modellraum (für die Szenarien) angenommene Dichte entspricht der Hälfte der hier dargestellten Dichte.....	64
Abb. 28	Die Markteinführung im Sektor Photovoltaik nach verschiedenen Prognosen (BMU 2009; Prognos & Öko-Institut 2009; UBA 2009). Die Ordinate zeigt die Steigerung seit 2005. Die Prognosen sind S-förmig, bis auf die Szenarien des UBA, die nur bis 2030 prognostizieren und insofern noch nicht abgeschlossen sind, d.h. die Erschöpfung des Marktes noch nicht erfassen.....	72
Abb. 29	Die Markteinführung im Sektor Photovoltaik bei logarithmischer Ordinate. Die Kurven schmiegen sich asymptotisch an die Marktsättigung an.....	72
Abb. 30	Approximation der Markteinführung für Photovoltaik (hellblau) und Sonnenkollektoren (orange), skaliert auf 1.0 bei Marktsättigung (Ordinate). Ursprungswerte nach Leitszenario (BMU 2009).....	73
Abb. 31	Approximation der Markteinführung für Wärmepumpen, skaliert auf 1.0 bei Marktsättigung (Ordinate). Ursprungswerte nach Leitszenario (BMU 2009).....	73
Abb. 32	An den Modellraum angepasste Approximation der Markteinführung im IBA-Referenzszenario für solare Dach- und Fassadennutzung (PV und Sonnenkollektoren), skaliert auf 1.0 bei Marktsättigung (Ordinate). Ursprungswerte (blau für PV, orange für Sonnenkollektoren) nach Leitszenario (BMU 2009), angepasste Werte (weinrot).....	74

Abb. 33	An den Modellraum angepasste Approximation der Markteinführung im IBA-Referenzszenario für Wärmepumpen, skaliert auf 1.0 bei Marktsättigung (Ordinate). Ursprungswerte (mauve) nach Leitszenario (BMU 2009), angepasste Werte für Erdwärmesonden (weinrot), angepasste Werte für die Abwasserwärmerückgewinnung (orange, siehe Text).....	74
Abb. 34	Wärmebereitstellung durch Wärmenetze und Wärmebedarf im Netzbereich bis zum Prognosehorizont für das Exzellenzszenario 2.....	75
Abb. 35	Zunahme punktueller und flächenbezogener erneuerbarer Wärmeerträge (Endenergie) bis zum Prognosehorizont im Referenzszenario 1. Der Bestand entspricht im Wesentlichen der Wärmebereitstellung durch die Nutzung des Deponiegases.....	80
Abb. 36	Zunahme punktueller und flächenbezogener erneuerbarer Wärmeerträge (Endenergie) bis zum Prognosehorizont im Referenzszenario 2 (Moorburg). Der Bestand entspricht im Wesentlichen der Wärmebereitstellung durch die Nutzung des Deponiegases. ....	80
Abb. 37	Zunahme punktueller und flächenbezogener erneuerbarer Wärmeerträge (Endenergie) bis zum Prognosehorizont im Exzellenzszenario 1. Flächige Optionen sind Solarthermie, Erdwärmesonden und Abwasserwärmerückgewinnung. ....	81
Abb. 38	Zunahme punktueller und flächenbezogener erneuerbarer Wärmeerträge (Endenergie) bis zum Prognosehorizont im Exzellenzszenario 2. Flächige Optionen sind Solarthermie, Erdwärmesonden und Abwasserwärmerückgewinnung. ....	81
Abb. 39	Zunahme punktueller und flächiger erneuerbarer Stromerträge (Endenergie) bis zum Prognosehorizont im Referenzszenario 1. ....	82
Abb. 40	Zunahme punktueller und flächiger erneuerbarer Stromerträge (Endenergie) bis zum Prognosehorizont im Referenzszenario 2 (Moorburg).....	82
Abb. 41	Zunahme punktueller und flächiger erneuerbarer Stromerträge (Endenergie) bis zum Prognosehorizont im Exzellenzszenario 1.....	83
Abb. 42	Zunahme punktueller und flächiger erneuerbarer Stromerträge (Endenergie) bis zum Prognosehorizont im Exzellenzszenario 2.....	83
Abb. 43	Erneuerbarer Wärmemix im IBA-Abschlussjahr (2013) im Exzellenzszenario 1. ....	84
Abb. 44	Erneuerbarer Wärmemix im IBA-Abschlussjahr (2013) im Exzellenzszenario 2. ....	84
Abb. 45	Erneuerbarer Wärmemix 2050 im Exzellenzszenario 1.....	85
Abb. 46	Erneuerbarer Wärmemix 2050 im Exzellenzszenario 2.....	85
Abb. 47	Erneuerbarer Strommix im IBA-Abschlussjahr (2013) im Exzellenzszenario 1. ....	86
Abb. 48	Erneuerbarer Strommix im IBA-Abschlussjahr (2013) im Exzellenzszenario 2. ....	86
Abb. 49	Erneuerbarer Strommix 2050 im Exzellenzszenario 1.....	87
Abb. 50	Erneuerbarer Strommix 2050 im Exzellenzszenario 2.....	87
Abb. 51	Anteile erneuerbarer Energien am Wärme- und Strommix laut Leitszenario 2009 (BMU 2009).....	89

Abb. 52	Abnahme der CO <sub>2</sub> -Emissionen für den Wärme- und Strommix nach dem Leitszenario 2009 (BMU 2009). Für den Wärme- und Strommix ohne regenerativen Anteil werden CO <sub>2</sub> -Emissionen von 339 t CO <sub>2</sub> /GWh und 700 t CO <sub>2</sub> /GWh angenommen. Für einen rein regenerativen Wärme- und Strommix wird vereinfachend der CO <sub>2</sub> -Ausstoß auf Null gesetzt (direkte Emissionen ohne Vorkette und Entsorgung).....	90
Abb. 53	CO <sub>2</sub> -Emissionen der Energieversorgung für Haushalte und GHD im Referenzszenario 1 bis zum Prognosehorizont.....	91
Abb. 54	CO <sub>2</sub> -Emissionen der Energieversorgung für Haushalte und GHD im Referenzszenario 2 bis zum Prognosehorizont.....	91
Abb. 55	CO <sub>2</sub> -Emissionen der Energieversorgung für Haushalte und GHD im Exzellenzszenario 1 bis zum Prognosehorizont.....	92
Abb. 56	CO <sub>2</sub> -Emissionen der Energieversorgung für Haushalte und GHD im Exzellenzszenario 2 bis zum Prognosehorizont.....	92
Abb. 57	Jährlichen Investitionen in die Sanierung des Baubestandes, erneuerbare Energien und CO <sub>2</sub> -Kosten sowie Einsparungen beim (konventionellen) Strom- und Wärmeeinkauf für das Referenzszenario 1. Alle Beträge sind auf 2010 bezogen. Weder Inflation noch Zinsen wurden berücksichtigt. Flächige Optionen sind Solarthermie, Erdwärmesonden, Abwasserwärmerrückgewinnung und Photovoltaik.....	102
Abb. 58	Jährlichen Investitionen in die Sanierung des Baubestandes, erneuerbare Energien und CO <sub>2</sub> -Kosten sowie Einsparungen beim (konventionellen) Strom- und Wärmeeinkauf für das Referenzszenario 2. Alle Beträge sind auf 2010 bezogen. Weder Inflation noch Zinsen wurden berücksichtigt. Flächige Optionen sind Solarthermie, Erdwärmesonden, Abwasserwärmerrückgewinnung und Photovoltaik.....	102
Abb. 59	Jährlichen Investitionen in die Sanierung des Baubestandes, erneuerbare Energien und CO <sub>2</sub> -Kosten sowie Einsparungen beim (konventionellen) Strom- und Wärmeeinkauf für das Exzellenzszenario 1. Alle Beträge sind auf 2010 bezogen. Weder Inflation noch Zinsen wurden berücksichtigt. Flächige Optionen sind Solarthermie, Erdwärmesonden, Abwasserwärmerrückgewinnung und Photovoltaik.....	103
Abb. 60	Jährlichen Investitionen in die Sanierung des Baubestandes, erneuerbare Energien und CO <sub>2</sub> -Kosten sowie Einsparungen beim (konventionellen) Strom- und Wärmeeinkauf für das Exzellenzszenario 2. Alle Beträge sind auf 2010 bezogen. Weder Inflation noch Zinsen wurden berücksichtigt. Flächige Optionen sind Solarthermie, Erdwärmesonden, Abwasserwärmerrückgewinnung und Photovoltaik.....	103
Abb. 61	Optimierung der Energieerzeugung intra muros.....	104
Abb. 62	Regionaler thermischer und elektrischer Selbstversorgungsgrad im Referenzszenario 1 bis zum Prognosehorizont.....	105
Abb. 63	Regionaler thermischer und elektrischer Selbstversorgungsgrad im Referenzszenario 2 (Moorburg) bis zum Prognosehorizont.....	106

Abb. 64	Regionaler thermischer und elektrischer Selbstversorgungsgrad im Exzellenzscenario 1 bis zum Prognosehorizont. ....	106
Abb. 65	Regionaler thermischer und elektrischer Selbstversorgungsgrad im Exzellenzscenario 2 bis zum Prognosehorizont. ....	107
Abb. 66	Die Steigerung der elektrischen Selbstversorgung aufgrund des Szenarienwechsels sowie Zusatz- und Effizienzmaßnahmen. Ab 2025 lässt sich überschüssiger Strom in Wärme verwandeln.....	108
Abb. 67	Die Steigerung der thermischen Selbstversorgung aufgrund des Szenarienwechsels sowie Zusatz- und Effizienzmaßnahmen. Zum Ende des Prognosehorizonts liegt der thermische Selbstversorgung bei 85%.....	108
Abb. 68	Vergleichende Darstellung der Treibhausgaseinsparungen für alle Szenarien. ....	109



# Kartenverzeichnis

Karte 1	Stadtraumspezifische Bevölkerungsdichte (Einwohner pro Hektar) im IBA-Modellraum im Referenzszenario im Jahr 2007.....	8
Karte 2	Einteilung des IBA-Modellraumes in prototypische Stadt- und Landschaftsräume im Jahr 2007. ....	22
Karte 3	Prototypische Stadt- und Landschaftsräume im IBA Modellraum im Referenzszenario im Jahr 2050.....	26
Karte 4	Prototypische Stadt- und Landschaftsräume im IBA Modellraum im Exzellenzszenario im Jahr 2050.....	27
Karte 5	Aktueller Wärme- und Warmwasserbedarf für die Energieparteien Haushalte und GHD (2007) (inklusive Prozesswärme für GHD) im IBA-Modellraum.....	52
Karte 6	Aktueller Strombedarf der Energieparteien Haushalte und GHD im IBA-Modellraum (2007). ....	53
Karte 7	Maximal mögliche PV-Stromerträge bezogen auf die Stadtraumtypenverteilung im Jahr 2007.....	62
Karte 8	Maximal mögliche Solarthermieerträge bezogen auf die Stadtraumtypenverteilung im Jahr 2007.....	63
Karte 9	Homogenbereiche (Bohrtiefen) für Erdwärmesonden.....	66
Karte 10	Maximal technisch machbarer Wärmeertrag vertikaler Erdwärmesonden für stadtraumtypische Erdwärmesondendichten bezogen auf die Stadtraumtypenverteilung im Jahr 2007.....	68
Karte 11	Maximal technisch machbarer Wärmeertrag aus Abwasserwärmerückgewinnung bezogen auf die Stadtraumtypenverteilung im Jahr 2007.....	70

# Anhang

## A Kartenwerk

# Ausbaugrad der Wärmenetze

Karte A1 Ausbaugrad der Wärmenetze im Referenzszenario 2 im Jahr 2050.



- Vorindustriell/Altstadt < 1840
- Baublöcke Gründerzeit < 1938
- Nachahmerbauten Stil IIa > 1990
- Villen der Gründerzeit < 1938
- Wiederaufbau/Nachahm. IIa 1950-80er
- Dörflich-kleinteilig
- Wohlfahrt Siedlung Vorkriegszeit < 1938
- WS Soz. Wohnungsbau 1950er
- HH WS 70er Platte NBL 1970er
- Geschosswohnungsbau 1960-80er
- Geschosswohnungsbau 1990er
- Geschosswohnungsbau Niedrigenergie
- Geschosswohnungsbau Passivhaus-Standard
- Einfamilienhäuser

- Einfamilienhäuser Niedrigenergie
- Einfamilienhäuser Passivhaus-Standard
- Schumacherbauten 1920-30er
- Gewerbe
- Gewerbe Passivhaus-Standard
- Zweckbauten u. öffentliche Einrichtungen
- Zweckbaukomplexe Passivhaus-Standard
- Industrie
- Grünflächen
- Landwirtschafts-/Gartenbauflächen
- Restflächen
- Wasserflächen
- Regenerative Wärmenetze
- Fossile Wärmenetze

Karte A2 Ausbaugrad der Wärmenetze im Exzellenzszenario 2 im Jahr 2013.



- |  |   |
|--|---|
| <span style="color: blue;">■</span> Vorindustriell/Altstadt < 1840             | <span style="color: orange;">■</span> Einfamilienhäuser Niedrigenergie        |
| <span style="color: purple;">■</span> Baublöcke Gründerzeit < 1938             | <span style="color: yellow;">■</span> Einfamilienhäuser Passivhaus-Standard   |
| <span style="color: magenta;">■</span> Nachahmerbauten Stil IIa > 1990         | <span style="color: limegreen;">■</span> Schumacherbauten 1920-30er           |
| <span style="color: pink;">■</span> Villen der Gründerzeit < 1938              | <span style="color: brown;">■</span> Gewerbe                                  |
| <span style="color: lightpink;">■</span> Wiederaufbau/Nachahm. IIa 1950-80er   | <span style="color: darkbrown;">■</span> Gewerbe Passivhaus-Standard          |
| <span style="color: lightgrey;">■</span> Dörflich-kleinteilig                  | <span style="color: black;">■</span> Zweckbauten u. öffentliche Einrichtungen |
| <span style="color: darkred;">■</span> Wohlfahrt Siedlung Vorkriegszeit < 1938 | <span style="color: grey;">■</span> Zweckbaukomplexe Passivhaus-Standard      |
| <span style="color: red;">■</span> WS Soz. Wohnungsbau 1950er                  | <span style="color: lightgrey;">■</span> Industrie                            |
| <span style="color: darkred;">■</span> HH WS 70er Platte NBL 1970er            | <span style="color: lightgreen;">■</span> Grünflächen                         |
| <span style="color: red;">■</span> Geschosswohnungsbau 1960-80er               | <span style="color: lightgreen;">■</span> Landwirtschafts-/Gartenbauflächen   |
| <span style="color: pink;">■</span> Geschosswohnungsbau 1990er                 | <span style="color: lightgrey;">■</span> Restflächen                          |
| <span style="color: lightpink;">■</span> Geschosswohnungsbau Niedrigenergie    | <span style="color: lightblue;">■</span> Wasserflächen                        |
| <span style="color: brown;">■</span> Geschosswohnungsbau Passivhaus-Standard   | <span style="color: limegreen;">▬</span> Regenerative Wärmenetze              |
| <span style="color: orange;">■</span> Einfamilienhäuser                        | <span style="color: black;">▬</span> Fossile Wärmenetze                       |

Karte A3 Ausbaugrad der Wärmenetze im Exzellenzscenario 2 im Jahr 2050.



- Vorindustriell/Altstadt < 1840
- Baublöcke Gründerzeit < 1938
- Nachahmerbauten Stil IIa > 1990
- Villen der Gründerzeit < 1938
- Wiederaufbau/Nachahm. IIa 1950-80er
- Dörflich-kleinteilig
- Wohlfahrt Siedlung Vorkriegszeit < 1938
- WS Soz. Wohnungsbau 1950er
- HH WS 70er Platte NBL 1970er
- Geschosswohnungsbau 1960-80er
- Geschosswohnungsbau 1990er
- Geschosswohnungsbau Niedrigenergie
- Geschosswohnungsbau Passivhaus-Standard
- Einfamilienhäuser

- Einfamilienhäuser Niedrigenergie
- Einfamilienhäuser Passivhaus-Standard
- Schumacherbauten 1920-30er
- Gewerbe
- Gewerbe Passivhaus-Standard
- Zweckbauten u. öffentliche Einrichtungen
- Zweckbaukomplexe Passivhaus-Standard
- Industrie
- Grünflächen
- Landwirtschafts-/Gartenbauflächen
- Restflächen
- Wasserflächen
- Regenerative Wärmenetze
- Fossile Wärmenetze

# Flächenentwicklung in den Zeitschnitten für beide Grundscenarien

Karte A4 Einteilung des IBA-Modellraumes in Stadt- und Landschaftsraumtypen im Jahr 2007.



- |  |  |
|--|--|
| <span style="color: blue;">■</span> Vorindustriell/Altstadt < 1840             | <span style="color: orange;">■</span> Einfamilienhäuser                          |
| <span style="color: purple;">■</span> Baublöcke Gründerzeit < 1938             | <span style="color: yellow;">■</span> Einfamilienhäuser Niedrigenergie           |
| <span style="color: magenta;">■</span> Nachahmerbauten Stil IIa > 1990         | <span style="color: lightyellow;">■</span> Einfamilienhäuser Passivhaus-Standard |
| <span style="color: pink;">■</span> Villen der Gründerzeit < 1938              | <span style="color: yellowgreen;">■</span> Schumacherbauten 1920-30er            |
| <span style="color: lightpink;">■</span> Wiederaufbau/Nachahm. IIa 1950-80er   | <span style="color: brown;">■</span> Gewerbe                                     |
| <span style="color: lightcoral;">■</span> Dörflich-kleinteilig                 | <span style="color: darkbrown;">■</span> Gewerbe Passivhaus-Standard             |
| <span style="color: darkred;">■</span> Wohlfahrt Siedlung Vorkriegszeit < 1938 | <span style="color: black;">■</span> Zweckbauten u. öffentliche Einrichtungen    |
| <span style="color: red;">■</span> WS Soz. Wohnungsbau 1950er                  | <span style="color: grey;">■</span> Zweckbaukomplexe Passivhaus-Standard         |
| <span style="color: darkorange;">■</span> HH WS 70er Platte NBL 1970er         | <span style="color: lightgrey;">■</span> Industrie                               |
| <span style="color: orange;">■</span> Geschosswohnungsbau 1960-80er            | <span style="color: lightgreen;">■</span> Grünflächen                            |
| <span style="color: lightorange;">■</span> Geschosswohnungsbau 1990er          | <span style="color: palegreen;">■</span> Landwirtschafts-/Gartenbauflächen       |
| <span style="color: peachpuff;">■</span> Geschosswohnungsbau Niedrigenergie    | <span style="color: white;">■</span> Restflächen                                 |
| <span style="color: brown;">■</span> Geschosswohnungsbau Passivhaus-Standard   | <span style="color: white;">■</span> Wasserflächen                               |

Karte A5 Entwicklung der Stadt- und Landschaftsraumtypen im Referenzszenario im Jahr 2013.  
(dargestellt ist nur die Veränderung der Stadt- und Landschaftsraumtypen)



- |  |  |
|--|--|
| <span style="color: blue;">■</span> Vorindustriell/Altstadt < 1840             | <span style="color: orange;">■</span> Einfamilienhäuser                          |
| <span style="color: purple;">■</span> Baublöcke Gründerzeit < 1938             | <span style="color: yellow;">■</span> Einfamilienhäuser Niedrigenergie           |
| <span style="color: magenta;">■</span> Nachahmerbauten Stil IIa > 1990         | <span style="color: lightyellow;">■</span> Einfamilienhäuser Passivhaus-Standard |
| <span style="color: pink;">■</span> Villen der Gründerzeit < 1938              | <span style="color: limegreen;">■</span> Schumacherbauten 1920-30er              |
| <span style="color: lightpink;">■</span> Wiederaufbau/Nachahm. IIa 1950-80er   | <span style="color: brown;">■</span> Gewerbe                                     |
| <span style="color: lightpink;">■</span> Dörflich-kleinteilig                  | <span style="color: darkbrown;">■</span> Gewerbe Passivhaus-Standard             |
| <span style="color: darkred;">■</span> Wohlfahrt Siedlung Vorkriegszeit < 1938 | <span style="color: black;">■</span> Zweckbauten u. öffentliche Einrichtungen    |
| <span style="color: red;">■</span> WS Soz. Wohnungsbau 1950er                  | <span style="color: black;">■</span> Zweckbaukomplexe Passivhaus-Standard        |
| <span style="color: darkred;">■</span> HH WS 70er Platte NBL 1970er            | <span style="color: grey;">■</span> Industrie                                    |
| <span style="color: red;">■</span> Geschosswohnungsbau 1960-80er               | <span style="color: lightgreen;">■</span> Grünflächen                            |
| <span style="color: red;">■</span> Geschosswohnungsbau 1990er                  | <span style="color: lightgreen;">■</span> Landwirtschafts-/Gartenbauflächen      |
| <span style="color: lightred;">■</span> Geschosswohnungsbau Niedrigenergie     | <span style="color: lightgrey;">■</span> Restflächen                             |
| <span style="color: brown;">■</span> Geschosswohnungsbau Passivhaus-Standard   | <span style="color: lightgrey;">■</span> Wasserflächen                           |

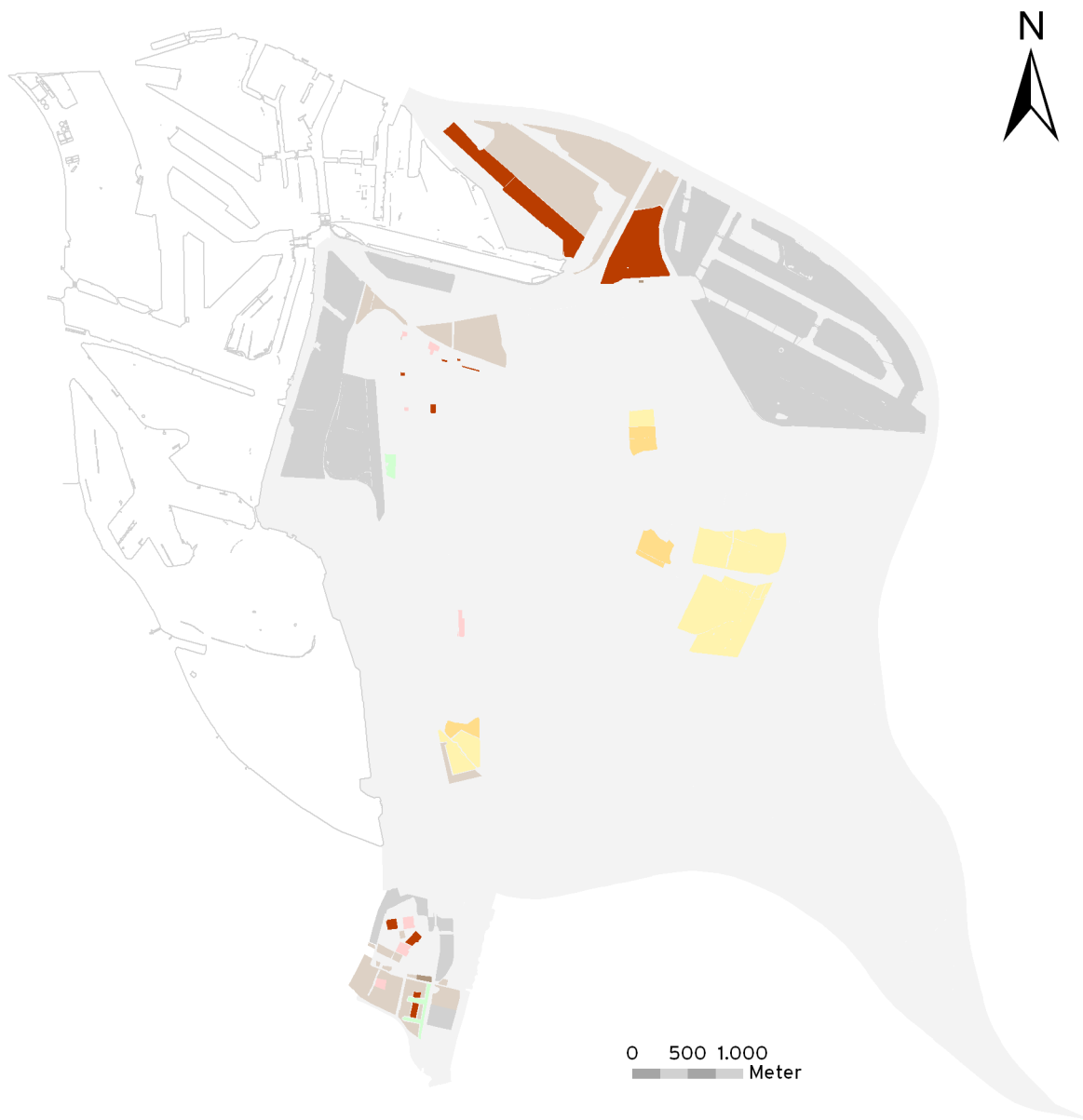
Karte A6 Entwicklung der Stadt- und Landschaftsraumtypen im Referenzszenario im Jahr 2020.  
(dargestellt ist nur die Veränderung der Stadt- und Landschaftsraumtypen)



- |  |  |
|--|--|
| <span style="color: blue;">■</span> Vorindustriell/Altstadt < 1840             | <span style="color: orange;">■</span> Einfamilienhäuser                          |
| <span style="color: purple;">■</span> Baublöcke Gründerzeit < 1938             | <span style="color: yellow;">■</span> Einfamilienhäuser Niedrigenergie           |
| <span style="color: magenta;">■</span> Nachahmerbauten Stil IIa > 1990         | <span style="color: lightyellow;">■</span> Einfamilienhäuser Passivhaus-Standard |
| <span style="color: pink;">■</span> Villen der Gründerzeit < 1938              | <span style="color: limegreen;">■</span> Schumacherbauten 1920-30er              |
| <span style="color: lightpink;">■</span> Wiederaufbau/Nachahm. IIa 1950-80er   | <span style="color: brown;">■</span> Gewerbe                                     |
| <span style="color: lightcoral;">■</span> Dörflich-kleinteilig                 | <span style="color: darkbrown;">■</span> Gewerbe Passivhaus-Standard             |
| <span style="color: darkred;">■</span> Wohlfahrt Siedlung Vorkriegszeit < 1938 | <span style="color: black;">■</span> Zweckbauten u. öffentliche Einrichtungen    |
| <span style="color: red;">■</span> WS Soz. Wohnungsbau 1950er                  | <span style="color: grey;">■</span> Zweckbaukomplexe Passivhaus-Standard         |
| <span style="color: darkred;">■</span> HH WS 70er Platte NBL 1970er            | <span style="color: grey;">■</span> Industrie                                    |
| <span style="color: red;">■</span> Geschosswohnungsbau 1960-80er               | <span style="color: lightgreen;">■</span> Grünflächen                            |
| <span style="color: red;">■</span> Geschosswohnungsbau 1990er                  | <span style="color: lightgreen;">■</span> Landwirtschafts-/Gartenbauflächen      |
| <span style="color: pink;">■</span> Geschosswohnungsbau Niedrigenergie         | <span style="color: lightgrey;">■</span> Restflächen                             |
| <span style="color: orange;">■</span> Geschosswohnungsbau Passivhaus-Standard  | <span style="color: lightgrey;">■</span> Wasserflächen                           |



Karte A7 Entwicklung der Stadt- und Landschaftsraumtypen im Referenzszenario im Jahr 2050.  
 (dargestellt ist nur die Veränderung der Stadt- und Landschaftsraumtypen)



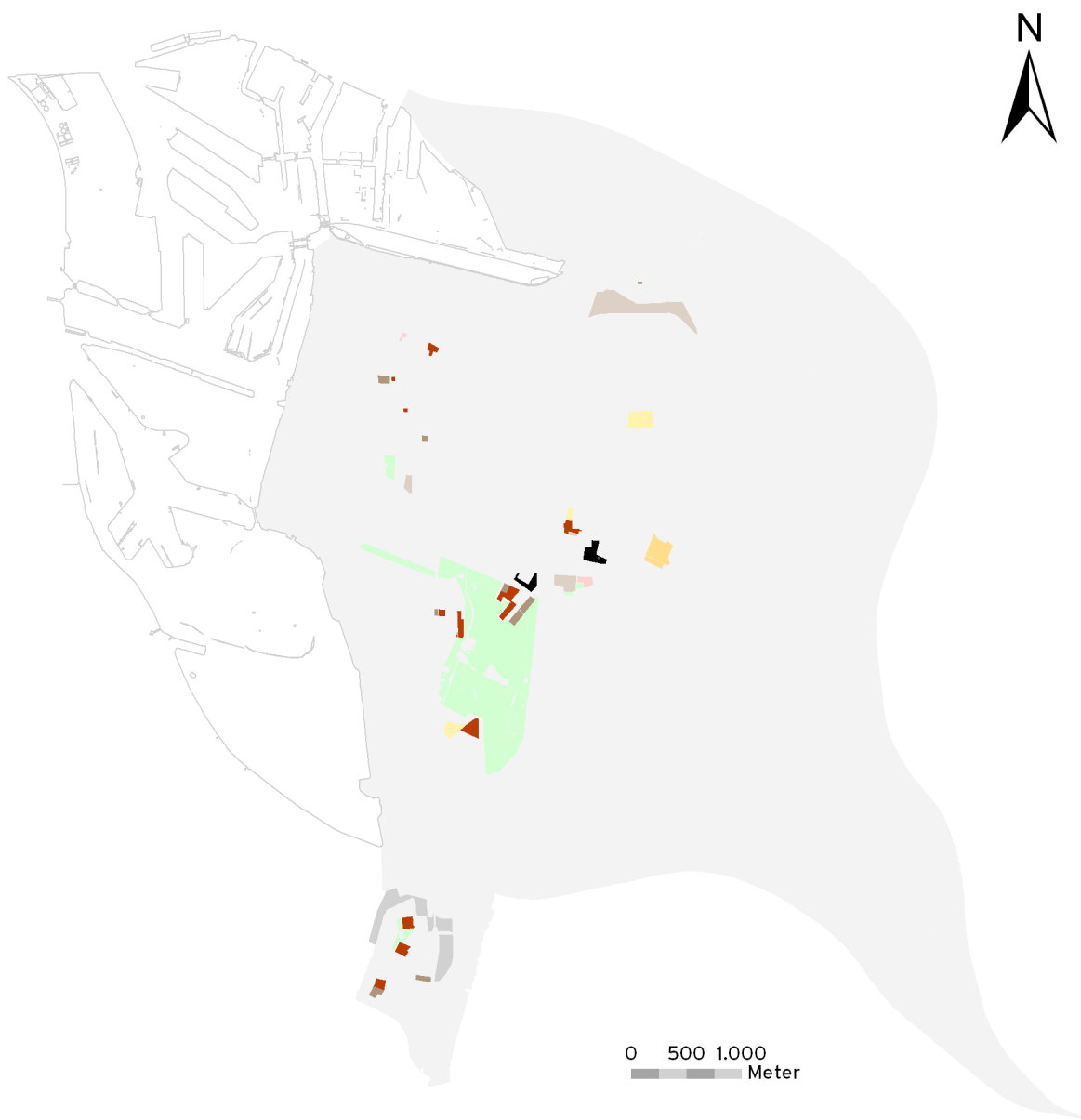
- |  |   |
|--|---|
| <span style="color: blue;">■</span> Vorindustriell/Altstadt < 1840             | <span style="color: orange;">■</span> Einfamilienhäuser                           |
| <span style="color: purple;">■</span> Baublöcke Gründerzeit < 1938             | <span style="color: yellow;">■</span> Einfamilienhäuser Niedrigenergie            |
| <span style="color: magenta;">■</span> Nachahmerbauten Stil IIa > 1990         | <span style="color: lightyellow;">■</span> Einfamilienhäuser Passivhaus-Standard  |
| <span style="color: pink;">■</span> Villen der Gründerzeit < 1938              | <span style="color: yellowgreen;">■</span> Schumacherbauten 1920-30er             |
| <span style="color: lightpink;">■</span> Wiederaufbau/Nachahm. IIa 1950-80er   | <span style="color: tan;">■</span> Gewerbe  |
| <span style="color: lightcoral;">■</span> Dörflich-kleinteilig                 | <span style="color: brown;">■</span> Gewerbe Passivhaus-Standard                  |
| <span style="color: darkred;">■</span> Wohlfahrt Siedlung Vorkriegszeit < 1938 | <span style="color: darkbrown;">■</span> Zweckbauten u. öffentliche Einrichtungen |
| <span style="color: red;">■</span> WS Soz. Wohnungsbau 1950er                  | <span style="color: black;">■</span> Zweckbaukomplexe Passivhaus-Standard         |
| <span style="color: darkred;">■</span> HH WS 70er Platte NBL 1970er            | <span style="color: gray;">■</span> Industrie                                     |
| <span style="color: red;">■</span> Geschosswohnungsbau 1960-80er               | <span style="color: lightgreen;">■</span> Grünflächen                             |
| <span style="color: red;">■</span> Geschosswohnungsbau 1990er                  | <span style="color: lightgreen;">■</span> Landwirtschafts-/Gartenbauflächen       |
| <span style="color: lightcoral;">■</span> Geschosswohnungsbau Niedrigenergie   | <span style="color: lightgray;">■</span> Restflächen                              |
| <span style="color: orange;">■</span> Geschosswohnungsbau Passivhaus-Standard  | <span style="color: lightgray;">■</span> Wasserflächen                            |

Karte A8 Einteilung des IBA-Modellraumes in Stadt- und Landschaftsraumtypen im Referenzszenario im Jahr 2050.



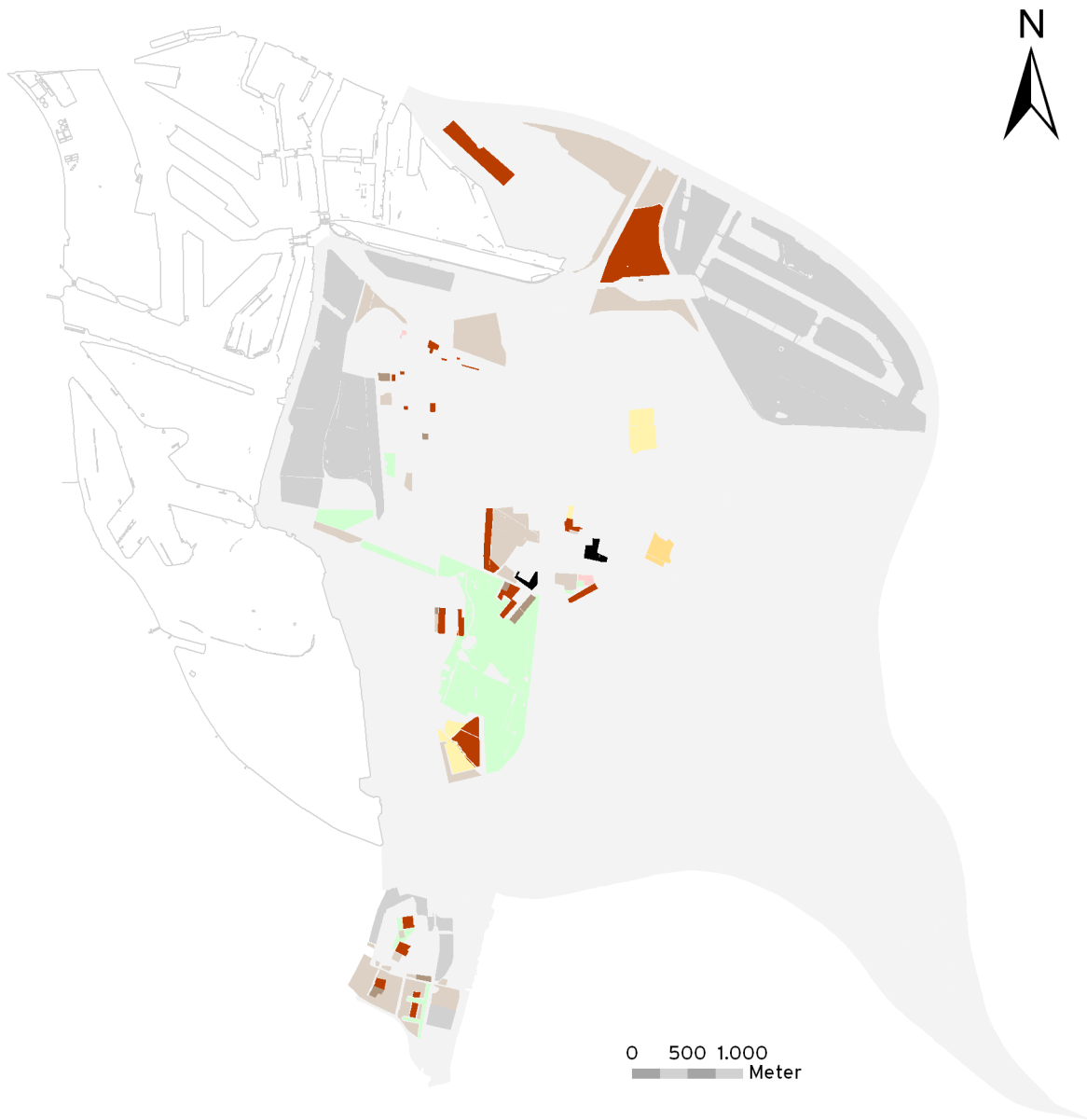
- |  |  |
|--|--|
| <span style="color: blue;">■</span> Vorindustriell/Altstadt < 1840             | <span style="color: orange;">■</span> Einfamilienhäuser                          |
| <span style="color: purple;">■</span> Baublöcke Gründerzeit < 1938             | <span style="color: yellow;">■</span> Einfamilienhäuser Niedrigenergie           |
| <span style="color: magenta;">■</span> Nachahmerbauten Stil IIa > 1990         | <span style="color: lightyellow;">■</span> Einfamilienhäuser Passivhaus-Standard |
| <span style="color: pink;">■</span> Villen der Gründerzeit < 1938              | <span style="color: yellowgreen;">■</span> Schumacherbauten 1920-30er            |
| <span style="color: lightpink;">■</span> Wiederaufbau/Nachahm. IIa 1950-80er   | <span style="color: brown;">■</span> Gewerbe                                     |
| <span style="color: lightcoral;">■</span> Dörflich-kleinteilig                 | <span style="color: darkbrown;">■</span> Gewerbe Passivhaus-Standard             |
| <span style="color: darkred;">■</span> Wohlfahrt Siedlung Vorkriegszeit < 1938 | <span style="color: black;">■</span> Zweckbauten u. öffentliche Einrichtungen    |
| <span style="color: red;">■</span> WS Soz. Wohnungsbau 1950er                  | <span style="color: grey;">■</span> Zweckbaukomplexe Passivhaus-Standard         |
| <span style="color: darkorange;">■</span> HH WS 70er Platte NBL 1970er         | <span style="color: grey;">■</span> Industrie                                    |
| <span style="color: orange;">■</span> Geschosswohnungsbau 1960-80er            | <span style="color: lightgreen;">■</span> Grünflächen                            |
| <span style="color: lightorange;">■</span> Geschosswohnungsbau 1990er          | <span style="color: palegreen;">■</span> Landwirtschafts-/Gartenbauflächen       |
| <span style="color: peachpuff;">■</span> Geschosswohnungsbau Niedrigenergie    | <span style="color: lightgrey;">■</span> Restflächen                             |
| <span style="color: brown;">■</span> Geschosswohnungsbau Passivhaus-Standard   | <span style="color: lightgrey;">■</span> Wasserflächen                           |

Karte A9 Entwicklung der Stadt- und Landschaftsraumtypen im Exzellenzscenario im Jahr 2013.  
 (dargestellt ist nur die Veränderung der Stadt- und Landschaftsraumtypen)



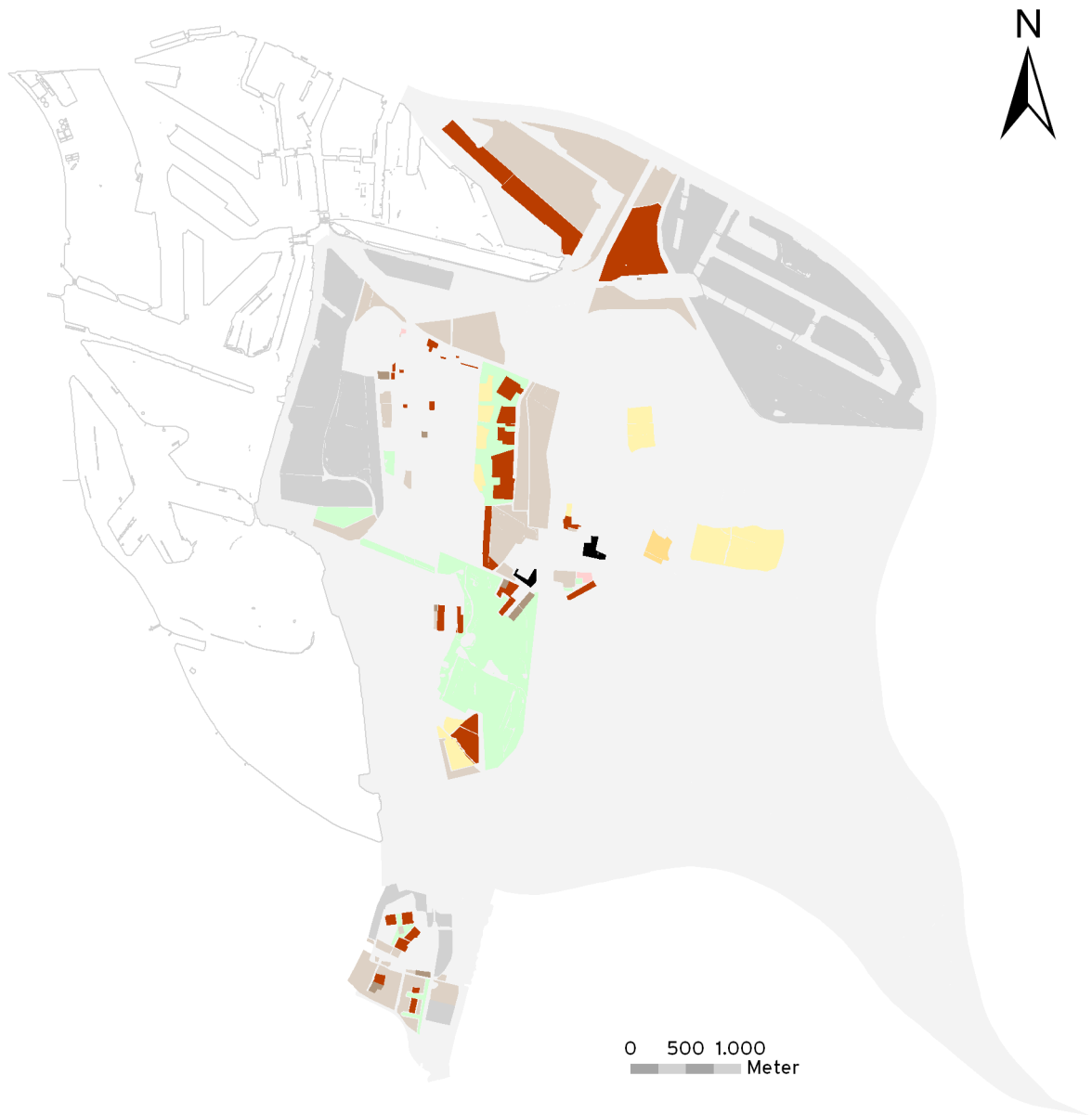
- |  |  |
|--|--|
| <span style="color: blue;">■</span> Vorindustriell/Altstadt < 1840             | <span style="color: orange;">■</span> Einfamilienhäuser                          |
| <span style="color: purple;">■</span> Baublöcke Gründerzeit < 1938             | <span style="color: yellow;">■</span> Einfamilienhäuser Niedrigenergie           |
| <span style="color: magenta;">■</span> Nachahmerbauten Stil IIa > 1990         | <span style="color: lightyellow;">■</span> Einfamilienhäuser Passivhaus-Standard |
| <span style="color: pink;">■</span> Villen der Gründerzeit < 1938              | <span style="color: yellowgreen;">■</span> Schumacherbauten 1920-30er            |
| <span style="color: lightpink;">■</span> Wiederaufbau/Nachahm. IIa 1950-80er   | <span style="color: brown;">■</span> Gewerbe                                     |
| <span style="color: lightcoral;">■</span> Dörflich-kleinteilig                 | <span style="color: darkbrown;">■</span> Gewerbe Passivhaus-Standard             |
| <span style="color: darkred;">■</span> Wohlfahrt Siedlung Vorkriegszeit < 1938 | <span style="color: black;">■</span> Zweckbauten u. öffentliche Einrichtungen    |
| <span style="color: red;">■</span> WS Soz. Wohnungsbau 1950er                  | <span style="color: grey;">■</span> Zweckbaukomplexe Passivhaus-Standard         |
| <span style="color: darkred;">■</span> HH WS 70er Platte NBL 1970er            | <span style="color: grey;">■</span> Industrie                                    |
| <span style="color: red;">■</span> Geschosswohnungsbau 1960-80er               | <span style="color: lightgreen;">■</span> Grünflächen                            |
| <span style="color: red;">■</span> Geschosswohnungsbau 1990er                  | <span style="color: lightgreen;">■</span> Landwirtschafts-/Gartenbauflächen      |
| <span style="color: lightcoral;">■</span> Geschosswohnungsbau Niedrigenergie   | <span style="color: lightgrey;">■</span> Restflächen                             |
| <span style="color: brown;">■</span> Geschosswohnungsbau Passivhaus-Standard   | <span style="color: lightgrey;">■</span> Wasserflächen                           |

Karte A10 Entwicklung der Stadt- und Landschaftsraumtypen im Exzellenzscenario im Jahr 2020.  
(dargestellt ist nur die Veränderung der Stadt- und Landschaftsraumtypen)



- |  |  |
|--|--|
| <span style="color: blue;">■</span> Vorindustriell/Altstadt < 1840             | <span style="color: orange;">■</span> Einfamilienhäuser                          |
| <span style="color: purple;">■</span> Baublöcke Gründerzeit < 1938             | <span style="color: yellow;">■</span> Einfamilienhäuser Niedrigenergie           |
| <span style="color: magenta;">■</span> Nachahmerbauten Stil IIa > 1990         | <span style="color: lightyellow;">■</span> Einfamilienhäuser Passivhaus-Standard |
| <span style="color: pink;">■</span> Villen der Gründerzeit < 1938              | <span style="color: yellowgreen;">■</span> Schumacherbauten 1920-30er            |
| <span style="color: lightpink;">■</span> Wiederaufbau/Nachahm. IIa 1950-80er   | <span style="color: brown;">■</span> Gewerbe                                     |
| <span style="color: lightcoral;">■</span> Dörflich-kleinteilig                 | <span style="color: darkbrown;">■</span> Gewerbe Passivhaus-Standard             |
| <span style="color: darkred;">■</span> Wohlfahrt Siedlung Vorkriegszeit < 1938 | <span style="color: black;">■</span> Zweckbauten u. öffentliche Einrichtungen    |
| <span style="color: red;">■</span> WS Soz. Wohnungsbau 1950er                  | <span style="color: grey;">■</span> Zweckbaukomplexe Passivhaus-Standard         |
| <span style="color: darkred;">■</span> HH WS 70er Platte NBL 1970er            | <span style="color: grey;">■</span> Industrie                                    |
| <span style="color: red;">■</span> Geschosswohnungsbau 1960-80er               | <span style="color: lightgreen;">■</span> Grünflächen                            |
| <span style="color: red;">■</span> Geschosswohnungsbau 1990er                  | <span style="color: lightgreen;">■</span> Landwirtschafts-/Gartenbauflächen      |
| <span style="color: lightcoral;">■</span> Geschosswohnungsbau Niedrigenergie   | <span style="color: lightgrey;">■</span> Restflächen                             |
| <span style="color: orange;">■</span> Geschosswohnungsbau Passivhaus-Standard  | <span style="color: lightgrey;">■</span> Wasserflächen                           |

Karte A11 Entwicklung der Stadt- und Landschaftsraumtypen im Exzellenzscenario im Jahr 2050.  
(dargestellt ist nur die Veränderung der Stadt- und Landschaftsraumtypen)



- |  |   |
|--|---|
| <span style="color: blue;">■</span> Vorindustriell/Altstadt < 1840             | <span style="color: orange;">■</span> Einfamilienhäuser                           |
| <span style="color: purple;">■</span> Baublöcke Gründerzeit < 1938             | <span style="color: yellow;">■</span> Einfamilienhäuser Niedrigenergie            |
| <span style="color: magenta;">■</span> Nachahmerbauten Stil IIa > 1990         | <span style="color: lightyellow;">■</span> Einfamilienhäuser Passivhaus-Standard  |
| <span style="color: lightpurple;">■</span> Villen der Gründerzeit < 1938       | <span style="color: yellowgreen;">■</span> Schumacherbauten 1920-30er             |
| <span style="color: pink;">■</span> Wiederaufbau/Nachahm. IIa 1950-80er        | <span style="color: tan;">■</span> Gewerbe  |
| <span style="color: lightpink;">■</span> Dörflich-kleinteilig                  | <span style="color: brown;">■</span> Gewerbe Passivhaus-Standard                  |
| <span style="color: darkred;">■</span> Wohlfahrt Siedlung Vorkriegszeit < 1938 | <span style="color: darkbrown;">■</span> Zweckbauten u. öffentliche Einrichtungen |
| <span style="color: red;">■</span> WS Soz. Wohnungsbau 1950er                  | <span style="color: black;">■</span> Zweckbaukomplexe Passivhaus-Standard         |
| <span style="color: darkred;">■</span> HH WS 70er Platte NBL 1970er            | <span style="color: gray;">■</span> Industrie                                     |
| <span style="color: red;">■</span> Geschosswohnungsbau 1960-80er               | <span style="color: lightgreen;">■</span> Grünflächen                             |
| <span style="color: red;">■</span> Geschosswohnungsbau 1990er                  | <span style="color: lightgreen;">■</span> Landwirtschafts-/Gartenbauflächen       |
| <span style="color: pink;">■</span> Geschosswohnungsbau Niedrigenergie         | <span style="color: lightgray;">■</span> Restflächen                              |
| <span style="color: brown;">■</span> Geschosswohnungsbau Passivhaus-Standard   | <span style="color: lightgray;">■</span> Wasserflächen                            |

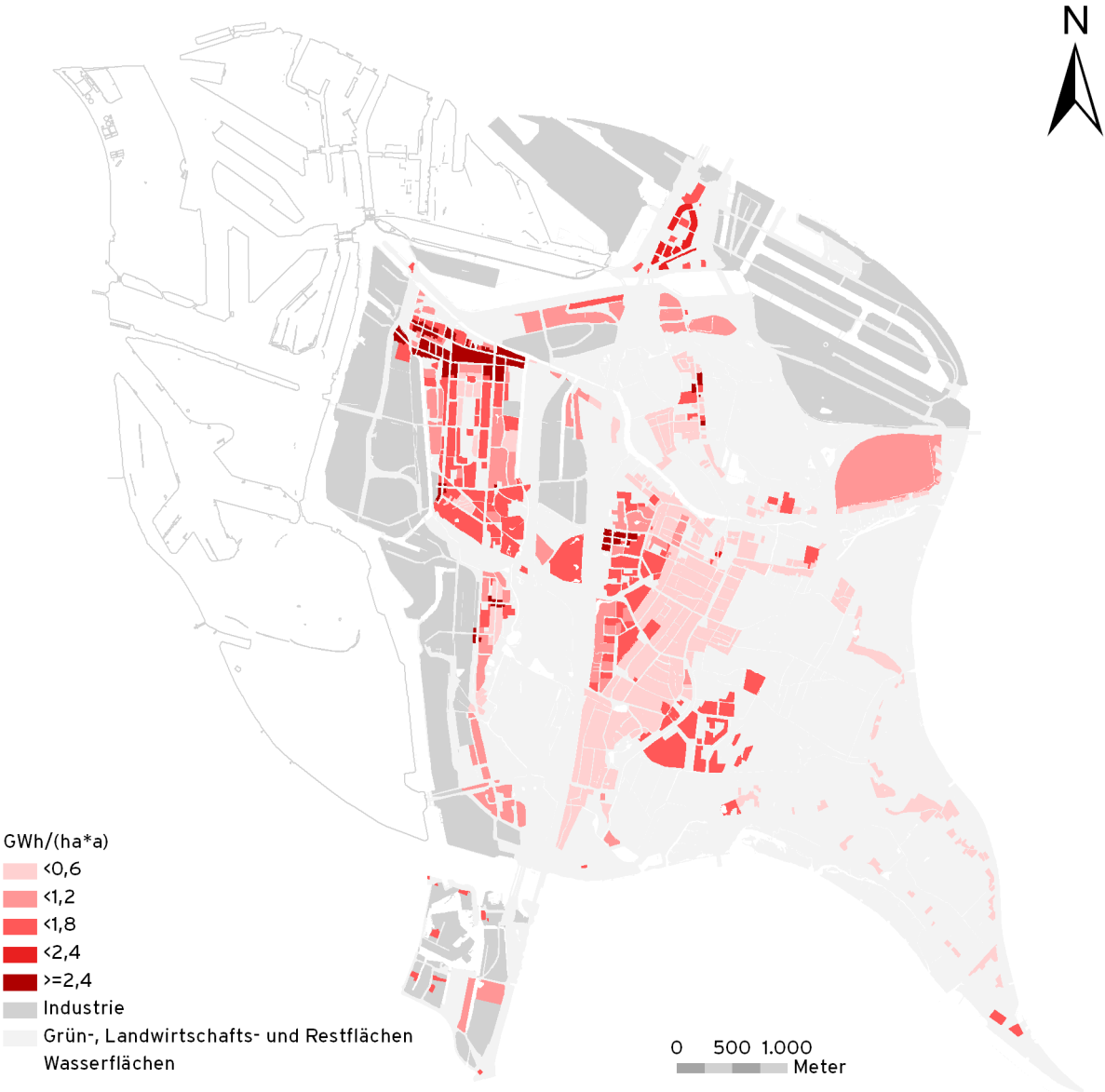
Karte A12 Einteilung des IBA-Modellraumes in Stadt- und Landschaftsraumtypen im Exzellenzszenario im Jahr 2050.



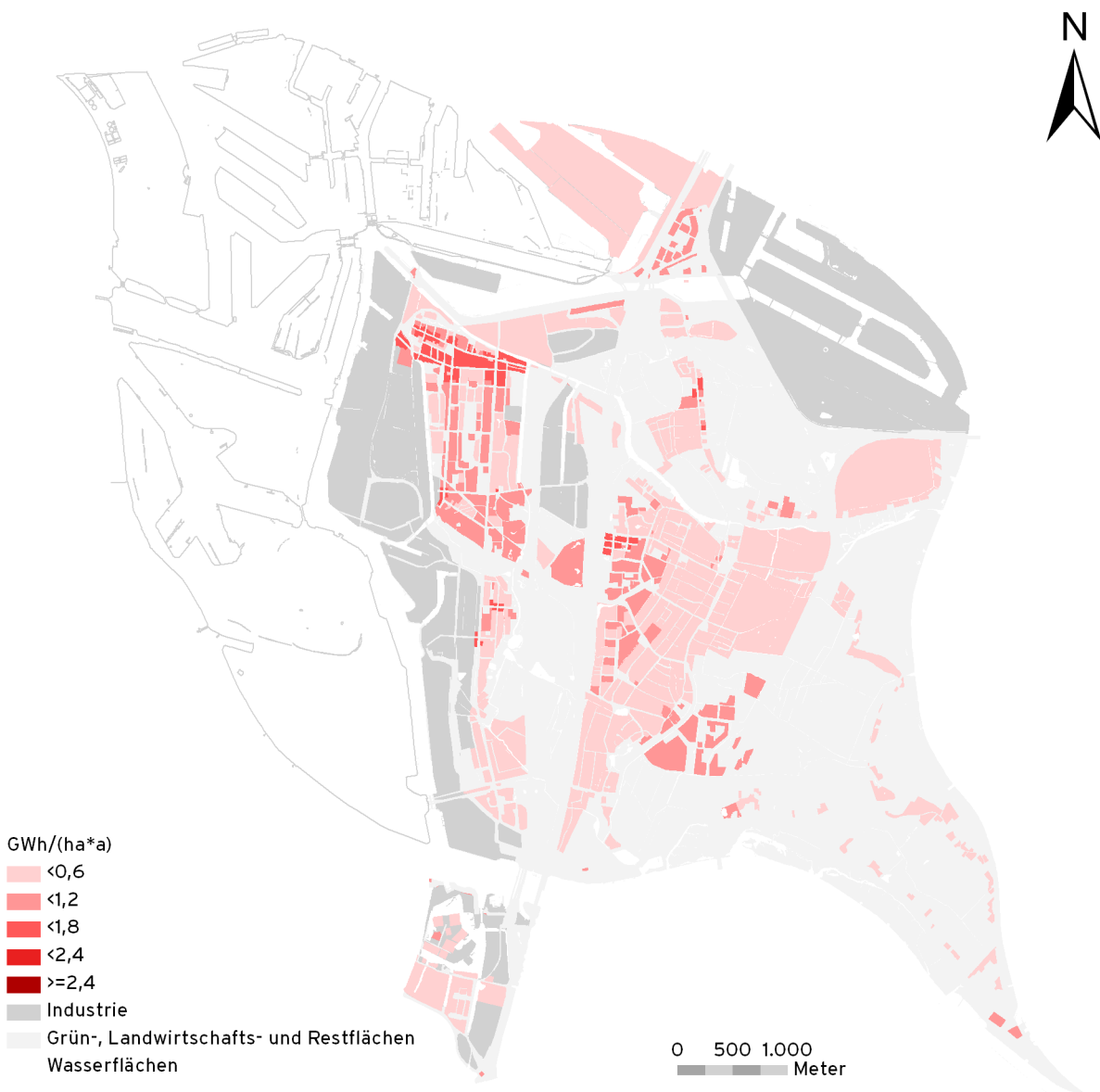
- |  |  |
|--|--|
| <span style="color: blue;">■</span> Vorindustriell/Altstadt < 1840             | <span style="color: orange;">■</span> Einfamilienhäuser                          |
| <span style="color: purple;">■</span> Baublöcke Gründerzeit < 1938             | <span style="color: yellow;">■</span> Einfamilienhäuser Niedrigenergie           |
| <span style="color: magenta;">■</span> Nachahmerbauten Stil IIa > 1990         | <span style="color: lightyellow;">■</span> Einfamilienhäuser Passivhaus-Standard |
| <span style="color: pink;">■</span> Villen der Gründerzeit < 1938              | <span style="color: yellowgreen;">■</span> Schumacherbauten 1920-30er            |
| <span style="color: lightpink;">■</span> Wiederaufbau/Nachahm. IIa 1950-80er   | <span style="color: brown;">■</span> Gewerbe                                     |
| <span style="color: lightcoral;">■</span> Dörflich-kleinteilig                 | <span style="color: darkbrown;">■</span> Gewerbe Passivhaus-Standard             |
| <span style="color: darkred;">■</span> Wohlfahrt Siedlung Vorkriegszeit < 1938 | <span style="color: black;">■</span> Zweckbauten u. öffentliche Einrichtungen    |
| <span style="color: red;">■</span> WS Soz. Wohnungsbau 1950er                  | <span style="color: grey;">■</span> Zweckbaukomplexe Passivhaus-Standard         |
| <span style="color: darkorange;">■</span> HH WS 70er Platte NBL 1970er         | <span style="color: grey;">■</span> Industrie                                    |
| <span style="color: orange;">■</span> Geschosswohnungsbau 1960-80er            | <span style="color: lightgreen;">■</span> Grünflächen                            |
| <span style="color: lightorange;">■</span> Geschosswohnungsbau 1990er          | <span style="color: palegreen;">■</span> Landwirtschafts-/Gartenbauflächen       |
| <span style="color: peachpuff;">■</span> Geschosswohnungsbau Niedrigenergie    | <span style="color: lightgrey;">■</span> Restflächen                             |
| <span style="color: brown;">■</span> Geschosswohnungsbau Passivhaus-Standard   | <span style="color: lightgrey;">■</span> Wasserflächen                           |

# Entwicklung der Endenergiebedarfe in den Zeitschnitten für beide Grundscenarien

Karte A13 Aktueller Wärme- und Warmwasserbedarf für die Energieparteien Haushalte und GHD.

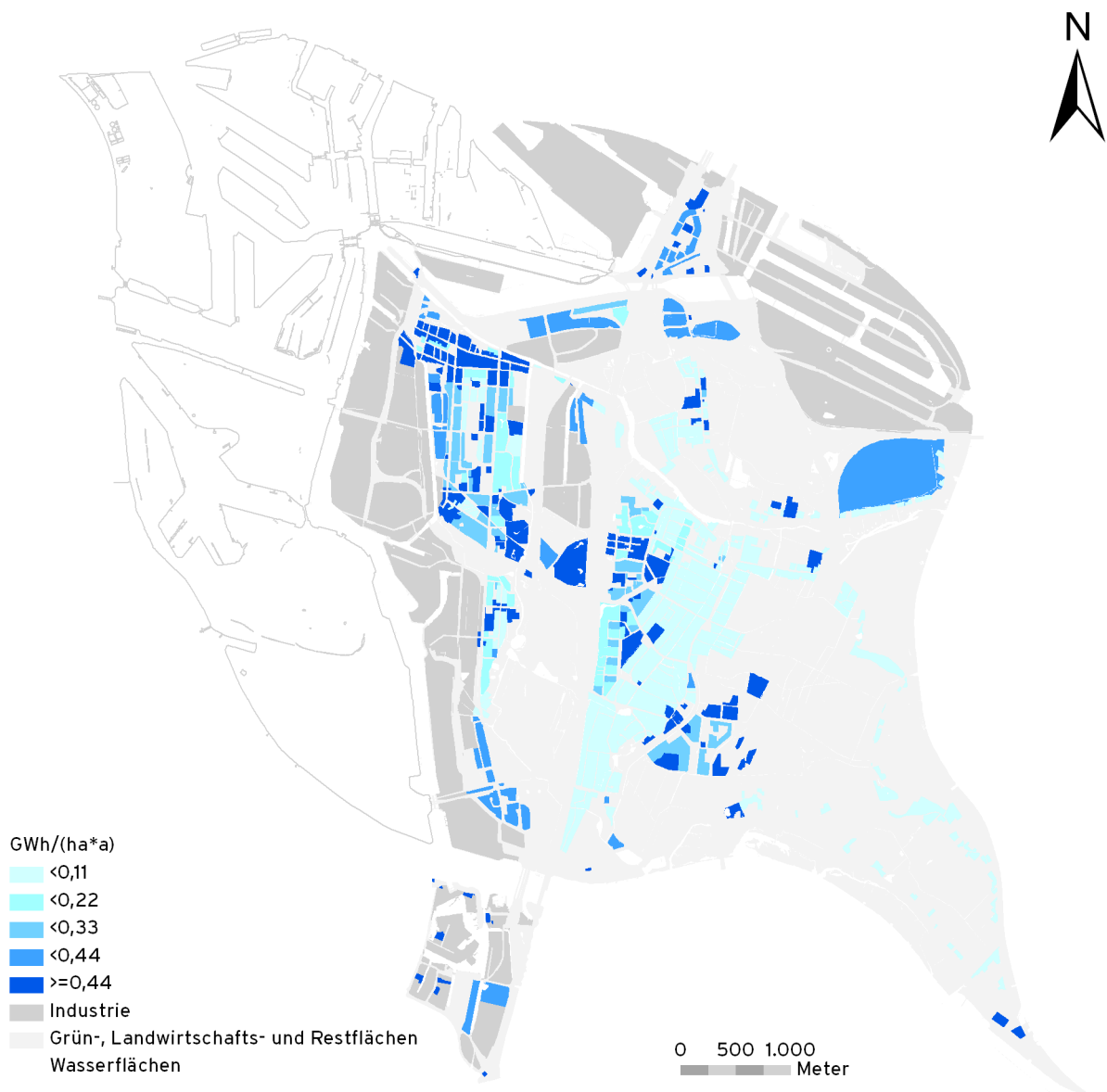


Karte A14 Wärme- und Warmwasserbedarf für die Energieparteien Haushalte und GHD in den Referenzszenarien im Jahr 2050.

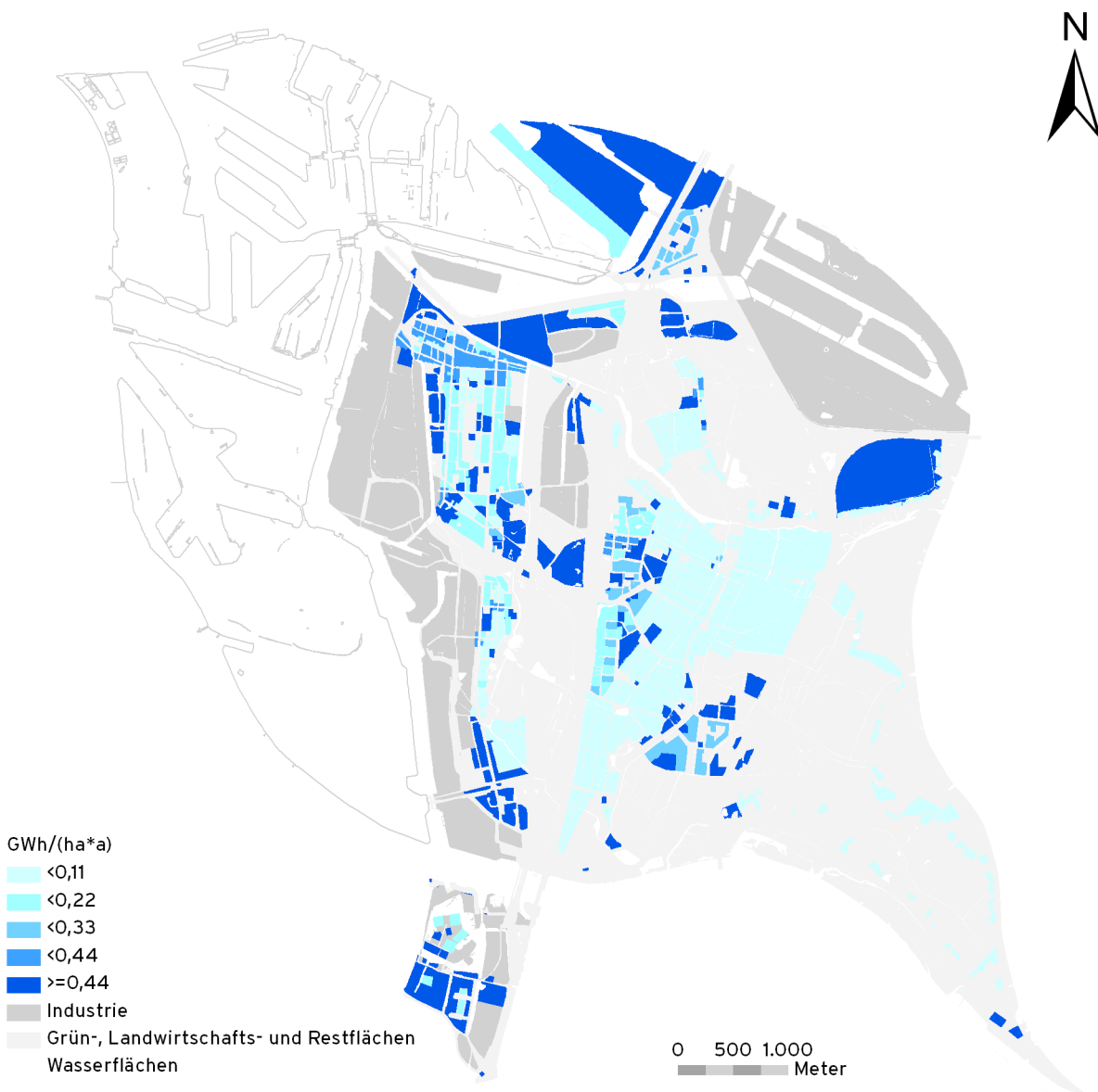




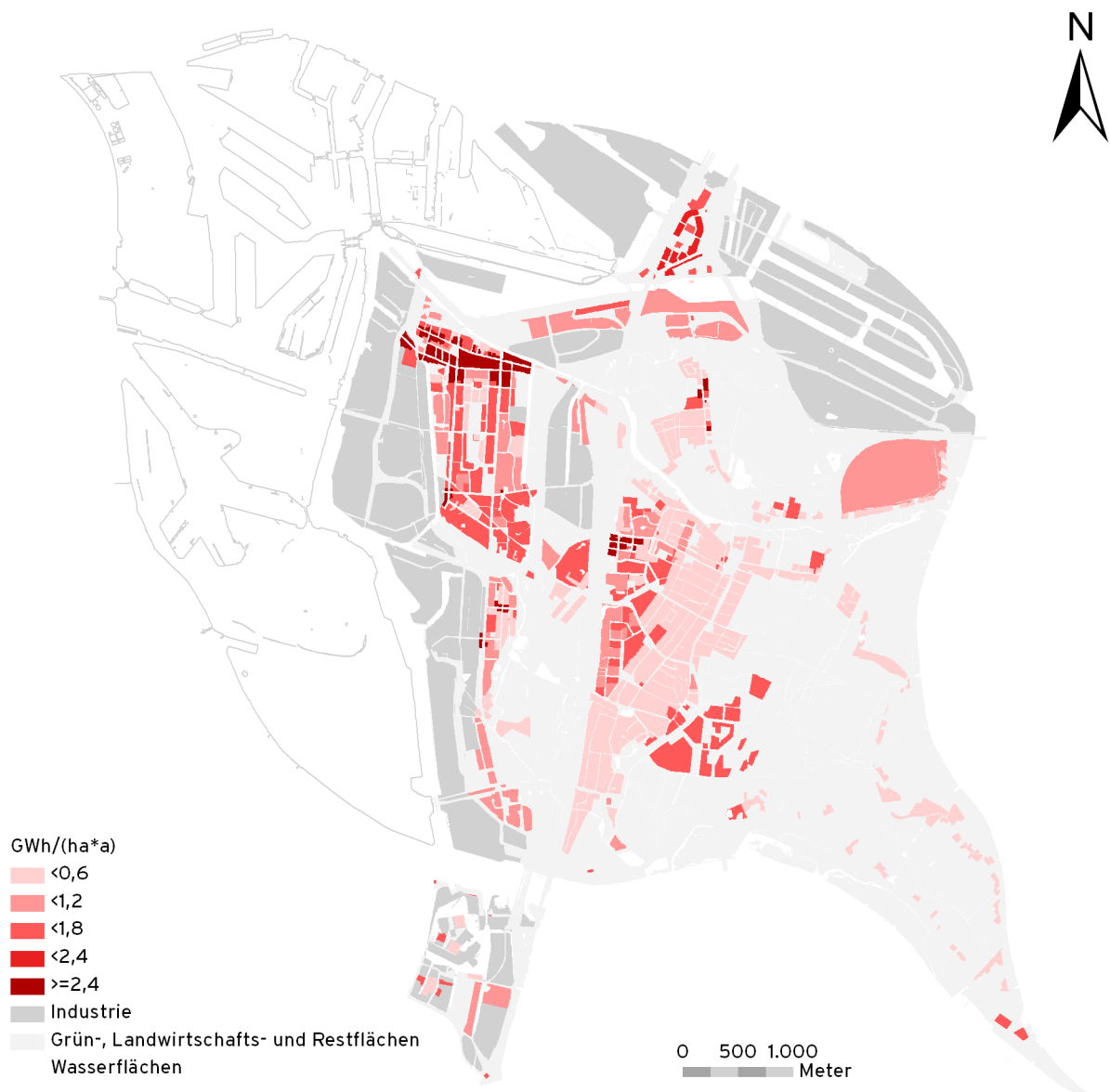
Karte A15 Aktueller Strombedarf für die Energieparteien Haushalte und GHD.



Karte A16 Strombedarf für die Energieparteien Haushalte und GHD in den Referenzszenarien im Jahr 2050.



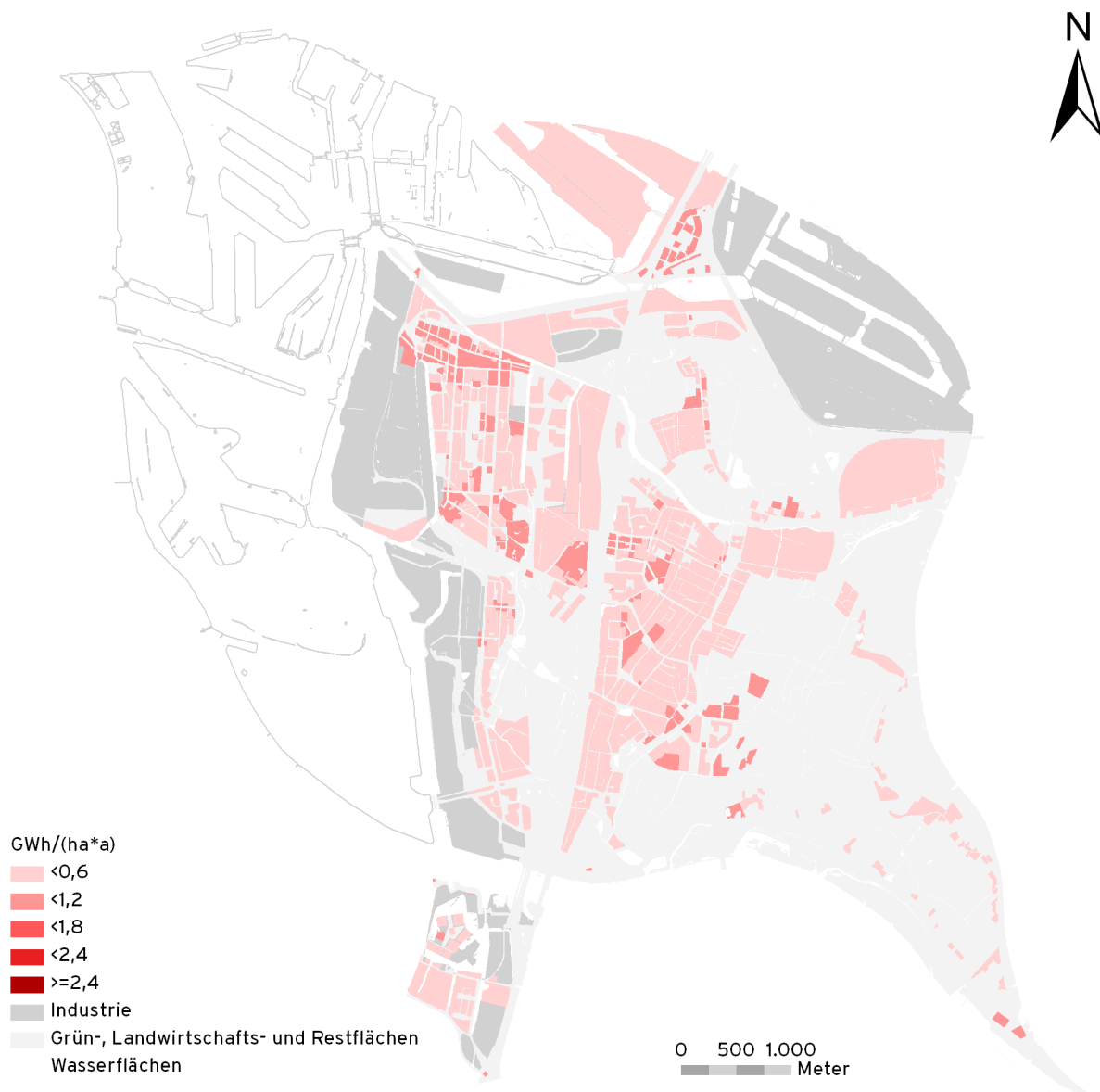
Karte A17 Wärme- und Warmwasserbedarf für die Energieparteien Haushalte und GHD in den Exzellenzscenarioen im Jahr 2013.



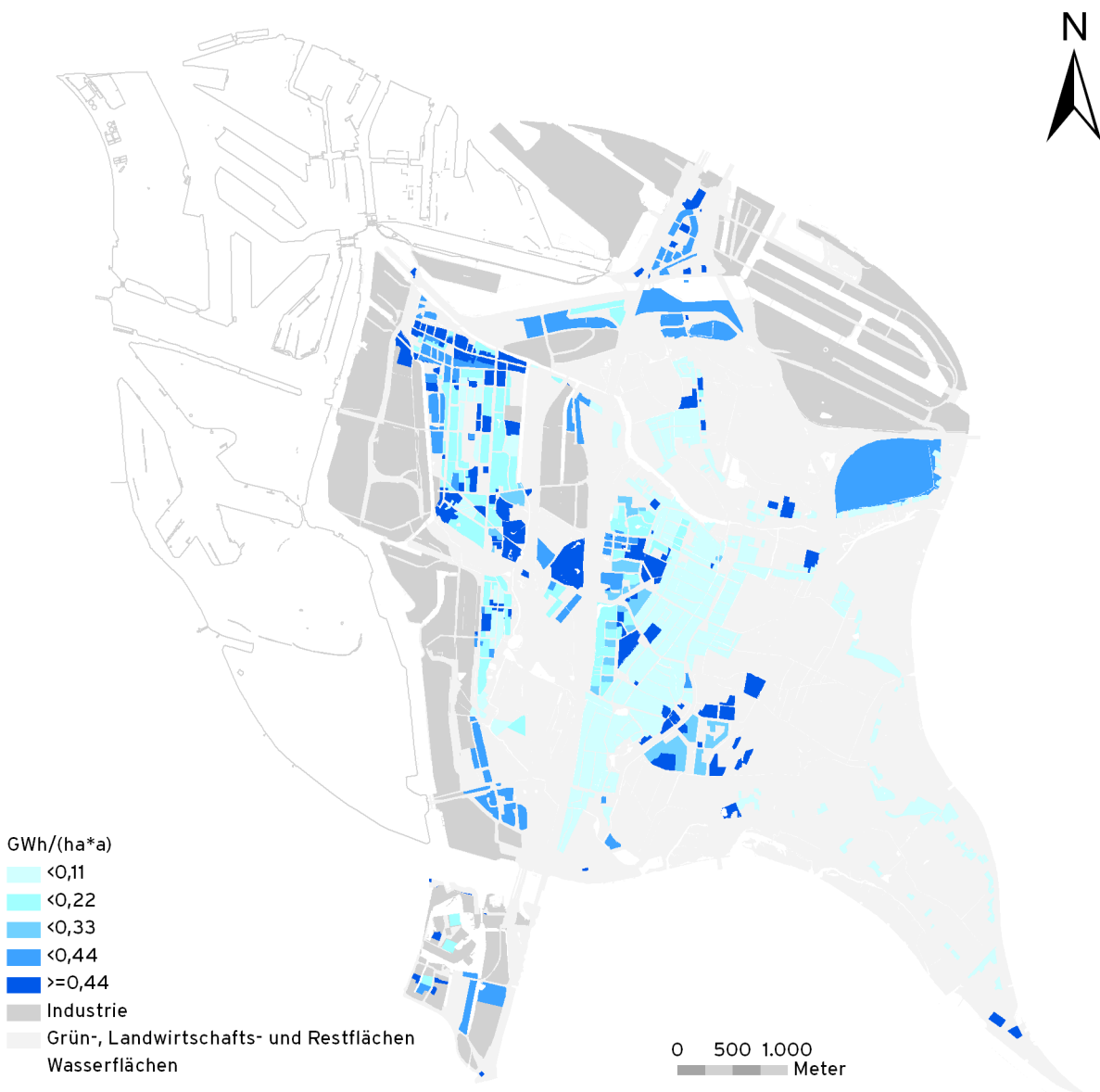
Karte A18 Wärme- und Warmwasserbedarf für die Energieparteien Haushalte und GHD in den Exzellenzscenarien im Jahr 2020.



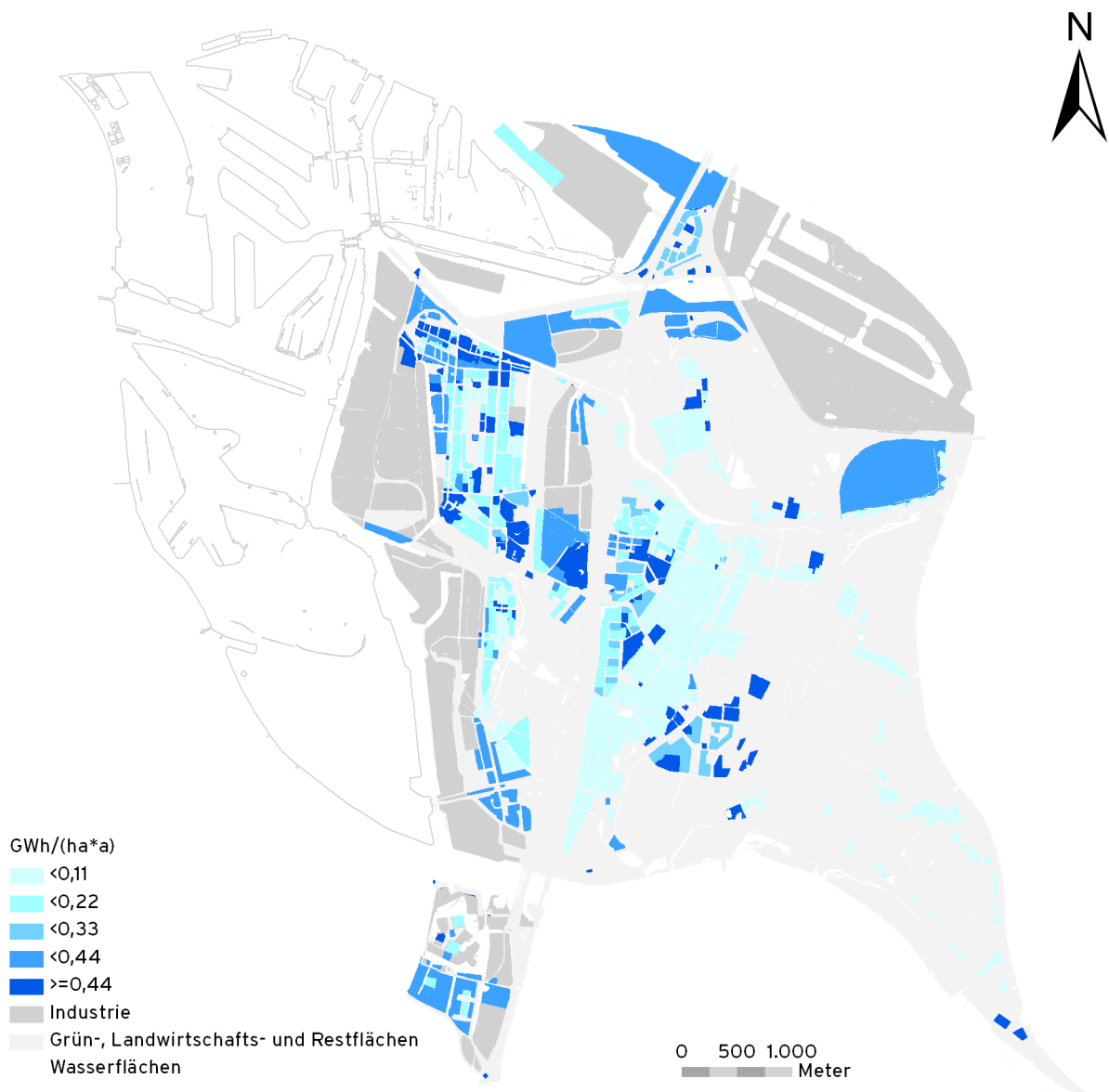
Karte A19 Wärme- und Warmwasserbedarf für die Energieparteien Haushalte und GHD in den Exzellenzscenarioen im Jahr 2050.



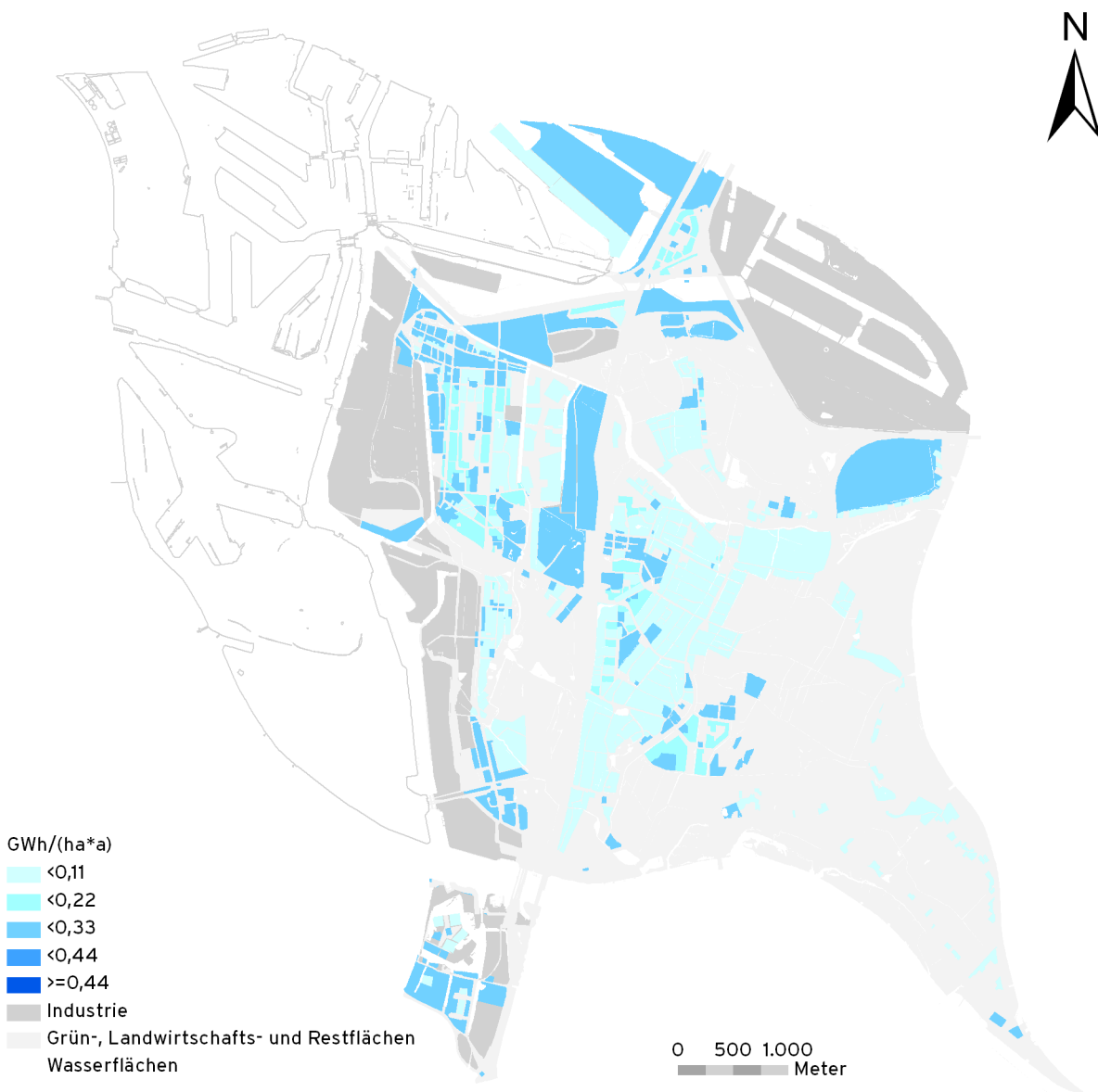
Karte A20 Strombedarf für die Energieparteien Haushalte und GHD in den Exzellenzszenarien im Jahr 2013.



Karte A21 Strombedarf für die Energieparteien Haushalte und GHD in den Exzellenzscenarioen im Jahr 2020.



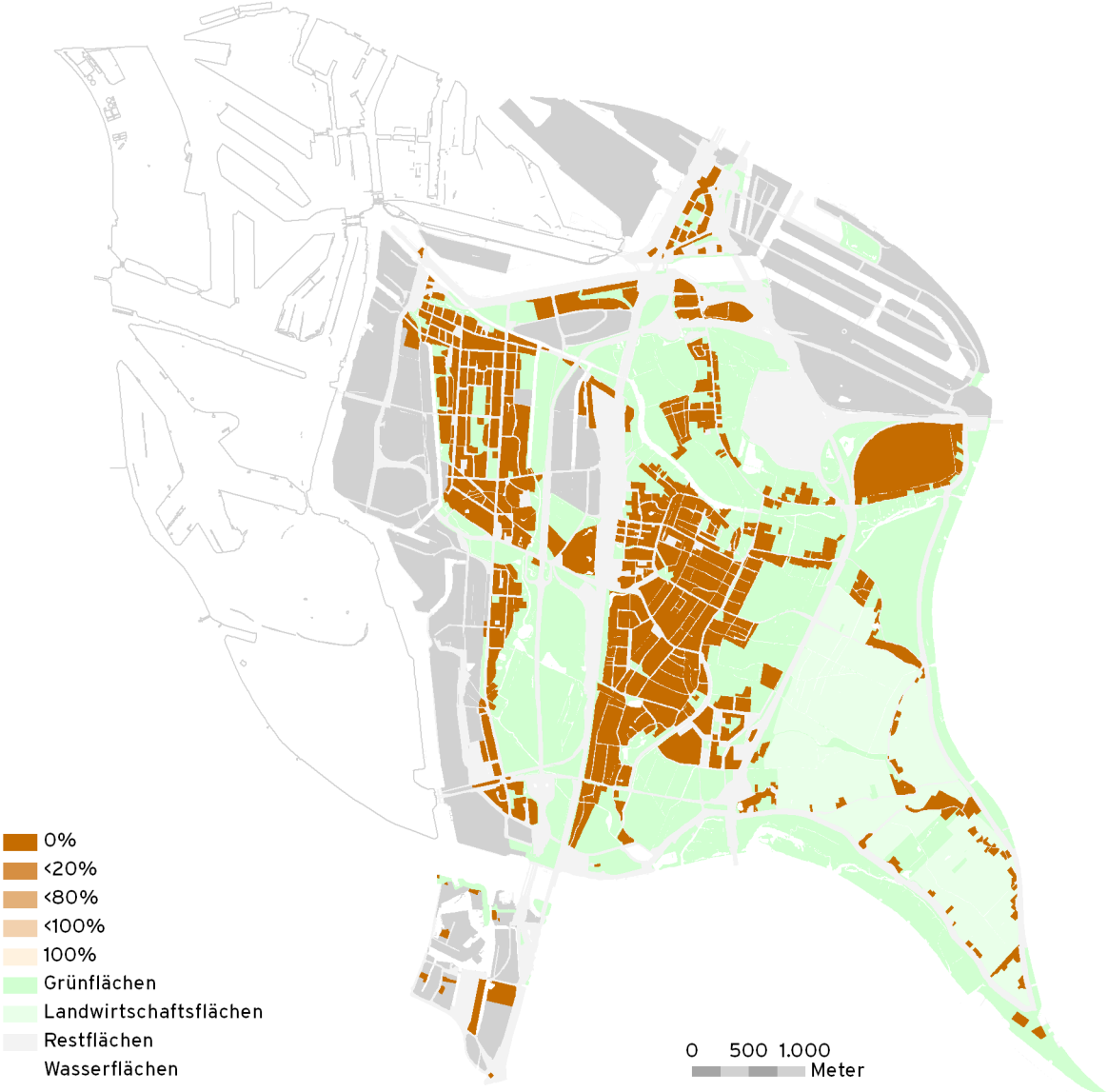
Karte A22 Strombedarf für die Energieparteien Haushalte und GHD in den Exzellenzszenarien im Jahr 2050.





# Abnahme der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Zeitschnitten in den Exzellenzszenarien

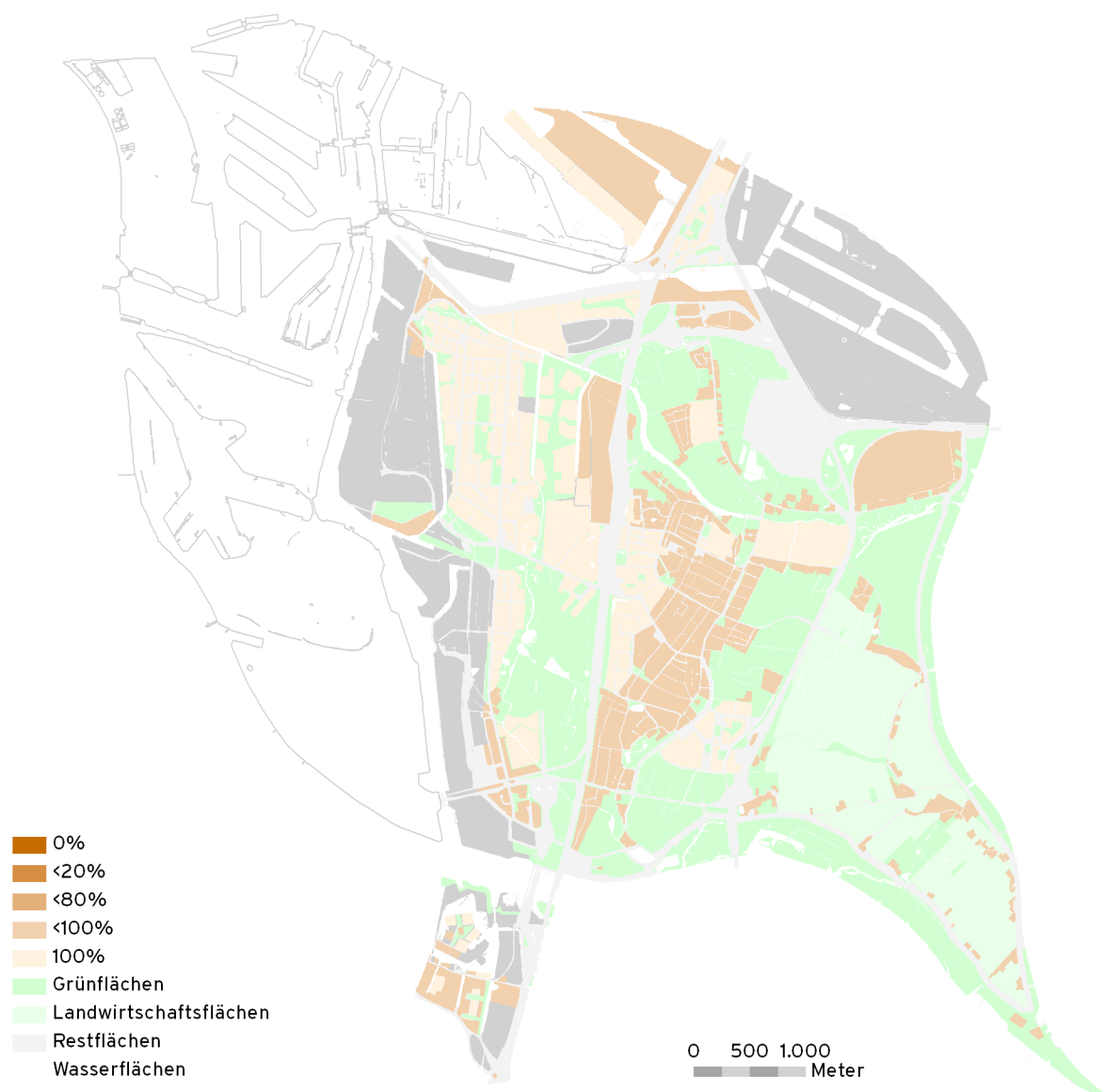
Karte A23 Aktuelle CO<sub>2</sub>-Emissionen im IBA-Modellraum im Jahr 2007.



Karte A24 Einsparungen von CO<sub>2</sub>-Emissionen im IBA-Modellraum in den Exzellenzscenarioen im Jahr 2013.

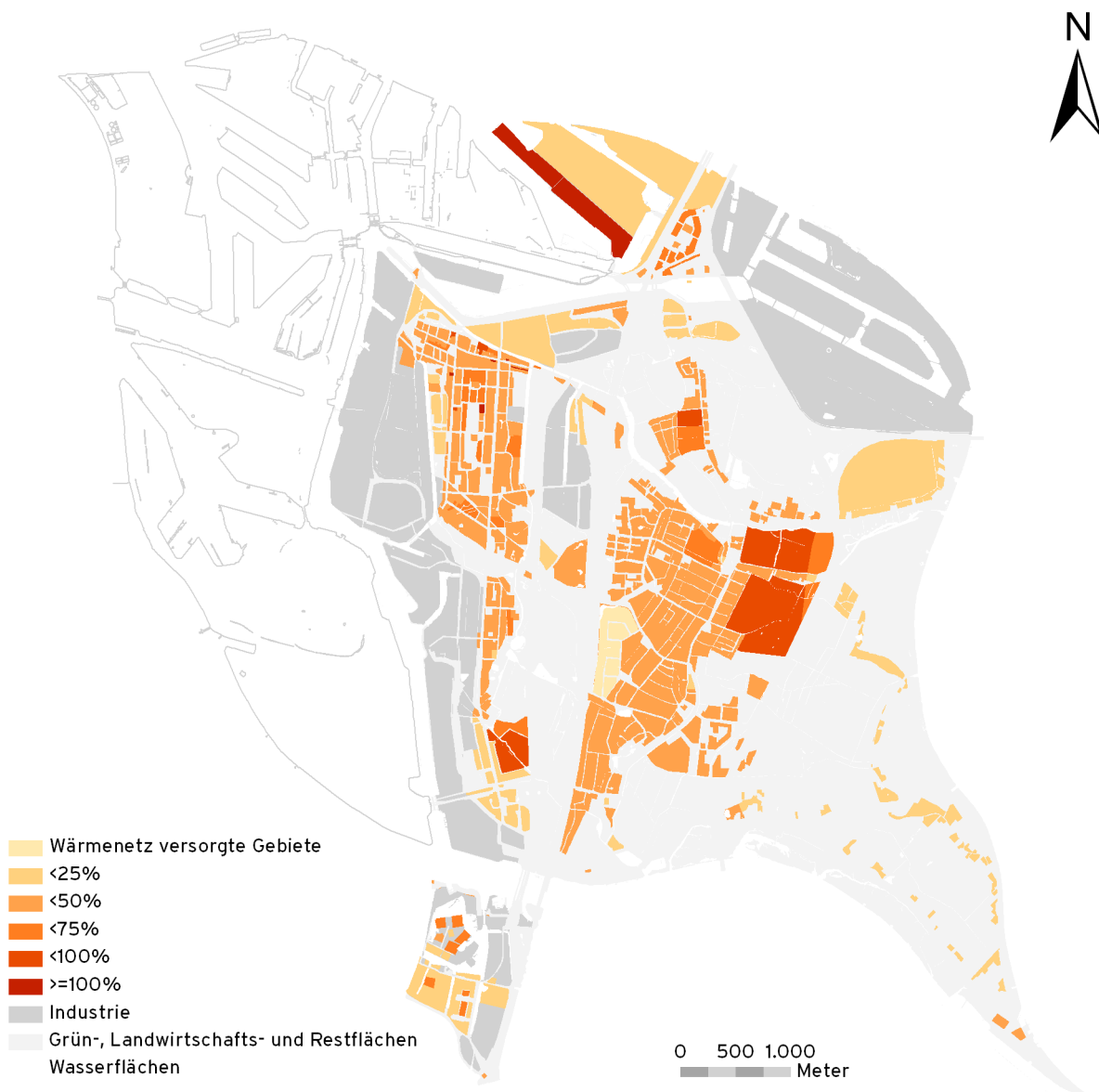


Karte A25 Einsparungen von CO<sub>2</sub>-Emissionen im IBA-Modellraum in den Exzellenzszenarien im Jahr 2050.

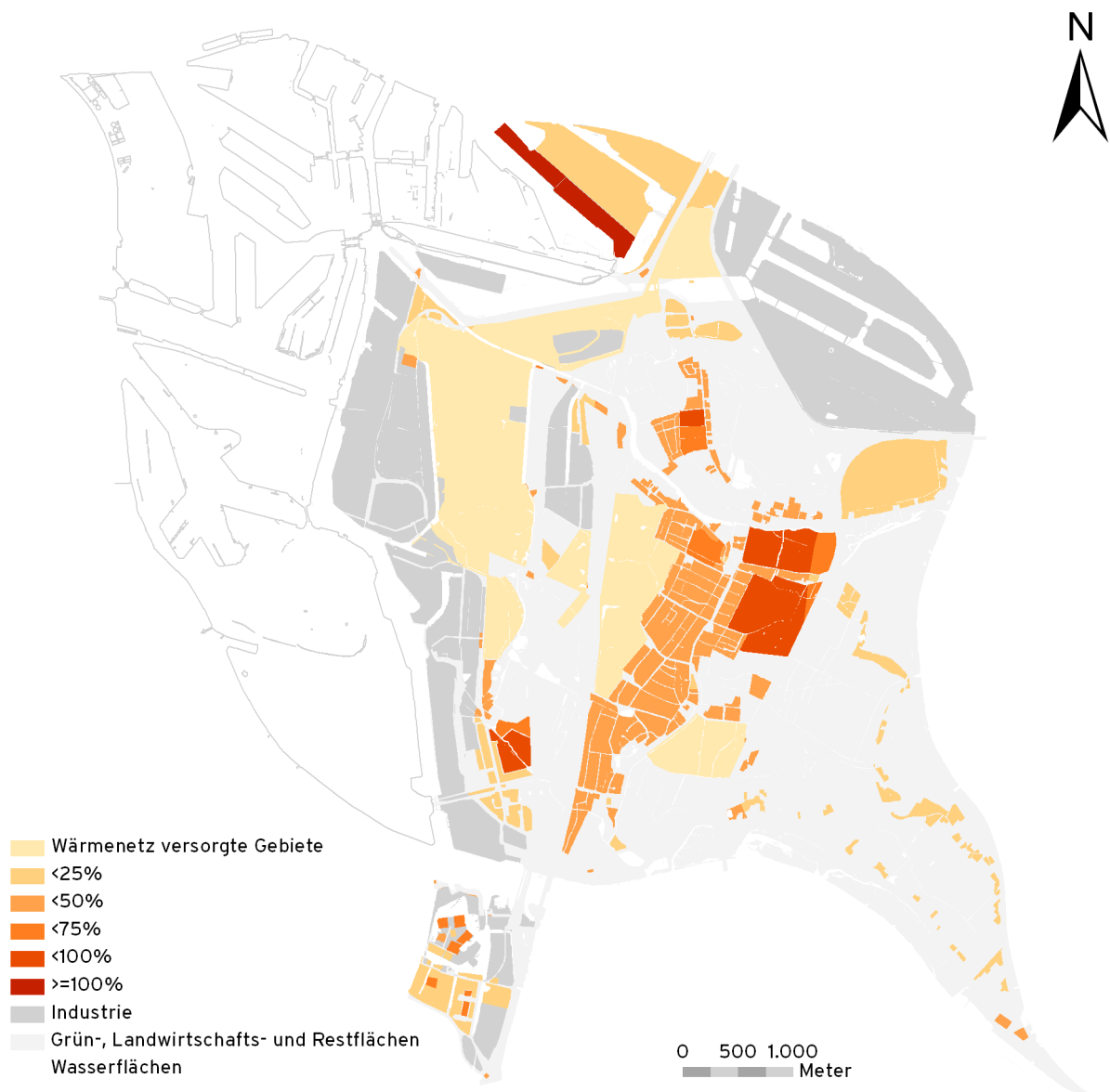


## Regionale Selbstversorgungsgrade in den Zeitschnitten für beide Grundscenarien

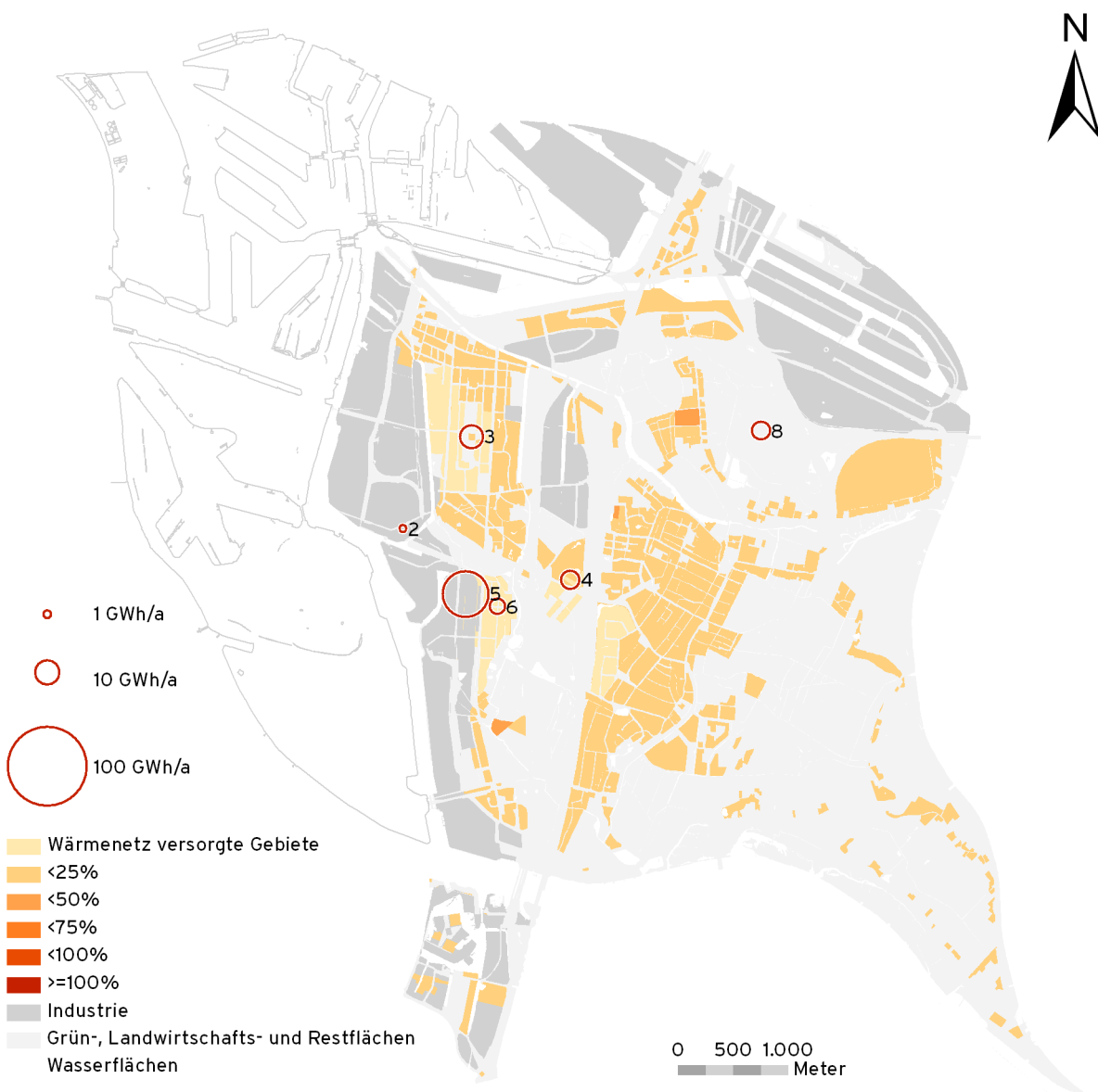
Karte A26 Regionaler thermischer Selbstversorgungsgrad im Referenzszenario 1 im Jahr 2050.



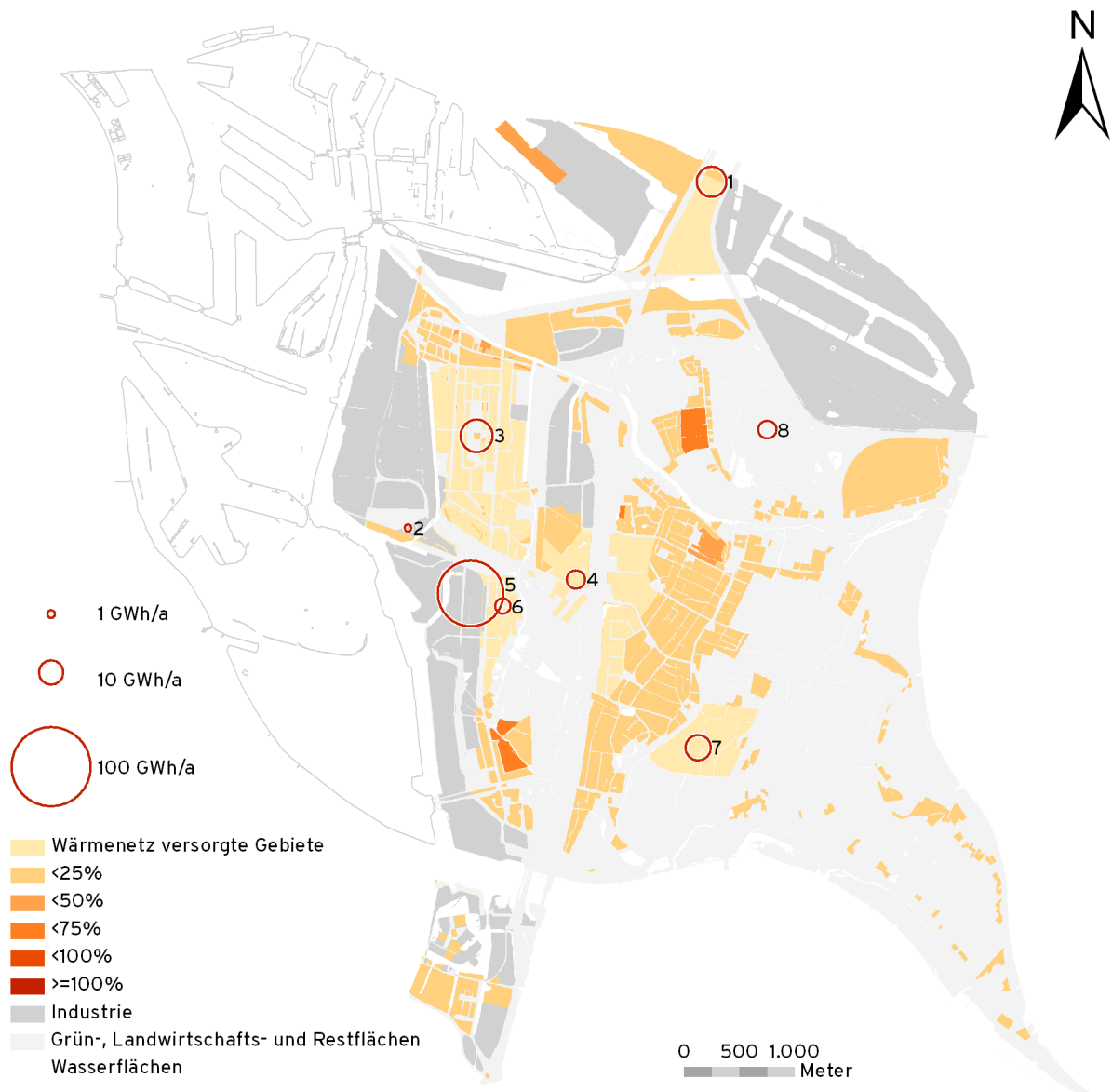
Karte A27 Regionaler thermischer Selbstversorgungsgrad im Referenzszenario 2 im Jahr 2050.



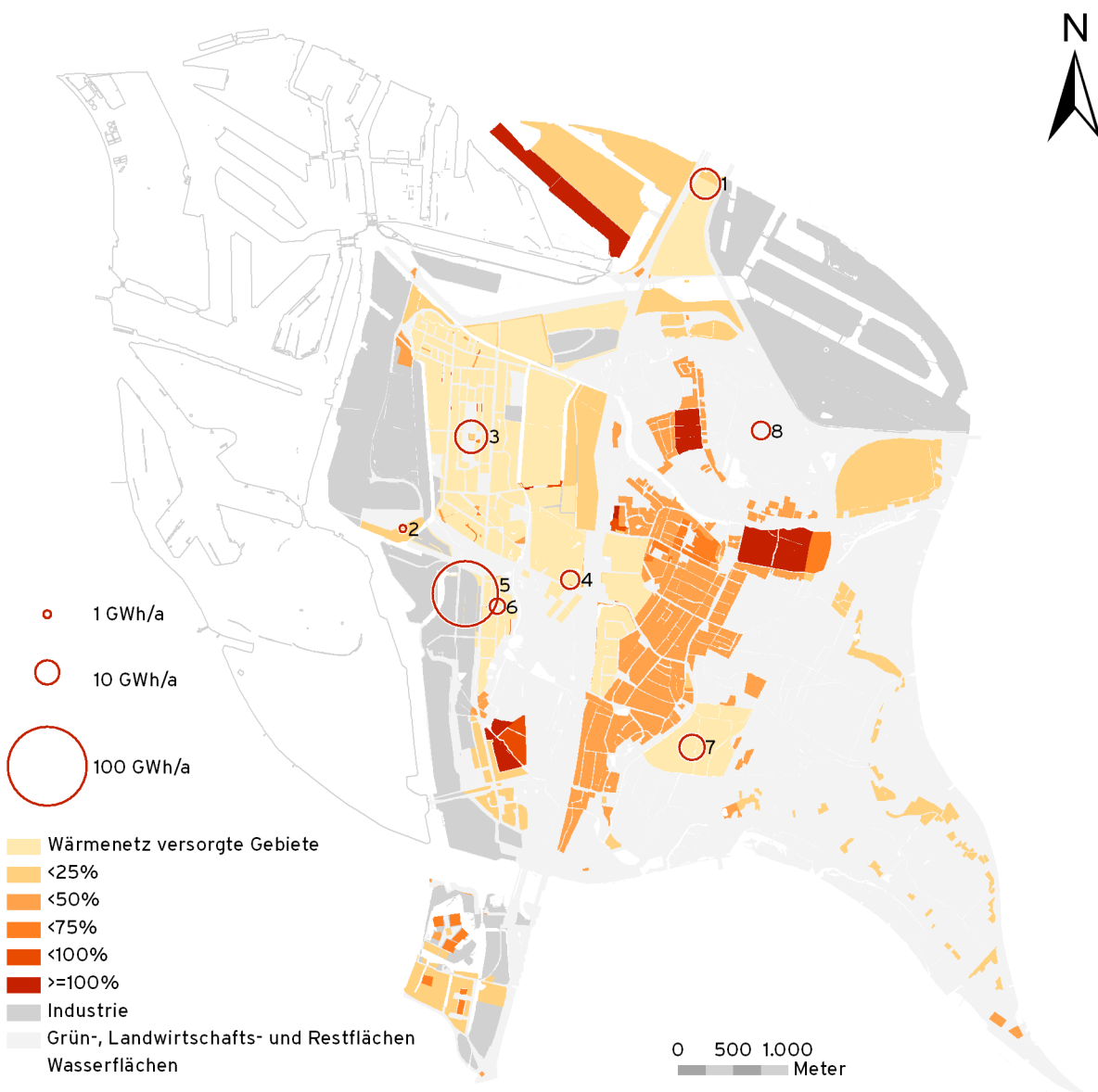
Karte A28 Regionaler thermischer Selbstversorgungsgrad im Exzellenzszenario 2 im Jahr 2013.



Karte A29 Regionaler thermischer Selbstversorgungsgrad im Exzellenzszenario 2 im Jahr 2020.



Karte A30 Regionaler thermischer Selbstversorgungsgrad im Exzellenzszenario 2 im Jahr 2050.

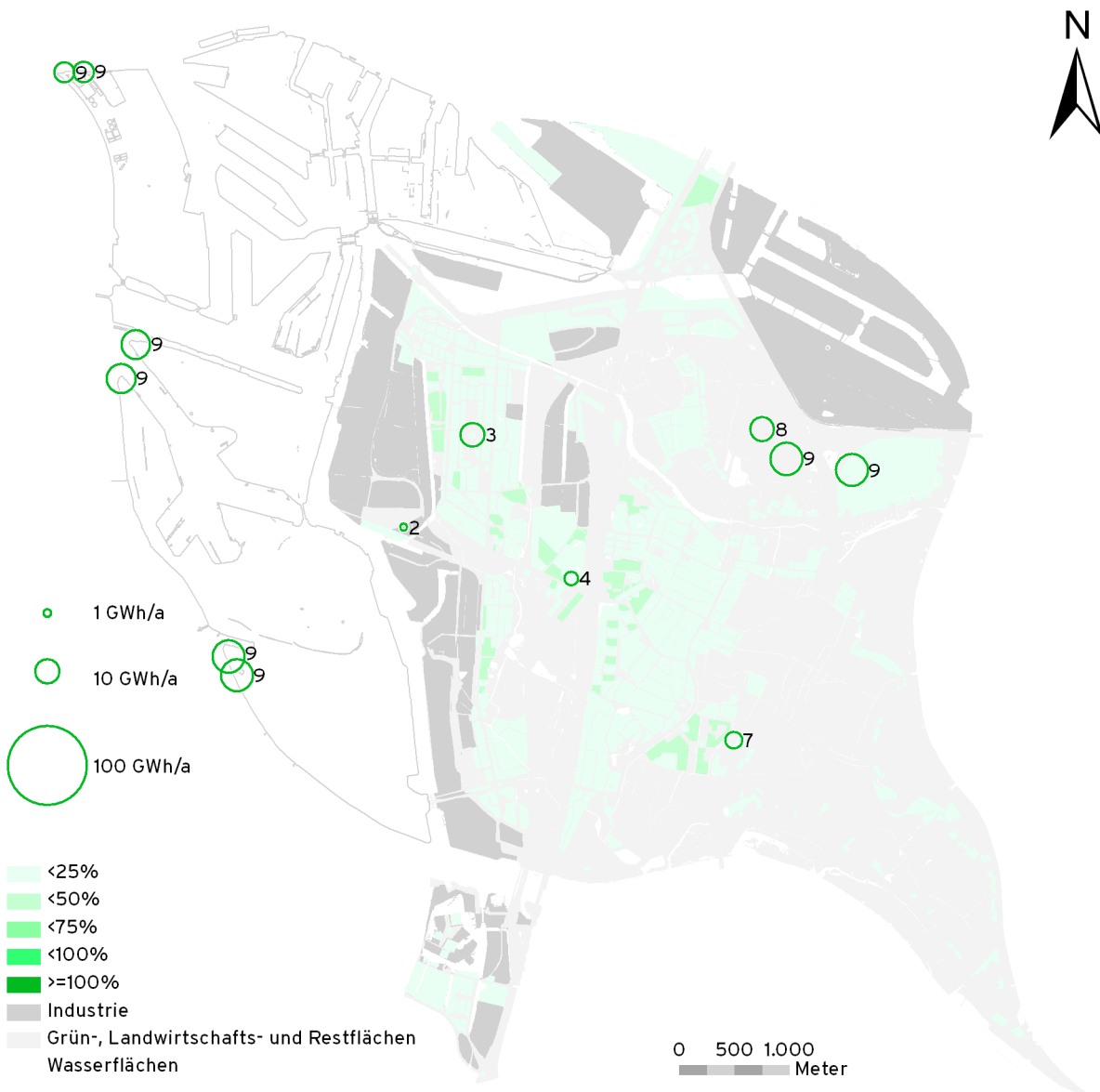




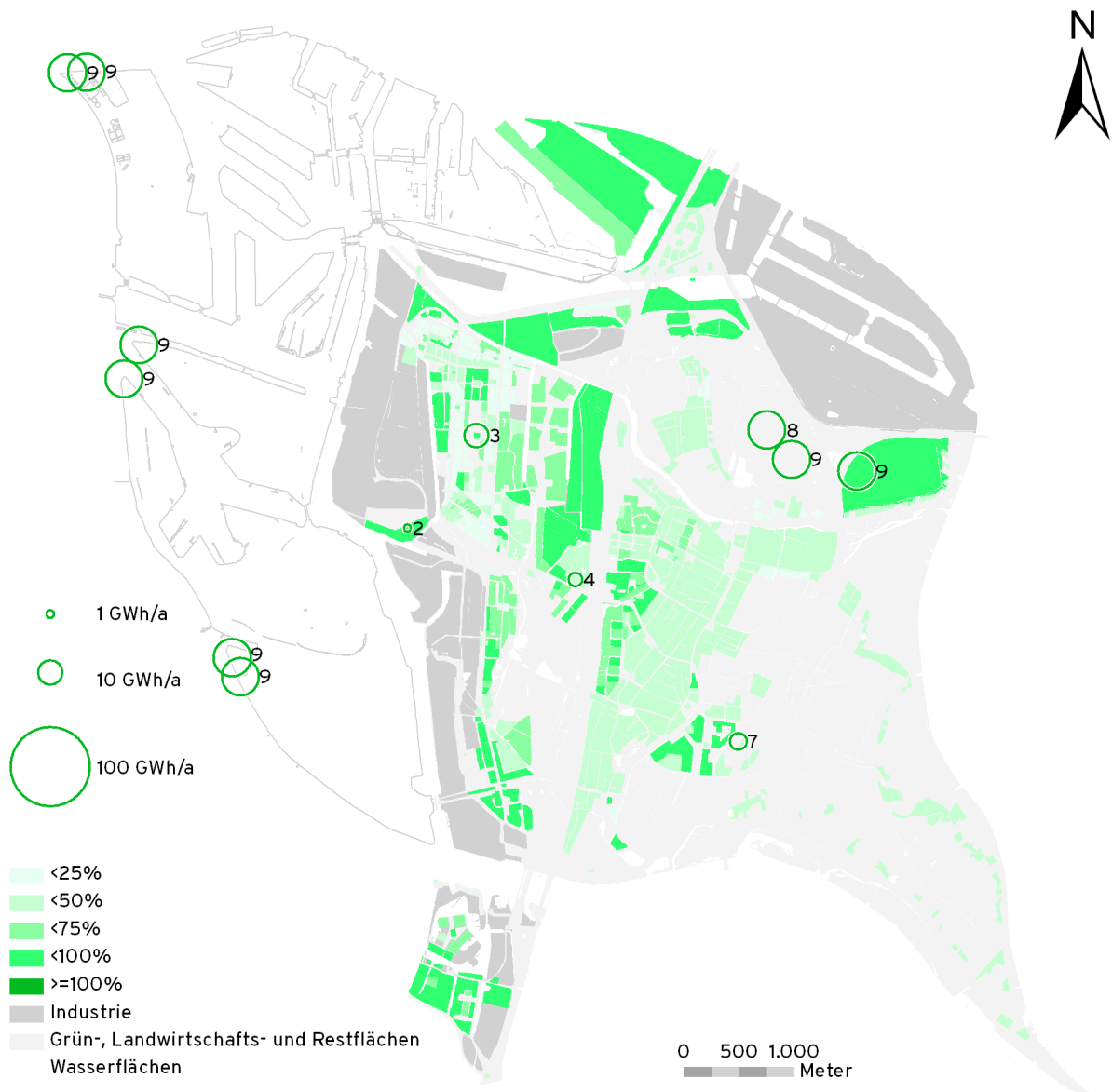
Karte A31 Regionaler elektrischer Selbstversorgungsgrad im Exzellenzszenario 2 im Jahr 2013.



Karte A32 Regionaler elektrischer Selbstversorgungsgrad im Exzellenzscenario 2 im Jahr 2020.



Karte A33 Regionaler elektrischer Selbstversorgungsgrad im Exzellenzscenario 2 im Jahr 2050.



## **B Ermittlung des aktuellen Energiebedarfes GHD**

## Heizwärme-, Warmwasser- und Strombedarf, Bedarf an Kraft- und Brennstoffen (GHD)

Die Bestimmung des Energiebedarfes der Energiepartei GHD ist schwieriger als für die Energiepartei Haushalte. Der Energieverbrauch ist inhomogen und schwankt je nach Branche erheblich. Neben dem Heizwärme-, Warmwasser- und Strombedarf sind bei GHD zusätzlich Energieträger zur Güterproduktion (Diesel, Kohle, Holz, etc.) enthalten.

Im Modellraum liegen zum aktuellen Energiebedarf der Energiepartei GHD bislang keine konkret erhobenen Zahlen vor. Auch die Studie des Bremer Energieinstitutes (BEI) konnte den aktuellen Energiebedarf für das IBA-Modellgebiet nur näherungsweise und mithilfe bundesdeutscher Statistiken erfassen (BEI 2009). Die prototypische

räumliche Einteilung des Modellgebietes erleichtert die Erfassung der Energiebedarfe, indem der Energiepartei GHD sowohl reine Gewerbegebiete (SRT Xa) als auch Mischgebiete (Xd aus SRT I-IV) und Zweckbauten (SRT Xc) zugewiesen werden. Es wird davon ausgegangen, dass produzierendes, Lärm- und Schadstoffe emittierendes Gewerbe im Wesentlichen in den Gewerbegebieten anzusiedeln ist, wogegen sich GHD-Branchen mit geringen Emissionen in Mischgebieten und Zweckbauten etablieren.

Zur Berechnung des Energiebedarfes werden zwei methodische Ansätze gewählt: Anhalts- und Schätzwerte zum Heizwärme-, Warmwasser- und Strombedarf sowie zum Bedarf an Brenn- und Kraftstoffen aus bundesdeutschen Statistiken; zusätzlich erfolgt eine Abschätzung des Energiebedarfes der Energiepartei GHD über die Beschäftigtenzahlen. Die Ergebnisse der beiden Methoden werden gemittelt.

**Tab. B 1** Schätzwerte für Energieverbrauchswerte (Endenergie) von Gewerbe in unsanierten Mischgebieten.

	Untergrenze	Obergrenze	Mittel
	kWh/(m <sup>2</sup> a)		
Strom	5 <sup>1</sup>	81 <sup>1</sup>	43
Heizwärme	65 <sup>2,3</sup>	200 <sup>2,3</sup>	133
Warmwasser	nb <sup>4</sup>	nb <sup>4</sup>	nb <sup>4</sup>

<sup>1</sup>Nach VDI-Richtlinie 3807 (Blatt 2) (außer Krankenhäuser und Schwimmbäder); <sup>2</sup>nach Everding et al. (2004) 180-200 kWh/(m<sup>2</sup>a); <sup>3</sup>nach VDI-Richtlinie 3807 (Blatt 2) 65-120 kWh/(m<sup>2</sup>a); <sup>4</sup>nicht bekannt.

**Tabelle B-2:** Schätzwerte für Energieverbrauchswerte (Endenergie) unsanierter Zweckbauten.

	Untergrenze	Obergrenze	Mittel
	kWh/(m <sup>2</sup> a)		
Strom	5 <sup>1</sup>	81 <sup>1</sup>	43
Heizwärme	65 <sup>2,3,4</sup>	210 <sup>2,3,4</sup>	138
Warmwasser	nb <sup>5</sup>	nb <sup>5</sup>	nb <sup>5</sup>

<sup>1</sup>Nach VDI-Richtlinie 3807 (Blatt 2) (außer Krankenhäuser und Schwimmbäder); <sup>2</sup>nach Everding et al. (2004) 150-210 kWh/(m<sup>2</sup>a); <sup>3</sup>nach VDI-Richtlinie 3807 (Blatt 2) 65-155 kWh/(m<sup>2</sup>a); nach BMU (2009) („Leitszenario“, Abb. 20) im Jahre 2007 ca. 105 kWh/(m<sup>2</sup>a) für Nichtwohngebäude; <sup>5</sup>nicht bekannt.

### Methode 1: Berechnung nach Anhalts- und Schätzwerten

Verlässliche Zahlen zum Energieverbrauch liegen kaum vor. Die Auswertung von Anhalts- und Schätzwerten sowie die Rückrechnung bundesdeutscher Hochrechnungen erlaubt jedoch die Abschätzung mittlerer Bedarfswerte (Tabelle B 1, Tabelle B 2, Tabelle B 3). Danach ist bei Gewerbe in Mischgebieten von einem mittleren Heizwärmebedarf von 133 kWh/(m<sup>2</sup>a) und einem mittleren Strombedarf von 43 kWh/(m<sup>2</sup>a) auszugehen. Für Zweckbauten gilt ein mittlerer Heizwärmebedarf von 138 kWh/(m<sup>2</sup>a) und ein mittlerer Strombedarf von 43 kWh/(m<sup>2</sup>a). Für Gewerbegebiete lässt sich ein mittlerer Heizwärmebedarf von 113 kWh/(m<sup>2</sup>a) und ein mittlerer Strombedarf von 70 kWh/(m<sup>2</sup>a) abschätzen. Dazu kommt noch der Energieverbrauch durch Brenn- und Kraftstoffe (für Prozesswärme).

### Methode 2: Abschätzung nach Beschäftigtenzahlen

Nach der Nationalen Energiebilanz werden dem GHD-Sektor Betriebe des produzierenden Gewerbes mit weniger als 20 Beschäftigten zugeordnet. Zudem erfolgt eine Abgrenzung nach Wirtschaftszweigen (SBA 2007; AG-Energiebilanzen 2008; SBA 2008).

Es werden folgende Branchen unterschieden:

- Baugewerbe (Hoch-, Fertig- und Tiefbau, Ausbaugewerbe)
- Büroähnliche Betriebe (Kredit- und Versicherungsgewerbe, Gebietskörperschaften und Sozialversicherungen, Verlagsgewerbe, sonstige betriebliche Dienstleistungen, Post, Telekom und Deutsche Bahn mit ihrem immobilien Anteil)
- Herstellungsbetriebe (Metallgewerbe wie Maschinenbau, Elektrotechnik, Schlossereien, Schweißereien etc., Kfz-Betriebe wie Werkstätten, Autohäuser und Mischbetriebe, Holzgewerbe wie Möbel- und Bauteilproduktion, Papier- und Druckgewerbe wie Druckereien, Buchbinder, Licht- und Fotopausereien)
- Groß- und Einzelhandel unterschieden nach Lebensmittel- und Non-Food-Sparten
- Krankenhäuser, Schulen und Bäder
- Beherbergung, Gaststätten und Heime
- Nahrungsmittelgewerbe (Bäckereien, Fleisereien, restl. Nahrungsmittel)
- Wäschereien (Textilreinigung, Färbereien, Bügelen, Heißmangleien, Textil-Mietservice)
- Landwirtschaft (Ackerbau, Viehzucht)
- Gartenbau (Freiland und unter Glas)

**Tab. B 3 Schätzwerte für Energieverbrauchswerte (Endenergie) unsanierter Gewerbegebiete.**

	Untergrenze	Obergrenze	Mittel
	kWh/(m <sup>2</sup> a)		
Strom	21 <sup>1</sup>	119 <sup>1</sup>	70
Heizwärme	23 <sup>2,3</sup>	202 <sup>2,3</sup>	113
Warmwasser	nb <sup>4</sup>	nb <sup>4</sup>	nb <sup>4</sup>
Brenn- und Kraftstoffe (für Prozesswärme)	2 <sup>5</sup>	220 <sup>5</sup>	111

<sup>1</sup>Nach Rückrechnung der Angaben zum bundesdeutschen Gesamtverbrauch und zur Gesamtbetriebsfläche des Sektors GHD (BMWi & BMU 2009) und einer angenommenen realisierten Geschosßflächenzahl (GFZ) von 0,7 (wahrscheinlich realisierte GFZ nach Everding et al. 2004) bis 2,4 (maximal zulässige GFZ nach Baunutzungsverordnung BauNVO §17); <sup>2</sup>nach Everding et al. (2004) beträgt der Heizwärmebedarf 140-200 kWh/(m<sup>2</sup>a); <sup>3</sup>nach Rückrechnung (wie für Strom) und Heizwärmeanteilen nach BMWi & BMU (2009, Tab. 7, ohne Heizstrom) für die gewerbetypischen Sektoren Herstellungsbetriebe, Baugewerbe, Bürobetriebe, Handel, Nahrungsmittelgewerbe, Textil und Kleidung beträgt der Heizwärmebedarf 23-202 kWh/(m<sup>2</sup>a); <sup>4</sup>nicht bekannt; <sup>5</sup>für die gewerbetypischen Sektoren, berechnet analog der Heizwärme.

- Flughäfen
- Textil, Bekleidung
- Nicht zugeordnete Bereiche (z.B. Klär- und Wasserwerke, Pumpwerke, Straßenbeleuchtung, Lichtsignalanlagen, Forstwirtschaft und Fischerei, Militär, u.a.).

In den Abbildungen B 1 und B 2 sind die für die einzelnen Branchen typischen bundesstatistischen Energieverbräuche bezogen auf den Erwerbstätigen dargestellt. Diese Werte wurden durch Befragungen vor Ort in ihrer Größenordnung bestätigt (ZEWU mobil-23 2009).

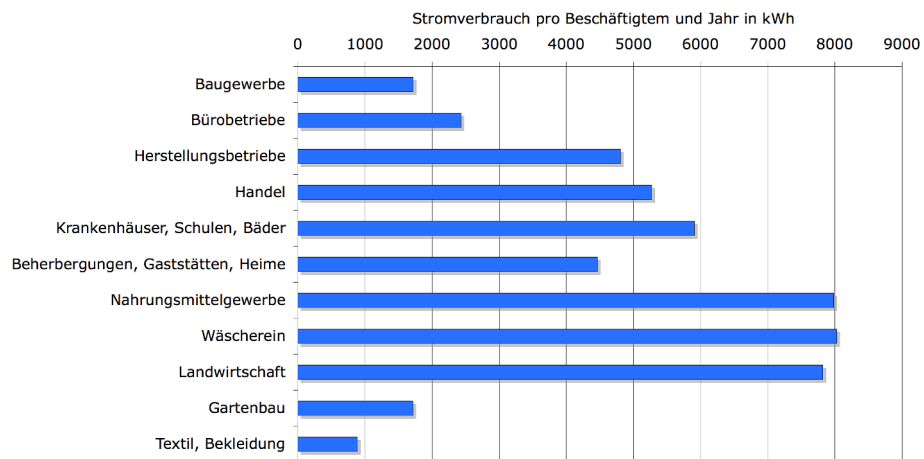


Abb. B 1 Strombedarf der Energiepartei GHD nach bundesdeutscher Statistik pro Beschäftigtem und Jahr in kWh (BMWi & BMU 2009).

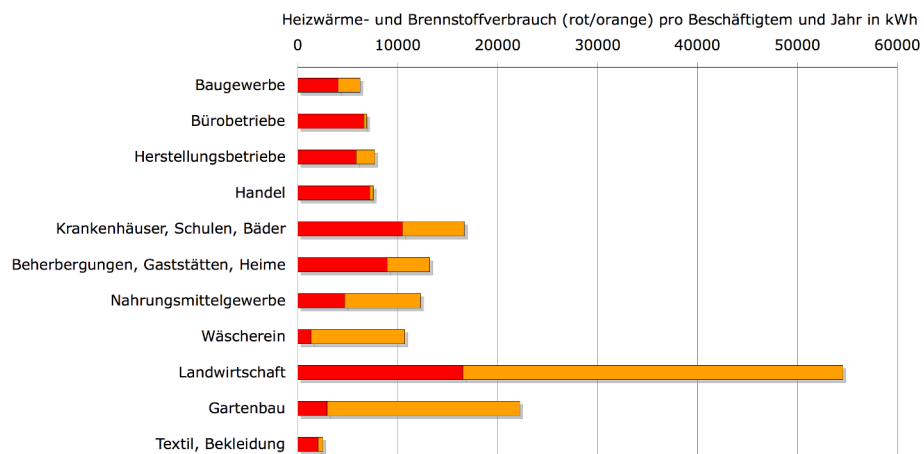


Abb. B 2 Heizwärme- und sonstiger Brennstoffbedarf der Energiepartei GHD nach bundesdeutscher Statistik pro Beschäftigtem und Jahr in kWh (BMWi & BMU 2009).

### Energiebedarf Untergruppe Infrastruktur

Der Energiebedarf der Infrastruktur (Straßenbeleuchtung, Ver- und Entsorgung, gemeinschaftliche und haustechnische Anlagen) wird der Energiepartei GHD zugeordnet, separat ermittelt und geht in die Gesamtberechnung mit ein (siehe Tabelle B 5).

Für den Stromverbrauch der Infrastruktur wird laut BMWi & BMU (2009:10) 10% des gesamten Stromverbrauches des GHD-Sektors angenommen. In Wilhelmsburg konnten 5,9% dieses Stromverbrauches nachgewiesen werden (siehe Tabelle B 4), inklusive des Energiebedarfes für Pumpwerke zur Wasserhaltung und weitere küstentechnische Anlagen. In Tabelle B 4 sind die recherchierten Strombedarfe für die Infrastruktur aufgelistet.

Der Energieverbrauch eines Stadtraumes lässt sich über die Beschäftigtenzahlen mit den genannten bundesdurchschnittlichen Verbrauchswerten (BMWi & BMU 2009) abschätzen. Es liegen zu den Beschäftigtenzahlen im Modellraum außer für den Bereich Landwirtschaft (Angaben des Statistikamts Nord) keine konkreten Zahlen vor. Deshalb wurde mit den angenommenen Beschäftigtenzahlen pro GHD-Branche der Studie des Bremer Energieinstitutes (BEI 2009) gerechnet.

Tabelle B 5 zeigt die für die Ermittlung des aktuellen Endenergiebedarfes angenommenen Beschäftigtenzahlen pro GHD-Branche, ihren Energieverbrauch pro Beschäftigten und Branche sowie den auf die Energiebezugsfläche umgerechneten Energieverbrauch für Gewerbegebiete und Zweckbauten.

Nach dieser Auswertung ist im Gewerbeanteil der Mischgebiete von einem mittleren Heizwärmebedarf von 181 kWh/(m<sup>2</sup>a), von einem Strombedarf von 86 kWh/(m<sup>2</sup>a) und von einem Kraft-, Brenn- und Warmwasserbedarf von 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) auszugehen. Für Zweckbauten ist von einem Heizwärmebedarf von 68 kWh/(m<sup>2</sup>a), einem Stromverbrauch von 38 kWh/(m<sup>2</sup>a) und von einem Warmwasserverbrauch von 25 kWh/(m<sup>2</sup>a) auszugehen (Kraft- und Brennstoffe werden hier vernachlässigt). In reinen Gewerbegebieten sind nach dieser Auswertung mittlere Heizwärmebedarfe von 85 kWh/(m<sup>2</sup>a), Strombedarfe von 55 kWh/(m<sup>2</sup>a) und Kraft-, Brennstoff- und Warmwasserbedarfe von 11 kWh/(m<sup>2</sup>a) anzusetzen.

### Zusammenführung der Methoden 1 und 2

Beim Vergleich der aus der Literatur und statistischen Zusammenhängen hergeleiteten Werte (Tab. B 1 bis B 3) mit der Auswertung über die Beschäftigtenzahlen (Tab. B 5), stellt man zum

**Tab. B 4 Auflistung der für den IBA-Modellraum konkret ermittelten Strombedarfe.**

Teilbereich	Beschreibung	Energiebedarf in kWh/a
Ver- und Entsorgung	Energiebedarfe für die Trinkwasserbereitstellung (0,5 kWh/m <sup>3</sup> *36,5 m <sup>3</sup> /(EW*a)*55.083 EW)	1.005.264,8 <sup>1</sup> (Stand: 2007)
	Energiebedarfe für die Abwasser (Transport, Hebung, Reinigung) (0,5 kWh/m <sup>3</sup> *43,8 m <sup>3</sup> /(EW*a) *55.083 EW)	1.206.317,7 <sup>1</sup> (Stand: 2007)
Straßenbeleuchtung und Lichtsignalanlagen		1.302.000,0 <sup>2</sup> (Stand: 2007)
Schöpfwerke und Schleusen		438.558 398.133 (Stand: 2008)
<b>Gesamt</b>		<b>4.350.273,5<sup>3</sup></b>

<sup>1</sup>Angaben der Hamburger Wasserwerke GmbH, 2009; <sup>2</sup>Angaben des Landesbetriebes Straßen, Brücken und Gewässer, 2009; <sup>3</sup>entspricht ca. 5,9% des Gesamtstrombedarfes der Energiepartei GHD.



**Tab. B 5 Beschäftigtenzahlen pro GHD-Branche (nach BEI 2009 und Angaben der IBA-Hamburg), ihre angenommene Aufteilung in die Stadträume „Gewerbe in Mischgebieten“, „Zweckbauten“ und „reine Gewerbegebiete“, sowie der auf die Energiebezugsfläche umgerechnete Energiebedarf.**

Branchen	Beschäftigtenzahlen <sup>1</sup>			Aufteilung			Energieverbrauch des Gewerbes in Mischgebieten <sup>2</sup>			Energieverbrauch in Zweckbauten <sup>3</sup>			Energieverbrauch im Gewerbegebiet <sup>4</sup>		
	Erwerbstätige	Gewerbe	Zweckbauten	Mischgebiet	Heizwärme	Warmwasser	Strom	Heizwärme	Warmwasser	Strom	Heizwärme	Kraft- u. Brennstoffe	Strom		
														GWh/a	GWh/a
-	E	-	-	-											
Baugewerbe	675	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,72	1,50	1,16		
Bürobetriebe	9081	0,40	0,40	0,20	12,00	0,47	4,40	24,01	0,95	8,80	24,01	0,95	8,80		
Herstellungsbetriebe	2823	0,80	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	3,30	1,04	2,71	13,20	4,15	10,84		
Handel	3133	0,80	0,10	0,10	2,25	0,11	1,65	2,25	0,11	1,65	18,02	0,91	13,19		
Krankenhäuser, Schulen, Bäder	2909	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,43	18,02	17,17	0,00	0,00	0,00		
Beherbergungen, Gaststätten, Heime	598	0,00	0,70	0,30	1,60	0,77	0,80	3,73	1,80	1,87	0,00	0,00	0,00		
Nahrungsmittelgewerbe	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Wäscherei	nb <sup>5</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Landwirtschaft	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Gartenbau	81	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	1,56	0,14	0,00	0,00	0,00		
Flughäfen	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Textil, Bekleidung	nb <sup>5</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Rest	nb <sup>5</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Infrastruktur <sup>6</sup>	nb <sup>5</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	0,00	0,00	3,23	0,00	0,00	3,40		
Summe	19300				15,86	1,36	7,53	63,96	23,48	35,57	57,94	7,51	37,39		
					Energiebezugsfläche (EBF) in ha				8,77	94,11		68,52			
					Energieverbrauch pro EBF in kWh/m <sup>2</sup> *a										
					181	15	86	68	25	38	85	11	55		

<sup>1</sup>Beschäftigtenzahlen (BEI 2009; IBA-Hamburg 2009b), die Aufteilung auf die Flächentypen wurde geschätzt; <sup>2</sup>auf den Energieverbrauch des Gewerbes in Mischgebieten hochgerechneter Energieverbrauch (BMWi & BMU 2009); <sup>3</sup>auf die Zweckbauten hochgerechneter Energieverbrauch (BMWi & BMU 2009); <sup>4</sup>auf das Gewerbegebiet hochgerechneter Energieverbrauch (BMWi & BMU 2009); <sup>5</sup>nicht bekannt; <sup>6</sup>10% des Stromverbrauch des GHD-Sektors (10% lt. BMWi & BMU 2009; 1).

Teil deutliche Unterschiede fest. Eine eindeutige Bestimmung der Verbrauchswerte erlauben nur Energieverbrauchsmessungen in den einzelnen Stadträumen, die bislang jedoch nicht vorliegen. Für die Modellierung des IBA-Geländes werden - solange keine exakteren Zahlen vorliegen - die

Mittelwerte aus den Literatur- und bundesstatistischen Annahmen und den aus den Beschäftigungszahlen abgeschätzten Werten gewählt. Sie sind in Tabelle B 6 dargestellt.

**Tab. B 6      Aktueller Energiebedarf der Energiepartei „GHD“ nach Stadtraumtypen im Jahr 2007.**

Nutzung	SRT		Heizwärme- bedarf	Prozess- energie- bedarf	Strom- bedarf
			$e'_{VH,i}$ <sup>1</sup> kWh/m <sup>2</sup> a	$e'_{VP,i}$ <sup>2,4</sup> kWh/m <sup>2</sup> a	$e'_{VS,i}$ <sup>3</sup> kWh/m <sup>2</sup> a
Gewerbe (reines)	Xa	Gewerbe	99	61	62
Zweckbauten	Xc	Zweckbauten u. öffentliche Einrichtungen	103	25 <sup>4</sup>	40
Gewerbe in I-IV	Xd	Gewerbe in Mischgebieten	157	15	64

<sup>1</sup>Heizwärmebedarf pro Energiebezugsfläche; <sup>2</sup>Prozessenergiebedarf (Brenn- und Kraftstoffe sowie Fernwärme) pro Energiebezugsfläche, <sup>3</sup>Strombedarf pro Energiebezugsfläche; <sup>4</sup>wird als Warmwasserbedarf interpretiert.

## **C    Auswertung Gasverbrauchsmessungen**

## Hintergrund

Einen Hinweis auf den tatsächlichen aktuellen Wärmeverbrauch geben Messwerte zum Erdgasverbrauch in gasversorgten Stadträumen. Adressenbezogene Gasmesswerte (in kWh pro Jahr) wurden im März 2010 vom Gasversorger über den Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Sie erlaubten eine Ermittlung des charakteristischen Gasverbrauches pro Hektar Stadtraumtyp. Diese als Messwerte zu interpretierenden Daten konnten den bislang angenommenen Energieverbrauchswerten gegenüber gestellt werden, die auf der Grundlage bundesdeutscher Erfahrungswerte und Angaben aus der Hamburger Gebäudetypologie hergeleitet wurden.

## Datenvergleich

Der Datenvergleich ist nicht eindeutig, da die Gasverbrauchsdaten Unsicherheiten beinhalten:

- So konnte nicht geklärt werden, ob das Gas nur zu Heizzwecken oder auch für die Warmwasserbereitung genutzt wird. Es ist nicht auszuschließen, dass in einem Anteil der erfassten Haushalte die Warmwasserbereitung nicht mit Gas sondern auf anderem Wege, zum Beispiel mit elektrischen Durchlauferhitzern, geschieht.
- Offen ist weiterhin, wie groß der Anteil des Erdgases zum Kochen und Backen ist („Kochgasanteil“).

- Ebenfall nicht festgestellt werden konnte, wie groß der Gasanteil zu Produktionszwecken in mischgenutzten Stadträumen ist (SRT I-IV).

Zudem wiesen die beprobten Messwerte innerhalb der Stadträume erhebliche Streuungen auf.

Um trotzdem einen Vergleich zu ermöglichen, wurden die Gasmesswerte sowohl dem angenommenen Heizwärmebedarf als auch der Summe aus Heizwärme- und Wasserbedarf gegenüber gestellt. Die sich daraus ergebenden Abweichungen werden gemittelt, so dass sich eine mittlere Abweichung der bislang angenommenen Werte zu den Gasmesswerten ergibt. Da nicht die gesamte Modellregion gasversorgt ist, konnte der Vergleich nur für neun (von 13 relevanten) Stadtraumtypen angestellt werden. Die vier nicht erfassten Stadtraumtypen sind jedoch kaum vertreten, so dass die Untersuchung repräsentativ ist. Gewerbe und Industrieflächen wurden nicht betrachtet, da hier der Energieträger Erdgas auch zu Produktionszwecken eingesetzt wird.

Tabelle C 1 zeigt die Abweichungen der auf die Stadtraumfläche bezogenen Wärmeverbrauchsdaten zu den ebenfalls flächenbezogenen Angaben des Gasversorgers. Es sind zum Teil erhebliche Abweichungen zu konstatieren. Ebenfalls dargestellt sind die Flächen, die der Stadtraumtyp im Modellraum einnimmt sowie der mit diesen Flächenanteilen gewichtete Fehler (relativer Fehler).

**Tab. C 1 Abweichung der angenommenen Wärmeverbrauchswerte zu den auf der Gasverbrauchsmessung beruhenden Wärmeverbrauchswerten, bezogen auf den Hektar Stadtraum, sowie der relative (über die Fläche des Stadtraumes gewichtete) Fehler.**

SRT		Abweichung	Fläche (ohne Wärmenetz)	relativer Fehler
		[%]	[ha]	[%]
Ila	Baublöcke Gründerzeit < 1938	-8,93	12,91	-0,33
III	Wiederaufbau 1950er	-2,20	10,16	-0,06
IV	Dörflich-kleinteilig	-109,29	40,48	-12,77
V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	-7,02	27,42	-0,56
VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	20,28	9,47	0,55
VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	44,20	28,77	3,67
VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	37,13	34,09	3,65
IXa	Einfamilienhäuser	-37,37	176,33	-19,02
SI	Schumacherbauten 1920-30er	38,06	6,85	0,75

**Tab. C 2 Stadtraumtypen mit angepasstem Heizwärmebedarf.**

SRT		Heizwärmebedarf		Abweichung [%]
		Ausgangswert	angepasster Wert	
		[kWh/m <sup>2</sup> *a]		
VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	181	199	10,14
VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	141	172	22,10
VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	148	175	18,57
S1	Schumacherbauten 1920-30er	152	181	19,03

### Folgerungen

Nimmt man die Abweichungen unter 10% als statistisch nicht relevant aus der Betrachtung heraus verbleiben noch sechs Stadtraumtypen, deren Abweichungen signifikant erscheinen. Dabei sind negative Abweichungen (höhere Annahme des Wärmebedarfes im Modell) und positive Abweichungen (niedrigere Annahme des Wärmebedarfes im Modell) zu unterscheiden.

Eine vergleichsweise höhere Annahme des Wärmebedarfes im Modell kann sich ergeben, wenn neben der Wärmebereitstellung durch Erdgas zusätzliche, nicht erfasste Optionen der Wärmebereitstellung genutzt werden. Dies scheint in einigen Bereichen durchaus der Fall zu sein. Abbildung 1 zeigt zwei gasversorgte Gebäudekomplexe des Stadtraumes III (Wiederaufbau) mit ihren adressenbezogenen Verbrauchsdaten. Obwohl der Verbrauch fast identisch ist, sind die versorgten Gebäudekomplexe unterschiedlich groß. Hier ist davon auszugehen, dass neben der Nutzung von Erdgas noch andere Energieträger zur Wärmebereitstellung genutzt werden (zum Beispiel Heizöl, Kohle, Holz). Dies ist besonders wahrscheinlich in den dörflich-kleinteiligen Gebieten (SRT IV) und

den Einfamilienhausgebieten (IXa), in denen die (negativen) Abweichungen auch am höchsten sind (Tab. C 1). Vor diesem Hintergrund erscheint der angesetzte Wärmeverbrauch realistisch. Eine Anpassung des Modells ist in diesen Stadtraumtypen nicht erforderlich.

Anders stellt sich eine niedrigere Annahme des Wärmebedarfes im Modell dar. In den Stadtraumtypen VI (Wohnsiedlungen des sozialen Wohnungsbaus), VII (Hochhauswohnsiedlungen), VIIIa (Geschosswohnungsbau) und S1 (Schumacher-Bauten) ist daher der Wärmebedarf anzupassen. Da der Warmwasserbedarf per capita ermittelt wurde und in sofern bereits weitgehend zutreffend eingeschätzt erscheint, wird hier nur der Heizwärmeverbrauch angepasst. Dabei wird die Gasverbrauchsmessung als Zusatzinformation interpretiert. Der angepasste Wert ergibt sich aus der Mittelung des ursprünglichen Wertes und des Messwertes. Die sich daraus ergebende Erhöhung des Heizwärmebedarfes ist in Tabelle C 2 dargestellt. Danach erhöhen sich die Ursprungswerte um 10-22%. Die sich daraus ergebende Veränderung im Wärme-Selbstversorgungsgrad beträgt in allen Szenarien weniger als 3%.

## **D Diversifizierung der Wärmebereitstellung im Exzellenzszenario 2**

### Elbwärme Veddel

Die Veddel zeichnet sich durch ihre Nähe zur Elbe aus. Eine mögliche Variante zum Betreiben eines Wärmenetzes für die Schumachersiedlung wäre die Nutzung des Elbwassers als Wärmequelle. Das Flusswasser-Wärmepumpen funktionieren wurde in einer Reihe von Projekten nachgewiesen: So wird zum Beispiel das Helmhaus (erbaut 1791-94) und die Wasserkirche an der Limmat in Zürich mit einer bivalenten Flusswasser-Wärmepumpe beheizt und gekühlt (Jahresarbeitszahl JAZ 3,5) (AHZ 2004), wie auch Teile des Zürcher Hauptbahnhofs und - bereits seit 1937 - das Zürcher Rathaus und anliegende Amtsgebäude (Peterhans 2007). Auch das IBA-Dock versorgt sich mit Wärme aus dem Hafenbecken.

Das Gesamtgebiet umfasst 55 ha, wovon 18 ha bebaut sind und zu versorgen wären. Nach einer Sanierung der Veddel im Jahre 2020 auf Heizwärmestandards von 60 kWh/m<sup>2</sup> im SRT S1 (Schumachersiedlung), 50 kWh/m<sup>2</sup> im SRT Xa (Gewerbe) und 30 kWh/m<sup>2</sup> im SRT Xc (Zweckbauten) sind jährlich etwa 7,1 GWh Heizwärme mit Elbwärmepumpen bereit zu stellen. Der Warmwasserbedarf beträgt 2020 etwa 5,8 GWh. Er würde mit einer Anlage zur Abwasserwärmerückgewinnung gedeckt. Der Strombedarf der Elbwärme- und Abwasserwärmepumpen wird mit 4,0 GWh pro Jahr abgeschätzt. Dabei wird für die Elbwärmepumpe eine JAZ von 3,5 und für die Abwasserwärmepumpe eine JAZ von 4,0 angenommen. Tabelle

D 1 zeigt den Wärmebedarf, den Wärmeertrag und den Stromverbrauch nach der vereinfachten Modellrechnung. Wärmenetzverluste werden vernachlässigt.

### Solarthermieprojekt Kirchdorf-Süd

Für die Hochhaussiedlung Kirchdorf-Süd ist ein solarthermisches Wärmenetz zur Heizwärmeversorgung denkbar. Ein vergleichbares Wärmenetz wurde zum Beispiel in Crailsheim (Baden-Württemberg) realisiert. Es versorgt 2.000 Bewohner mit Sonnenwärme (UBW 2007). Die solarthermisch auf Dächern und Lärmschutzwänden gewonnene Wärme wird in einem Kurzzeitspeicher und einem saisonalen Erdspeicherspeicher für Bedarfszeiten vorgehalten.

Das Gesamtgebiet umfasst 66 ha, wovon 21 ha bebaut und zu versorgen sind. Disponibel ist ebenfalls eine 5 ha große Parkplatzfläche (Raststätte Stillhorn), die überdacht zu einer solaren Nutzfläche wird. Im Jahr 2020 beträgt der Warmwasserbedarf 4,6 GWh. Er könnte aufgrund der dichten Bebauung mit einer Anlage zur Abwasserwärmerückgewinnung gedeckt werden. Bei einer Sanierung der Hochhäuser und Zweckbauten auf einen Heizwärmestandard von 30 kWh/m<sup>2</sup> wären jährlich noch etwa 6,4 GWh Heizwärme bereit zu stellen. Durch 50 m lange Erdwärmesonden könnte bereits 1,0 GWh pro Jahr Heizwärme bereitgestellt werden. Sonnenkollektoren auf den Dächern und Fassaden der Hochhaussiedlung würden 8,6 GWh pro Jahr an Wärme erzeugen. Beide Optionen zu-

**Tab. D 1 Modellrechnung für ein Wärmenetz Veddel (Endenergie), das mit Elbwärme und Abwasserwärme betrieben wird (vereinfacht).**

SRT <sup>1</sup>	Fläche in ha	EBF <sup>2</sup> in ha	Heizwärmebedarf <sup>3</sup> in kWh/m <sup>2</sup> *a	Warmwasserbedarf <sup>3</sup> in kWh/m <sup>2</sup> *a	Heizwärmebedarf in GWh/a	Warmwasserbedarf in GWh/a	Ertrag Elbwärme in GWh/a	Ertrag Abwasser in GWh/a	Strombedarf <sup>4</sup> in GWh/a
S1	6,85	8,77	60,00	35,00	5,26	3,07	5,26	3,07	-2,27
Xa	7,71	4,63	50,00	42,00	2,31	1,94	2,31	1,94	-1,15
Xc	3,66	4,69	30,00	17,00	1,41	0,80	1,41	0,80	-0,60
Summe	18,23	18,09			8,98	5,81	8,98	5,81	-4,02

<sup>1</sup>Stadttraumtyp; <sup>2</sup>Energiebezugsfläche; <sup>3</sup>pro Quadratmeter Energiebezugsfläche und Jahr; <sup>4</sup>für Wärmepumpen.

**Tab. D 2 Modellrechnung für ein Wärmenetz Kirchdorf-Süd (Endenergie), das Solarthermie, Erdwärme und Abwasserwärme kombiniert (vereinfacht).**

SRT <sup>1</sup>	Fläche in ha	EBF <sup>2</sup> in ha	Heizwärmebedarf <sup>3</sup> in kWh/m <sup>2</sup> *a	Warmwasserbedarf <sup>3</sup> in kWh/m <sup>2</sup> *a	Heizwärmebedarf in GWh/a	Warmwasserbedarf in GWh/a	Ertrag Erdwärme in GWh/a	Ertrag Sonnenkollektoren in GWh/a	Ertrag Abwasserwärme in GWh/a	Strombedarf <sup>4</sup> /-ertrag <sup>5</sup> in GWh/a	
VII	12,71	10,57	30,00	26,00	3,17	2,75	0,62	8,62	2,75	-2,46	PV
Xc	8,36	10,70	30,00	17,00	3,21	1,82	0,33	0,00	1,82	0,00	PV
Parkplatz	5,17	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,91	PV
										-1,41	WP
Summe	26,24	21,27			6,38	4,57	0,95	8,62	4,57	1,04	

<sup>1</sup>Stadtraumtyp; <sup>2</sup>Energiebezugsfläche; <sup>3</sup>pro Quadratmeter Energiebezugsfläche und Jahr; <sup>4</sup>für Wärmepumpen; <sup>5</sup>aus Photovoltaik.

sammen könnten den Heizwärmebedarf decken, sofern der Systemnutzungsgrad 74% nicht unterschreitet, also nicht mehr als ein Viertel der Wärme verloren geht.

Für die Wärmepumpen der Erdwärmesonden und der Abwasserwärmerückgewinnung ist bei Jahresarbeitszahlen von 3,5 und 4,0 ein Strombedarf von 1,4 GWh anzusetzen. Durch die Belegung der solar nutzbaren Flächen der Hochhaussiedlung (2,6 ha) mit Sonnenkollektoren verliert der Modellraum 2,5 GWh photovoltaischen Strom. Die ausschließliche PV-Nutzung auf den Zweckbauten bleibt unverändert und braucht daher in der Gesamtbilanz nicht berücksichtigt zu werden. Die 5,2 ha große Überdachung des Parkplatzes bringt wiederum einen jährlichen Stromertrag von 4,9 GWh. Durch die zusätzliche Nutzung dieser Fläche sowie der Abwasser- und Erdwärme stellt sich die Bilanz positiv dar, wie Tabelle D 2 zeigt.

### Erneuerbares Methan

Ein innovative Konzept zur regenerativen Erzeugung von Methan könnte eine weitere Komponente im zukünftigen Wärmemix darstellen (Sternier & Specht 2010). Dabei wird Wasserstoff mit CO<sub>2</sub>

thermochemisch synthetisiert (methanisiert). Das so erzeugte Bio-Methan kann gespeichert und in das Gasnetz eingespeist werden, um bei Bedarf in Wärme umgewandelt zu werden. Der Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Strom zu Methan beträgt 60%, d.h. aus 1,0 kWh Strom lassen sich 0,6 kWh des Energieträgers Methan herstellen. Der thermische Wirkungsgrad eines wärmegeführten Erdgas-BHKW beträgt bei Nennleistung etwa 55%, der elektrische Wirkungsgrad beträgt etwa 35% (Wesselak & Schabbach 2009). Somit lassen sich aus 1,0 kWh erneuerbaren Stroms 0,33 kWh Wärme „speichern“ und 0,21 kWh Strom zurückgewinnen. Im Vergleich zu anderen Speichermedien ist dies ein vertretbarer Wirkungsgrad. Zudem kann die bestehende Infrastruktur der Gasnetze und -speicher genutzt werden und braucht nicht neu aufgebaut zu werden wie zum Beispiel bei der Brennstoffzellen-Technologie. Allerdings ist der Energieaufwand für die Einspeisung des Biomethans bei Nutzung des Gasnetzes noch zu berücksichtigen. Von Vorteil ist die Möglichkeit der bedarfsgerechten Strom- und Wärmeproduktion bei Nachfragespitzen.