FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

F 3141

Johannes Hegger, M. Norbert Fisch, Thomas Wilken

Aktiv-Stadthaus im Bestand – Sanierung von Bestandsbauten der 50er/60er Jahre

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung

Fraunhofer IRB Verlag

F 3141

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2019

ISBN 978-3-7388-0349-5

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00
Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

HHS HEGGER·HEGGER·SCHLEIFF ARCHITEKTEN

Technische Universität Braunschweig

IGS

Abschlussbericht zum Projekt:
Aktiv-Stadthaus im Bestand - Sanierung von Bestandsbauten der 50er/60er Jahre

Antragsteller: HHS PLANER + ARCHITEKTEN AG

Ausführende Stelle: **HHS PLANER + ARCHITEKTEN AG**
Dipl.-Ing. Architekt Johannes Hegger
Habichtswalder Straße 19, 34119 Kassel
Technische Universität Braunschweig
Institut für Gebäude- und Solartechnik
Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch
Dipl.-Ing. Architekt Thomas Wilken
Mühlenpfordtstraße 23, 38106 Braunschweig

Projektleitung: Dipl.-Ing. Architekt Johannes Hegger

Förderung: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

Förderkennzeichen: SWD-10.08.18.7-16.35

Laufzeit: Oktober 2016 bis Januar 2018

Stand: Juli 2018

Die Forschungsarbeit wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert. (Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-16.35). Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Autoren. Die Autoren danken für die Unterstützung.

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung

Kooperationspartner

ina Planungsgesellschaft mbH
Schleiermacherstraße 12, 64283 Darmstadt
Tel.: +49 (0)6151-785-2220
Internet: www.ina-darmstadt.de
E-Mail: info@ina-darmstadt.de

Drittmittelgeber:

ABG HOLDING FRANKFURT
Niddastraße 107, 60329 Frankfurt am Main
Tel.: +49 (0)69 2608 0, Fax: +49 (0) 69 2608 277
Internet: www.abg-fh.com

Abstract

Die Energiewende ist eine der großen gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit. Mit dem Forschungsprojekt wird die Fragen, wie eine zukunftsfähige Sanierung von Mehrfamilienhäusern der 50er und 60er Jahren umgesetzt werden kann, beantwortet. Der Anspruch, diese unter Verzicht auf fossile Energieträger klimaneutral zu betreiben, wurde mit der Erzielung des Effizienzhaus Plus Standards erreicht. Das entwickelte Konzept ist an zwei Gebäudezeilen mit rund 50 Wohneinheiten in zwei- bis dreigeschossiger Bauweise, prototypisch umgesetzt wurden. Anreiz diesen Ansatz vielfältig umzusetzen bietet sich in der Sanierung der rund 1 Mio. vergleichbaren Gebäude in Deutschland.

Der Forschungsbericht stellt die entwickelten Sanierungsstrategien unter Betrachtung des ökonomischen wie ökologischen Mehrwertes dar. Der Erhalt der Bausubstanz, die Vermeidung von CO_2-Emissionen im Betrieb sowie die Erhöhung der Wohnfläche (um rund 25 bis 50 Prozent) unter Vermeidung neuer Infrastruktur stellen die Kernpunkte des Ansatzes dar. Das robuste Energiekonzept integriert Photovoltaik und den Einsatz der lokalen Wärmequellen zu einem übertragbaren Konzept.

Abstract

The Energy Transition is one of the major challenges of society of our time. The research project " Aktiv-Stadthaus im Bestand - Sanierung von Bestandsbauten der 50er/60er Jahre" gives answers how to implement sustainable renovations in multifamily housing apartments from the 1950's and 60's. The claim of climate-neutral housing with the abandonment of fossil fuels was achieved through the "Effizienzhaus Plus Standard". The concept has been prototypically implemented in two building rows with around 50 apartment units in two- or three-story construction. The incentive for this approach in a variety of ways can be found in the need to renovate approximately 1 million comparable buildings in Germany.

The research report presents developed reconstruction strategies that consider both economic and ecological added value. Preserving the fabric of the building, avoiding CO2 emissions during operation and increasing living space (by around 25 to 50%) while avoiding new infrastructure are the highlights to this approach. The robust energy concept integrates photovoltaics and the use of local heat sources into a concept that can be adapted for different locations.

Inhaltsverzeichnis

1 PROJEKTVORSTELLUNG 6
2 BESCHREIBUNG DES ARBEITSPLANS 10
3 AKTIV-STADTHAUS IM BESTAND 12
3.1 EINLEITUNG 12
3.2 POTENZIAL DER BETRACHTETEN GEBÄUDETYPOLOGIE 12
3.3 GRUNDSÄTZE DER ENERGETISCH-ARCHITEKTONISCHEN MODERNISIERUNG 19
3.3.1 Grundrisse und Fassade 19
3.3.2 Natürliche Belichtung 19
3.3.3 Nachverdichtung und Aufstockung 20
3.4 HEMMNISSE 22
3.5 ENERGIEKONZEPT 24
3.5.1 Vergleich der regenerativen solaren Energieversorgung 25
3.5.2 Energieversorgung - Konzeptfindung 30
3.6 ÖKOBILANZ 32
3.6.1 Einleitung 32
3.6.2 Ziel und Untersuchungsrahmen 34
3.6.3 Wirkungsabschätzung 36
3.6.4 Ergebnisse Wirkungsabschätzung 36
3.6.5 Ergebnisse Ökobilanzierung 42
3.7 LEBENSZYKLUSKOSTEN 42
3.7.1 Ergebnisse der Lebenszykluskosten 43
4 STAND DES PROJEKTS 47
4.1 EINLEITUNG 47
4.2 BESTANDSAUFNAHME 48
4.3 GESTALTERISCHE GRUNDSÄTZE DER SANIERUNG 53
4.4 VERGLEICH SANIERUNG MIT UND OHNE LEERZUG 54
4.5 NACHVERDICHTUNG DURCH AUFSTOCKUNG 63
4.6 UMSETZUNG 64
4.7 ASPEKTE DER NACHHALTIGKEIT, ÖKOLOGISCHER UND ÖKONOMISCHER MEHRWERT 71
5 ÜBERTRAGBARKEIT 72
6 ZUSAMMENFASSUNG / KURZBERICHT 73
7 SUMMARY 74
8 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT 75
9 LITERATURVERZEICHNIS 76
10 GLOSSAR 77
11 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS 85
12 BEARBEITUNGSTEAM 86
13 ABBILDUNGSVERZEICHNIS 87
14 TABELLENVERZEICHNIS 90
15 ANHANG 91

1 PROJEKTVORSTELLUNG

In dieser Forschungsarbeit sind Maßnahmen und Strategien zur energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden der 50er und 60er Jahre dargestellt. An zwei Beispielgebäuden ist aufgezeigt, dass eine Bestandssanierung auf unterschiedliche Effizienzniveaus sowohl im unbewohnten als auch im bewohnten Zustand möglich ist.

Motivation und Ziele des Forschungsvorhabens

Das Forschungsvorhaben dient vor dem Hintergrund des Klimawandels und knapper Ressourcen der Suche nach zukunftsweisenden Lösungen zur Reduzierung des Energieverbrauchs in Gebäuden. Für Neubaumaßnahmen bestehen bereits Lösungsansätze. Hier geht es darum, für die große Menge von Bestandsgebäuden wirksame und wirtschaftliche Lösungen zu finden, die auch erhöhten Anforderungen zukünftiger EnEV-Novellierungen, wie auch dem Gebäudeenergiegesetzt (GeG) und der Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) gerecht werden.

Sanierungen mit einem hohen Energiestandard, wie es der Aktiv-Plus-Ansatz ermöglicht, bringen große Vorzüge für Ihre Bewohner, da sie als Nutzer weitestgehend unabhängig von steigenden Energiepreisen sind, je umfangreicher regenerative Energien, wie zum Beispiel Solarstrom, eingesetzt sind. Dies trägt dazu bei, die mit der Energiewende verbundene Gefahr sozialer Unausgewogenheit zwischen Bewohnern von Neu- und Bestandsbauten zu kompensieren bzw. aufzuheben.

Die energetische Sanierung erreicht eine Verbesserung des Nutzungskomforts, der Raumqualitäten und der architektonischen Wirkung von Gebäudebeständen. Das Zusammenspiel von Architektur, hochwertiger Gebäudehülle und innovativer Gebäudetechnik hilft zudem, folgende Kernziele zu erreichen:

a) Deutliche Unterschreitung der EnEV 2016 beim Primärenergieeinsatz und bei den Transmissionswärmeverlusten.

b) Bilanzielle, gebäudebezogene regenerative Energieerzeugung, möglichst größer als der Gesamtenergiebedarf für Raumheizung, Warmwasser, Beleuchtung, Lüftung und Haushaltsstrom des Gebäudes. Hoher Eigenstrom-Nutzungsanteil durch Lastmanagement, Nutzung des Stromüberschusses für Elektromobilität.

c) Bewohnerfreundliche Sanierungskonzepte, die die Beeinträchtigung des Wohnens durch die Sanierung minimieren, indem sie mehrstufig vorgehen und die hochwirksamen Maßnahmenpakete im bewohnten Zustand, d. h. von außen, umsetzen.

d) Hochwertige Architektur, die die Vorteile von Aktiv-Plus-Sanierungen auch in visuell attraktiver Form an die Öffentlichkeit/die Stadtgesellschaft vermittelt.

e) Aktive Einbeziehung der Nutzer in den Prozess energieeffizienten Gebäudebetriebs durch ein Nutzerinterface, das jederzeit den Sachstand des Energieverbrauchs im Verhältnis zu einem vorgegebenen Energiebudget ermöglicht.

Die Anwendungsbeispiele des Forschungs- und Entwicklungsprojektes sind für Bestandsgebäude der 50er Jahre repräsentativ. Auch die Projektgrößen eignen sich, das Sanieren nach dem angestrebten Standard in ein geeignetes Niveau von „economies of scale“ zu bringen. Die Beispielprojekte erlangen eine hohe Aufmerksamkeit durch die gute Erreichbarkeit und die attraktiven Standorte in Frankfurt.

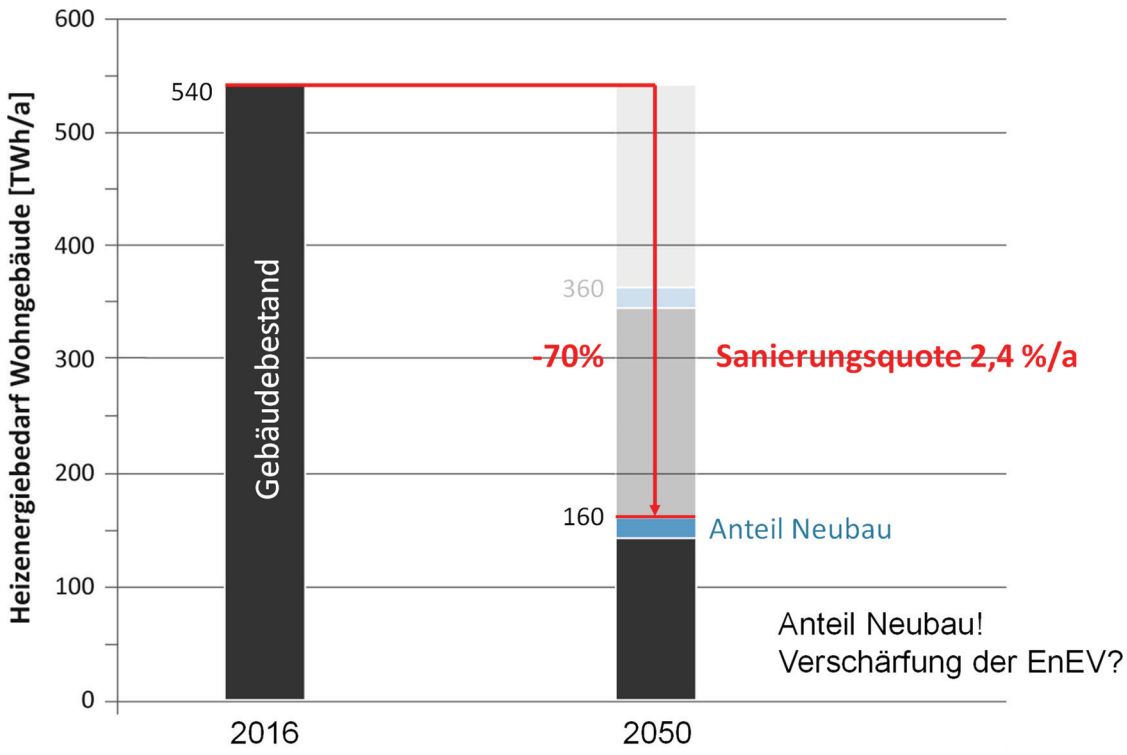


Abbildung 1: Beitrag Wohngebäude zur Energiewende | Relevanz des Bestands; [IGS]

Der gesamte Wohngebäudebestand in Deutschland weist einen Energiebedarf von 540 TWh/a zur Beheizung der Gebäude auf. Um bis zum Jahr 2050 eine Reduzierung um 70 % zu erreichen, ist eine Sanierungsquote der Bestandsgebäude von 2,4 % pro Jahr notwendig. Der Anteil der Neubauten ist aufgrund der aktuellen Energieeinsparverordnung vergleichsweise gering. Die Sanierung des Bestands auf mindestens Neubauniveau ist die große Herausforderung der nächsten Jahre, um den Energieverbrauch zu senken und damit einen signifikanten Beitrag zur Einhaltung der Klimaschutzziele zur erzielen.

Aufbau und Methodik

Das Zukunft-Bau-Projekt „Aktiv-Stadthaus“ legte 2012 bis 2013 die Grundlagen für hoch energieeffiziente Mehrfamilienwohnhäuser. Mit diesem Projekt gelang es nachzuweisen, dass nicht nur im Einfamilienhaus-, sondern auch im Großwohnungsbau der Effizienzhaus Plus-Standard erreichbar ist, dies auch unter ungünstigen städtebaulichen und geometrischen Rahmenbedingungen und bei hoher Dichte. Das entsprechende Demonstrativbauvorhaben ging 2016 in Betrieb und ist einem intensiven Monitoring unterzogen.

Untersucht ist, ob der „Aktivhaus-Standard“ bei der Sanierung des Gebäudebestands erreichbar ist, zunächst für die großen Bestände der 50er Jahre, ca. 2,1 Mio. Gebäude und mehr als 5 Mio. Wohneinheiten in Deutschland[1]. Wie für das Projekt Aktiv-Stadthaus im Neubau ist auch bei der Bestandssanierung der Effizienzhaus Plus-Standard angestrebt, sofern dieser unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten realisierbar ist. Hierzu sind die technisch machbaren und planerisch umsetzbaren Lösungen untersucht und zu einem Optimum geführt mit dem Ziel, den besten Weg zwischen passiven Maßnahmen zur Energieeinsparung und aktiven Maßnahmen zur Energiegewinnung am Gebäude einzuschlagen.

Dies ist am Beispiel zweier realer Projekte untersucht, die das Forschungsteam bei der Sanierung begleitet. Es handelt sich um 51 Wohneinheiten der ABG HOLDING FRANKFURT in zwei- bis dreigeschossigen Gebäudezeilen im Osten Frankfurts (Nebeniusstraße 11 – 15, 12 – 20 und Schlettweinstraße 45).

Ideal ist die komplette Entmietung von Gebäuden, dadurch erreicht man das bestmögliche Sanierungsergebnis. Bei einer gewissen Leerstandsquote, in größeren baulichen Zusammenhängen und bei schlüssig geplanten Sanierungs-Ablaufkonzepten ist dies möglich und wird im Idealfall ohne größere soziale Verwerfungen umgesetzt, wenn Bewohner in ihrem Heimatquartier bleiben und ortsnah in eine mindestens gleichwertige Wohnung umziehen. Häufig bestehen solche günstigen Bedingungen aber nicht. Die Entwicklung von prozessoptimierten Sanierungskonzepten ist erforderlich. Sie ermöglichen den Verbleib der Bewohner in ihrer gewohnten Umgebung . Mit der Sanierung der Gebäudehülle und der entsprechenden Anpassung der Gebäudetechnik ist die Energieeffizienz wesentlich gesteigert. Wohnungsbezogene Anpassungen bewirken geringere energetische Verbesserungen. Sie sind im Zuge von Mieterwechseln oder bewohnerseitig gewünschten Wohnungssanierungen realisiert.

Die Gebäudegruppe in der Nebeniusstraße 11 – 15 sowie Schlettweinstraße 45 ist aufgrund ihrer Lage, Grundrissstruktur und Nachfrage im Wesentlichen unverändert. Die Wohnzeile in der Nebeniusstraße 12 – 20 ist umfangreich verändert und wegen der knappen Wohnungszuschnitte erweitert. Die Gebäudegruppe ist fertiggestellt, dies mit den Bewohnern in ihrer „gewohnten Umgebung“ im laufenden Betrieb. Die zweite Gebäudezeile ist demgegenüber totalsaniert und erforderte einen Leerzug. Beide Strategien lassen sich gut vergleichen.

Aus den Erkenntnissen dieser Projekte lassen sich allgemein gültige Schlussfolgerungen für die Sanierung der umfangreichen Bestände dieser Baualtersklasse ziehen. Diese Schlussfolgerungen richten sich an verschiedene Akteure: die Politik, die Finanzierungs- und Förderungsinstanzen, institutionelle und private Bauherren, Architekten und Ingenieure.

[1] Zensus 2011, Gebäude- und Wohnungsbestand, Statistisches Ämter des Bundes und der Länder, 2014

Der übergeordnete Forschungsansatz ist mit dem Schlüsselbegriff „Design Research“ beschreibbar. Es geht darum, Forschung und Entwicklung an konkreten Projekten darzustellen und zu exemplifizieren. Durch die Verknüpfung von Forschung und Entwicklung ist die Forschung aus der reinen Theorie in den unmittelbaren Anwendungszusammenhang gestellt. Tests an realen archetypischen Bauten führen zu grundsätzlichen Lösungen. Die Prüfung der wissenschaftlichen Erkenntnisse an der Realität, wie sie im Rahmen der Sanierungsprojekte erfolgt, hilft akademische Übungen abseits der Machbarkeit zu vermeiden, schafft Glaubwürdigkeit und Unmittelbarkeit. Nicht zuletzt beschleunigt die Umsetzung dringend erforderliche Veränderungen angesichts von Klimawandel und Energiewende.

2 BESCHREIBUNG DES ARBEITSPLANS

Die Untersuchung erfolgt mit den beschriebenen Schwerpunkten und in Rückkopplung mit der Umsetzung von zwei Demonstrationsvorhaben zur Sanierung von Mehrfamilienhäuser aus den 50er Jahren im Effizienzhaus Plus-Standard. Der Arbeitsplan gliedert sich wie folgt:

A Gebäudeenergiekonzepte

Energiekonzepte für den Bestand müssen sich an der bestehenden Gebäudesubstanz ausrichten. Das Erreichen oder eine Annäherung an den Effizienzhaus Plus-Standard ist das Ziel. Der Wärmebedarf für Heizen und Brauchwassererwärmung reduziert sich auf ein Minimum, ebenso der Bedarf an elektrischer Energie. Ergänzt durch die Nutzung erneuerbarer Energiequellen für Wärme und Strom, ist das Gebäude ein aktives Element im urbanen Energiesystem der Zukunft. Ein innovatives MSR-System gewährleistet einen wirtschaftlichen Betrieb von sanierten Gebäuden. In Alternativen und Varianten sind technische und wirtschaftliche Optionen untersucht. Die allgemeine Übertragbarkeit ist ein nicht nur während dieses Arbeitspakets durchlaufender Arbeitsinhalt.

B Prozessoptimierte Sanierungskonzepte

Die Strategien „Totalsanierung mit Auszug der Mieter“ und „Sanierung unter Betrieb“ sind an zwei vom Bestand her nahezu identischen Gebäudegruppen untersucht. Die Sanierung im bewohnten Zustand bedingt die Aufteilung der Sanierung in Abschnitte außerhalb der Wohnungen, wie zum Beispiel die Aktivierung der Gebäudehülle und innerhalb der Wohnungen. Die Eingriffe in die Gebäudetechnik berücksichtigen die ununterbrochenen Bewohnbarkeit. Die entwickelten wirtschaftlichen Lösungen hierzu vergleicht das Forschungsteam, mit der Totalsanierung der zweiten Gebäudezeile.

C Gebäudehülle: Energie und Architektur

Die Steigerung der Energieeffizienz wie auch die Nutzung erneuerbarer Energien hängt ganz wesentlich von den Qualitäten einer verbesserten Gebäudehülle ab: von Fassaden, Fenstern, Dächern und gebäudeintegrierten solaren Systemen. Die bevorzugte Lösung für die Gebäudehülle ist von vielen Parametern abhängig, wie etwa verfügbare Mittel, technische Anforderungen (insbesondere Schallschutz, Brandschutz), Flächenverfügbarkeit für Dämmung, Tageslichtversorgung und Außenbezug der Wohnungen. In jedem Falle gilt: keine Veränderung ohne Verschönerung. Die Lösungsansätze für die Beispielprojekte sind allgemein übertragbar und tragen einer behutsamen gestalterischen Aufwertung Rechnung.

D Ökobilanzierung und Lebenszykluskostenvergleich

Die reduzierten Betriebsenergieverbräuche nach der Sanierung vergleicht das Team mit den Energieaufwendungen für die Sanierung für Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung von Baumaterialen. Außerdem stellt es den ökologischen Fußabdruck unter Einbeziehung der Emissionen aus Bau und Betrieb für a) Bestand ohne Sanierung, b) nach Sanierung und c) im Vergleich zu Abriss und Neubau gegenüber. Hieraus leiten sich allgemein übertragbare Hinweise für viele andere, ähnlich gelagerte Projekte ab.

E Energiemanagement

Bewertet wird hier, welche Maßnahmen zur Erreichung der geplanten Energieeffizienz der Anlagentechnik erforderlich sind, um die Gebäudeperformance abbilden zu können. Das Nutzerverhalten im Detail gehört hierbei nicht zur Bewertung. Die Kosten für den individuellen Verbrauch lassen sich über Abrechnungen einsehen. Ein Nutzerinterface ist in den Sanierungsbeispielen nicht vorgesehen. In den beiden Gebäudezeilen sind unterschiedliche Systeme zur Heizung, Warmwasserbereitung und Lüftung (zentral und wohnungsweise dezentral) umgesetzt. Ein Vergleich von Nutzerakzeptanz, Robustheit und Energieeffizienz ist vorgesehen.

F Leitfaden

Die Vorgehensweise und die Ergebnisse des Forschungsprojektes beziehen sich auf ein prototypisches Umsetzungsbeispiel des Bauens der 50er Jahre. Eine weitgehende Übertragbarkeit, auch auf andere Baualtersklassen, ist jedoch gegeben. Hierzu existiert ein Leitfaden, der die wesentlichen Erkenntnisse des Projektes für die Planungs- und Baupraxis zusammenfasst: Planungswerkzeuge, Rechenmodelle, Anwendungsbeispiele und daraus abgeleitete, verallgemeinerbare Regeln für die energetische Sanierung von Beständen.

Projektablauf / Zeitplan

Der Zeitplan sah eine Bearbeitung des Forschungsprojektes über einen Zeitraum von 16 Monaten ab Oktober 2016 vor.

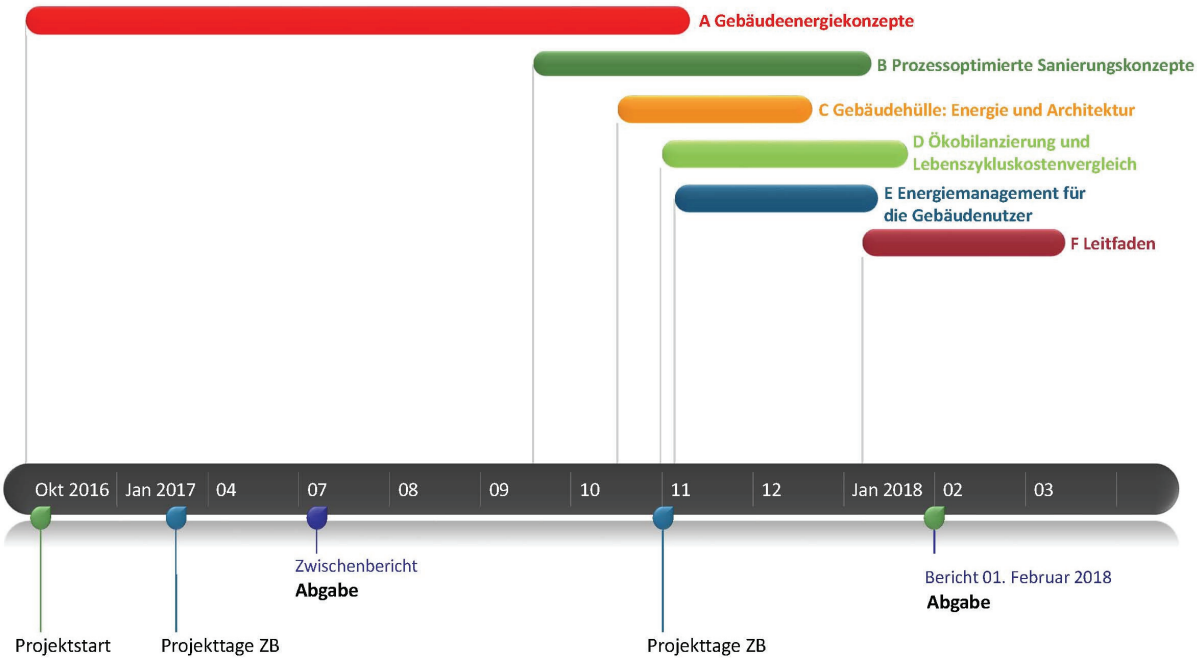


Abbildung 2: Zeitstrahl Projektablauf; [HHS]

3 AKTIV-STADTHAUS IM BESTAND

3.1 Einleitung

Um die Energiewende zu beschleunigen, findet eine Entwicklung von Sanierungsstrategien für die großen Wohnungsbaubestände der 50er Jahre statt. Diese weisen aufgrund ihrer Errichtung vor Einführung der 1. Wärmeschutzverordnung (WSVO) sowie ihrer weiten Verbreitung ein hohes Einsparpotential auf. Der Effizienzhaus Plus-Standard ist angestrebt, muss jedoch unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten realisierbar sein.

3.2 Potenzial der betrachteten Gebäudetypologie

Die 50er Jahre waren in Deutschland vom Wiederaufbau geprägt. Für die rund 2 Mio. im zweiten Weltkrieg zerstörten Gebäude musste Ersatz geschaffen werden. Wirtschaftliche Zwänge führten zur Umsetzung kleiner Wohnflächen. Tragstrukturen wurden überwiegend mit minimalen Lastreserven ausgeführt. Im Zuge dieser Bauweise wurden mit der DIN 4108 die Anforderungen an den „Wärmeschutz im Hochbau“ gestellt und die Kriterien an den Wohnungsbau definiert.

Abbildung 3: Gebäude der 50er Jahre; [HHS]

Die bis dahin von Parzellen und Blockrandstrukturen geprägten Stadtraumtypen wurden durch Zeilenbebauungen abgelöst. Die nötigen Dimensionen des Wohnungsneubaus führten zu Erweiterungen der bestehenden Städte in Stadtteildimensionen. Diese Quartiere weisen mit einer Geschossflächenzahl (GFZ) von 0,4 bis 0,6[2] eine sehr geringe Dichte auf. Die Zeilenbebauungen sind von Doppel- und gereihten Häusern mit 2-spänniger innerer Erschließung geprägt.

Die Entwicklung in Ostdeutschland koppelte sich Mitte der 50er Jahre von der im Westen ab. Wirtschaftliche Zwänge, wie die anhaltende Wohnungsnot, führten zur Industrialisierung des Wohnungsbaus. Plattenbauten waren die Antwort der DDR, um ihren Bewohnern zeitnah ausreichend qualitätsvollen Wohnraum zu bieten. Im Gegensatz zur BRD wurde in der DDR mit einer GFZ von 1,0 bis 1,7[3] eine relativ hohe Dichte angestrebt.

[2] (Westphal, 2008)

[3] (Tichelmann, 2015)

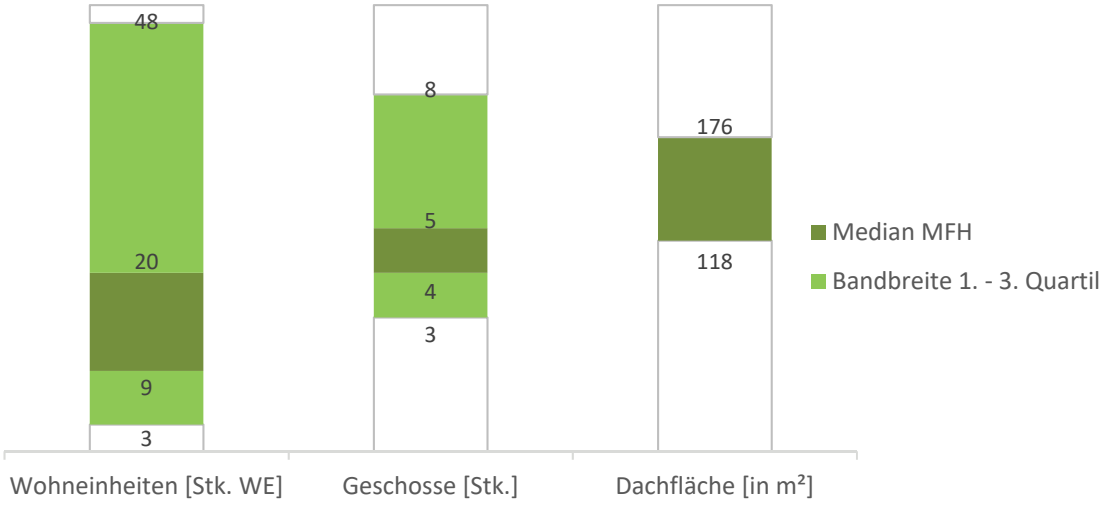


Abbildung 4: Mehrfamilienhäuser der Baujahre 1950 - 1959; [HHS][4]

Mit dem Wirtschaftswunder in Deutschland kam es zu Vollbeschäftigung und steigendem Wohlstand, verbunden mit einer hohen Nachfrage nach Wohnraum. Der Wiederaufbau war mit Erreichung des Vorkriegsstands an Wohnungsversorgung abgeschlossen. Im Bauwesen eingesetzte Techniken wie Materialien wurden fortentwickelt. Der Einsatz von Stahlbeton verbesserte die statischen Eigenschaften und erhöhte die Effizienz deutlich. Die Dimensionen, in denen neue Stadtteile errichtet wurden, hatten ein neues Niveau erreicht und führten mitunter zur Schaffung von „Wohnstädten" als Trabantensiedlungen. Die Gebäudetypologie der Zeilenbebauung prägte das Bild dieser Zeit. Die innere Erschließung wurde typischerweise als 2- bis 3-Spänner effizienter. Die mit steigendem Wohlstand verbreitete individuelle Mobilität führte in den Städten zu neuen Problemen, denen mit Straßenbau und der Förderung des ÖPNV entgegengewirkt wurde.

Abbildung 5: Mehrfamilienhäuser der Baujahre 1960 - 1969; [HHS][5]

[4] (Tichelmann, 2015)

[5] (Tichelmann, 2015)

Baujahre	**1950 - 1959**	**1960 - 1969**
Stadtraumtypen	Blockrand, Zeilenbebauung	Blockrand, Großwohnsiedlungen
Erschließungstyp	2-Spänner als „gereihtes Haus“	2- bis 3-Spänner als „gereihtes Haus“
Geschossigkeit	3 – 4 überwiegend	3 – 5 überwiegend
Dachfläche MFH mit 3 – 12 Wohnungen	ø 176 m²	ø 198 m²
Dachfläche MFH mit ≥ 13 Wohnungen	ø 118 m²	ø 153 m²
Dachfläche MFH Neue Bundesländer	ø 110 m²	
	Nutzbare Dachfläche für Erneuerbare Energien (Photovoltaik)	
Nicht ausgebautes Dachgeschoss	Orientierung S ca. 40-45 % Orientierung O/W ca. 85-90 %	
ausgebautes Dachgeschoss (Fensterfl. 20 %)	Orientierung S ca. 30-35 % Orientierung O/W ca. 70-75 %	
Dach	Satteldach, überwiegend ungenutzt	Satteldach, Flachdach, teilweise ausgebaut

Tabelle 1: Gebäudetypologie nach Bauperiode; [HHS][6]

Die Bestandsgebäude der Baualtersklasse von 1950 bis 1969 lassen sich u. a. nach ihrer Dichte unterteilen. Freistehende Gebäude, die überwiegend in den Baualtersklassen der 50er und 60er Jahre zu finden sind, weisen mit einer GFZ von 0,42 eine nach heutigen Maßstäben für Wohngebiete mit Mehrfamilienhäusern geringe Dichte auf und bieten ein hohes Potential zur Nachverdichtung. Der Flächenbedarf, bezogen auf die Bauweise für je 1.000 Wohnungen, stellt sich im Mittel wie folgt dar:

Freistehende Wohnbebauung	40,7 ha (GFZ 0,42)
Zeilenbebauung	9,1 ha (GFZ 0,95)
Blockrandbebauung	3,8 ha (GFZ 2,46)
Mischung Stadtraumtypen	22,0 ha[7]

[6] (Tichelmann, 2015)

[7] (Tichelmann, 2015)

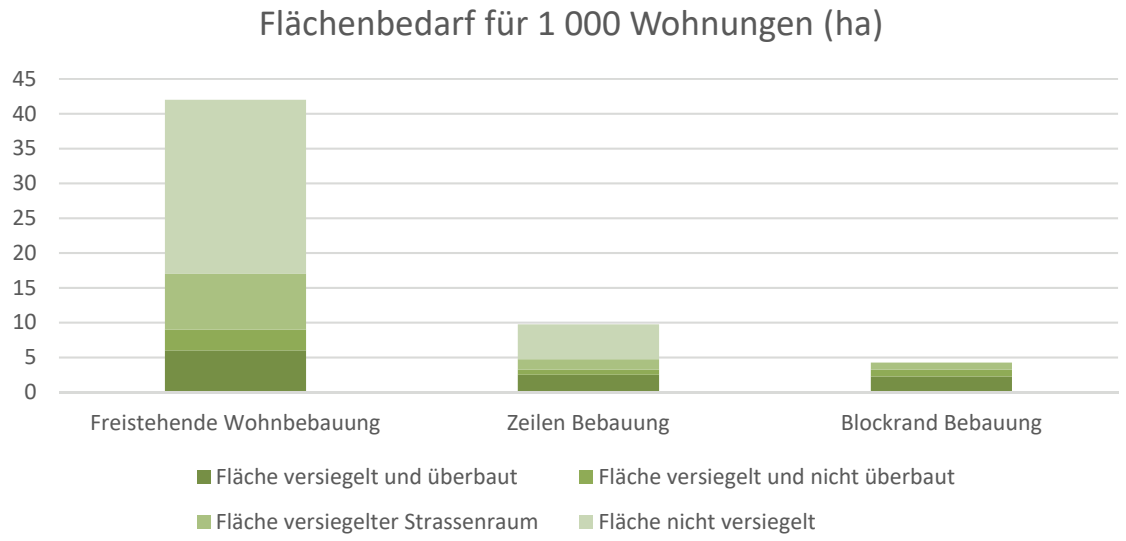


Abbildung 6: Stadtraumtypen und ihr Flächenbedarf in ha; [HHS][8]

Entsprechend ist bei freistehenden Gebäuden der Anteil nicht versiegelter Flächen am höchsten. Pro m² Wohnfläche (WF) ergibt sich folgender Anteil an Grünflächen (GF):

Freistehende Wohnbebauung	3,0 m² Grünfläche (GF)/m² Wohnfläche (WF)
Zeilenbebauung	1,0 m² GF/m² WF
Blockrandbebauung	0,5 m² GF/m² WF[9]

Hinzu kommt ein erhöhter CO_2-Emissionsanteil pro Bewohner bei Einfamilienhäusern im Vergleich zu Mehrfamilienhäusern. Die in Abbildung 7 dargestellten Emissionen ermitteln sich aus dem Heizenergiebedarf und dem Haushaltsstrombedarf multipliziert mit dem entsprechenden CO_2-Äquivalent gemäß der GEMIS-Datenbank. Es handelt sich hierbei um Äquivalente, in denen auch andere Treibhausgase wie Methan, Lachgas etc. berücksichtigt sind, jeweils einschließlich sämtlicher Vorketten wie Förderung, Aufbereitung, Transport etc.. In den letzten Jahren haben sich diese Werte mit der Ausnahme für den Emissionsfaktor für Strom nur marginal verändert.

Deutlich wird hingegen das die berechneten CO_2-Emissionen im Bestand noch deutlich über denen des Neubaus liegen.

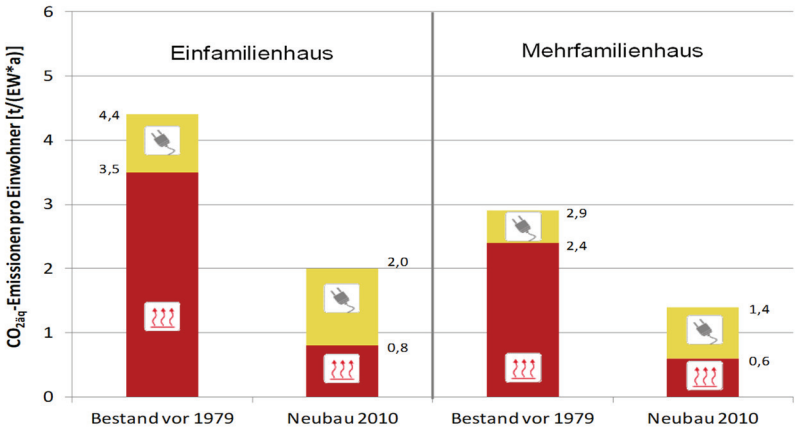


Abbildung 7: CO_2,äq-Emissionen in Deutschland Entwicklung Bereich Wohngebäude; [IGS]

[8] (Tichelmann, 2015)

[9] (Tichelmann, 2015)

Betrachtet man die CO_2-Emissionen der unterschiedlichen Neubaustandards über einen Zeitraum von 50 Jahren (angenommener Gebäude Lebenszyklus), lassen sich die Netto-Emissionen über Gutschriften für Eigenstromnutzung und Stromeinspeisungen aus regenerativer Erzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung reduzieren. Damit können im angenommenen Lebenszyklus beim Neubau im Vergleich zum aktuellen EnEV-Standard die CO_2-Emissionen um bis zu 62 % gesenkt werden (siehe Abbildung 8). Bei der Bestandssanierung auf das Niveau Nullenergie können im Vergleich zum aktuellen EnEV-Standard die CO_2-Emissionen rund 2/3 gesenkt werden (siehe Abbildung 9).

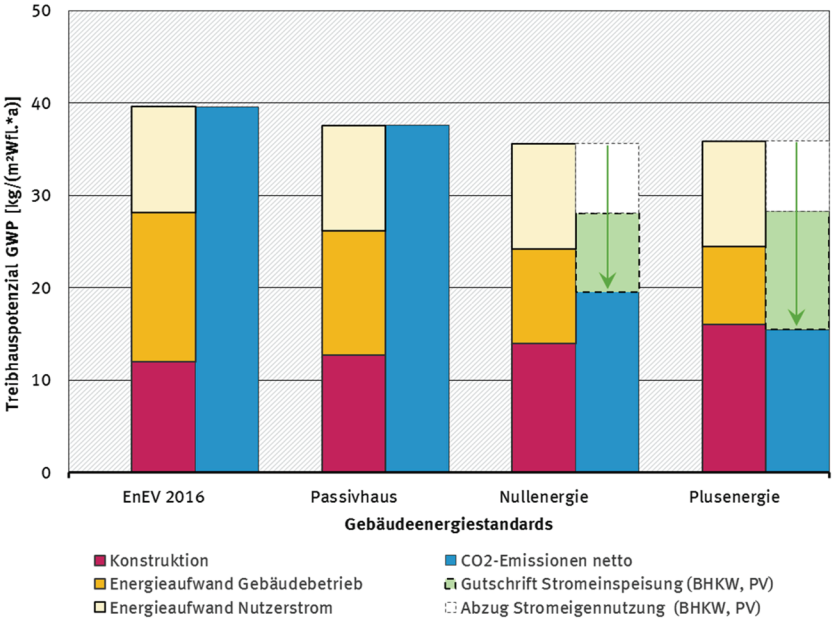


Abbildung 8: $CO_{2,äq}$ - Emissionen im Lebenszyklus (50 Jahre) Neubau Mehrfamilienhaus; [IGS]

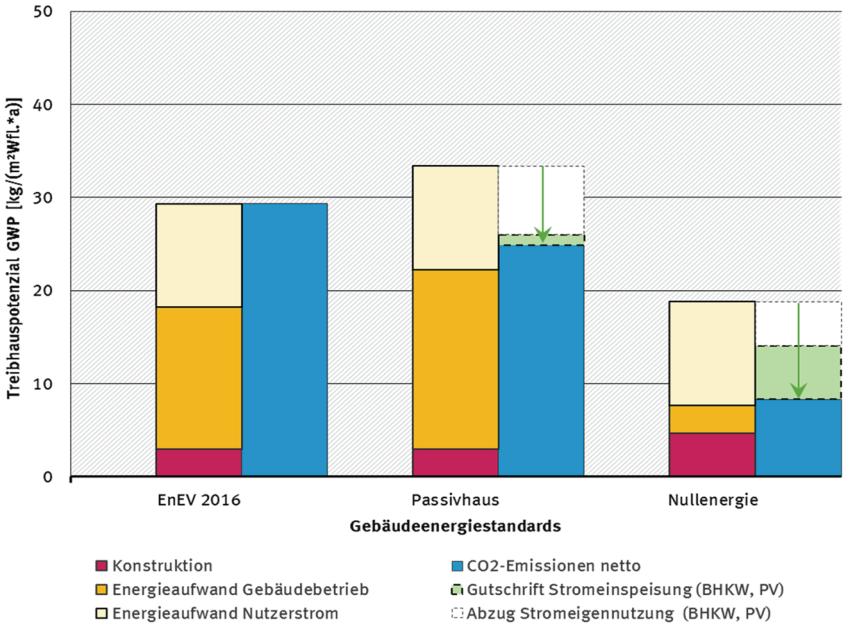


Abbildung 9: $CO_{2,äq}$ - Emissionen im Lebenszyklus (50 Jahre) Sanierung Mehrfamilienhaus; [IGS]

Von den rund 18 Mio. Gebäuden in Deutschland sind rund 3 Mio. Gebäude Mehrfamilienhäuser mit 3 und mehr Wohnungen. Die betrachtete Baualtersklasse der 50er bis 60er Jahre macht hiervon rund 1 Mio. aus, davon stehen rund 0,393 Mio.[10] Gebäude nach einer Untersuchung der TU-Darmstadt in Regionen mit Wohnungsdefizit und mittelfristigem Wohnungsbedarf.

Die Dachflächen der Betrachteten Mehrfamilienhäuser lassen sich zur Integration erneuerbarer Energien mit Photovoltaikmodulen nutzen. PV Strom, der überwiegend im Gebäude genutzt wird, erhöht die anrechenbaren direkten solaren Deckungsanteile, insbesondere dann, wenn der regenerative Ertrag durch die Bewohner (z. B. bei Mieterstrommodellen) verbraucht wird. Dabei ergeben sich aus der Dachneigung und -orientierung sowie der Ausbausituation die mögliche installierte Leistung und die solaren Erträge. Vereinfacht wurde von der Nutzung monokristalliner Module mit einer spez. Leistung von 200 W_p/m^2 gerechnet. Bezogen auf ein Standardmodul ergibt sich eine Peak-Leistung von 330 W_p.

Aus den nachfolgenden Grafiken lassen sich die möglichen Peak-Leistungen sowie Erträge für typische orts- und gebäudespezifische Situationen ablesen.

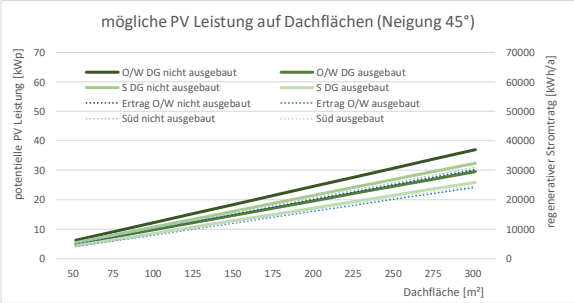


Abbildung 10: Photovoltaik Ertrag und mögliche PV Leistung bei Flachdächern; [IGS]

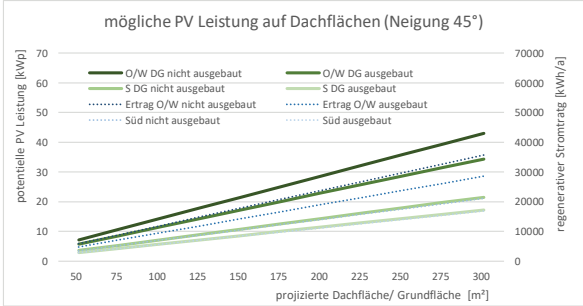


Abbildung 11: Photovoltaik Ertrag und mögliche PV Leistung bei einer Dachneigung von 15°; [IGS]

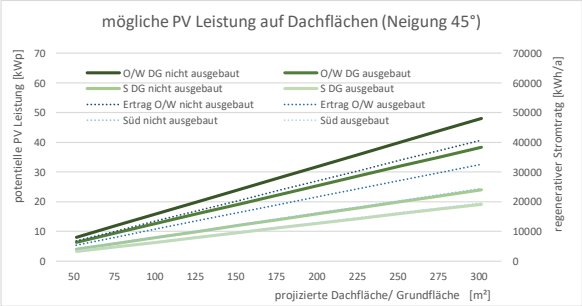


Abbildung 12: Photovoltaik Ertrag und mögliche PV Leistung bei einer Dachneigung von 35°; [IGS]

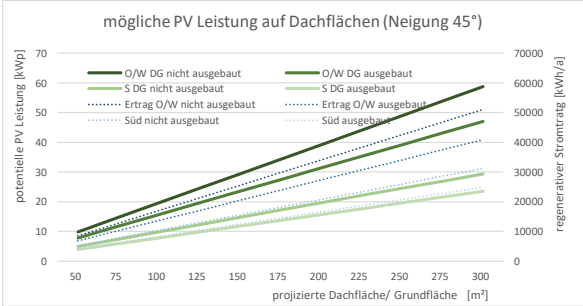


Abbildung 13: Photovoltaik Ertrag und mögliche PV Leistung bei einer Dachneigung von 45°; [IGS]

Dividiert man die möglichen Erträge durch den durchschnittlichen Stromverbrauch pro Wohneinheit ergibt sich die Anzahl an Wohneinheiten die bilanziell über das Jahr versorgt werden können.

[10] (Tichelmann, 2015)

MFH	ohne	Warmwasser					
Personen	A	B	C	D	E	F	Mittelwert
1	800	1.100	1.300	1.500	1.900	2.500	1.500
2	1.300	1.700	2.000	2.300	2.600	3.200	2.200
3	1.800	2.200	2.600	3.000	3.500	4.000	3.000
4	2.000	2.500	3.000	3.400	4.000	4.600	3.400
5	2.400	3.000	3.500	4.200	5.000	6.000	4.100
MFH	mit	Warmwasser (elektrisch)					
Personen	A	B	C	D	E	F	Mittelwert
1	1.200	1.500	1.900	2.100	2.600	3.400	2.000
2	2.000	2.500	3.000	3.200	3.600	4.400	3.200
3	2.700	3.400	3.900	4.300	5.000	6.000	4.200
4	3.100	4.000	4.500	5.000	5.800	7.100	5.000
5	3.300	4.500	5.500	6.000	7.000	9.000	6.000

Tabelle 2: Strombedarf Haushalte nach Stromspiegel Deutschland; [Quelle: Broschüre „Stromspiegel für Deutschland 2016“]

Mehrfamilienhäuser der betrachtete Baualtersklasse weisen überwiegend Gebäude mit geringer Höhe und einer entsprechend geringen Anzahl an Wohnungen auf (siehe Abbildung 14).

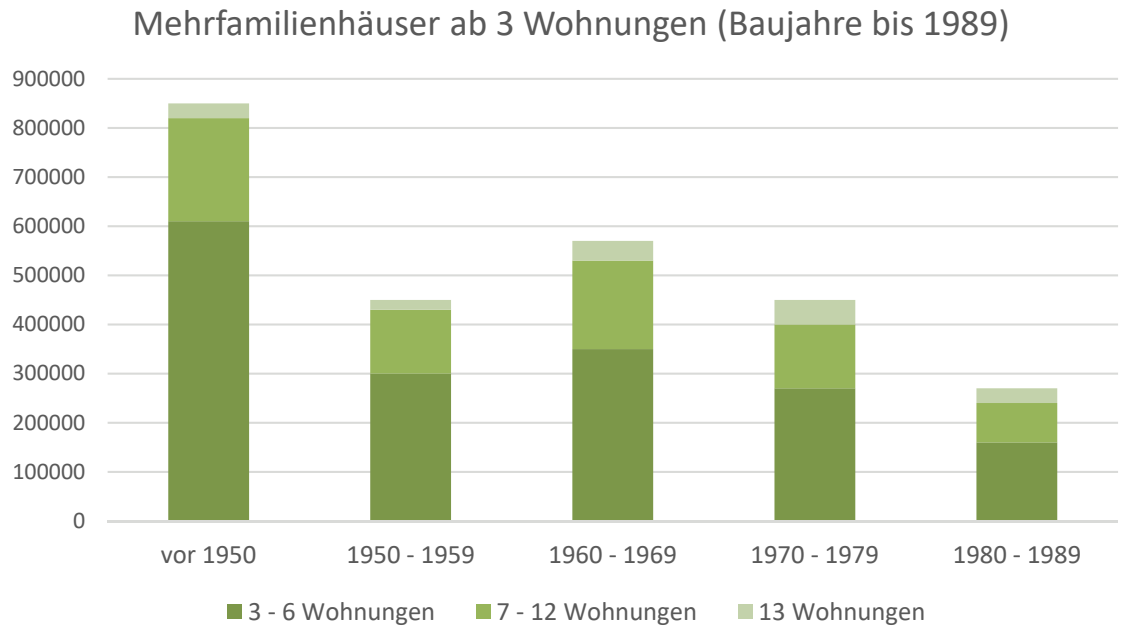


Abbildung 14: Mehrfamilienhäuser der Baujahre bis 1989, nach Anzahl der Wohnungen ab 3 Wohneinheiten; [HHS][11]

[11] (Zensus, 2011)

3.3 Grundsätze der energetisch-architektonischen Modernisierung

Mit der energetischen Sanierung geht bei sensiblem Umgang mit der gebauten Umwelt eine Verbesserung der architektonischen Qualität einher. Herausforderungen sind insbesondere eine gute Integration von Photovoltaik in die Gebäudehülle, die Abwägung nötiger Dämmstärken in Bezug auf Wirtschaftlichkeit und Ökologie, sowie ggf. Einschränkung der Tageslichtnutzung. Die Erhöhung des „inneren“ Schallschutzes, der Bauakustik von Wohnung zu Wohnung (Synergie bei Auszug) kann in diesem Zuge die Wohnqualität erhöhen.

Die Frage einer gelungenen Integration von aktiven Energiegewinnungssystemen in die Architektur stellt sich in diesem Zusammenhang zwangsläufig. Die fehlende landschaftliche Einbettung mancher Windparks und landwirtschaftlich genutzter Räume mit nachlässig solar gedeckten Scheunen, wie auch die Überformung von Schulgebäuden und Industriebauten mit geneigten Scharen von Photovoltaik-Elementen schaden der Akzeptanz der erneuerbaren Energien. Dies gilt im Übrigen auch für viele frühe Bemühungen einer architektonischen Integration. Es braucht Zeit und viel Feinarbeit für überzeugende und nachahmenswerte Lösungen. Gründliche Detailarbeit ist notwendig, um neue Bauteile und Systeme in die Architektur zu integrieren und veränderte Anforderungen und neue Technologien in einer guten Form zu verdichten.

Die Energiewende gelingt, wenn deren bauliche Umsetzung gut gestaltet ist, wenn Produktdesign und Architektur der Nachhaltigkeit faszinieren.

3.3.1 Grundrisse und Fassade

Eine Totalsanierung ermöglicht, die bestehenden Grundrisse aufzubrechen und neue Strukturen zu schaffen, um den seit der Bauzeit veränderten Bedürfnissen der Mieter, mit zum Beispiel anderen familiären Strukturen, Lebensgewohnheiten und Ansprüchen zu genügen. Im Bereich der Fassaden sind durch sensiblem Umgang mit der Substanz und ihrer Einbindung in das jeweilige Quartier architektonische Akzente gesetzt.

Zudem gibt es die Chance auf Nachverdichtung die genutzt wird, um im Einklang von Ökologie und Ökonomie Wohnraum zu schaffen.

3.3.2 Natürliche Belichtung

Der optimale Einsatz von Tageslicht ist ein Kernthema des Gebäudeentwurfs. Gebäude- und Raumtiefen, Raumhöhen, Positionierung, Größe und Zuschnitt der Gebäudeöffnungen nehmen entscheidenden Einfluss auf die Tageslichtqualitäten. Der Tageslichteintrag über Fensterflächen trägt gezielt zum Wohlbefinden der Nutzer bei. Sichtverbindungen in den Außenraum sowie Sichtachsen im Innern des Gebäudes schaffen zusätzliche Qualitäten.

Durch den Austausch von Fenstern und die Applikation von Wärmedämmung an der Fassade, verringert sich bei gleichbleibender Fenstergröße die Tageslichtversorgung. Dies liegt bedingt an den mit geringeren U-Werten größer werdenden Fensterprofilen mit entsprechend kleinerem Glasanteil. Zudem verschlechtert sich die Tageslichtausbeute durch die durch die Wärmedämmung dicker werdende Fassade. Die Fenster sind in der Dämmebene platziert und das Rahmenprofil vor dem Mauerwerk befestigt. Eine Überlappung von Mauerwerk und Fenster wirkt gezielt der Verringerung des Glasanteils entgegen. Lösung sind im Besonderen abhängig von der Dämmstoffstärke und der Position eines möglichen Sonnenschutzes. In Bezug auf die Reduzierung von Wärmebrücken ergeben sich neben der verbesserten Tageslichtnutzung deutliche Vorteile für die Tageslichtversorgung. Bei einem reinen Austausch der typischen Fenstergrößen ist mit einer Verringerung des Fensterflächenanteils von bis zu 20 % auszugehen. Entsprechend ist eine Vergrößerung der baualtersbedingten kleinen Fensterformate anzuraten.

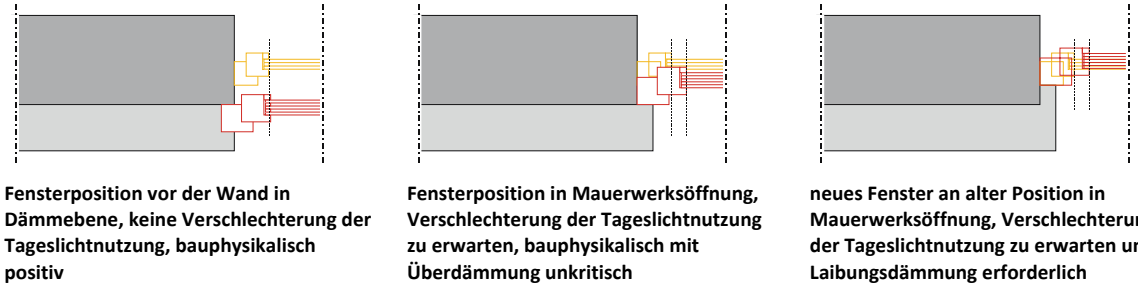


Abbildung 15: Abhängigkeit Tageslichtnutzung, Profildicke Fensterrahmen und Wärmedämmung; [HHS]

Bezogen auf den winterlichen Wärmeschutz ist auf das richtige Maß der Gebäudeöffnungen zu achten, da diese in der Regel einen schlechteren U-Wert als die umgebenden Wand- bzw. Dachflächen aufweisen und diesen somit schwächen. Energetische Aspekte der Gebäudehülle sind eng mit der Nutzung von Tageslicht verbunden. Das richtige Maß führt Tageslichtnutzung, Wärmeeintrag, Wärmeverlust und vor allem den Nutzerkomfort zusammen.

3.3.3 Nachverdichtung und Aufstockung

Nötige Totalsanierungen bieten neben der Chance einer energetischen Ertüchtigung der Gebäudehülle und Gebäudetechnik auch Optionen, die vorhandene Wohnfläche (WF) des Gebäudes zu erhöhen. Untersuchungen der Realisierbarkeit von Anbauten, Aufstockungen und Verdichtungen in angespannten Wohnungsmärkten schaffen neue Angebote zur Entlastung. Aber auch in gesättigten Märkten schafft eine Verdichtung neue qualitätsvolle Angebote mit zeitgemäßen Grundrissen, die die Attraktivität des Bestands deutlich heben. Vergleichsberechnungen zur Nutzung von Solarthermie und Photovoltaik zeigen für den Gebäudebestand, dass eine solare Deckung von Wärmebedarf und Haushaltsstrom bei einer Ost-West Orientierung für Gebäude mit bis zu 3,5 bzw. 4 Geschossen möglich ist. Für ein südorientiertes Gebäude mit Satteldach ist eine ausgeglichene Jahresbilanz bei bis zu 3 Geschossen erreichbar. Die für den regenerativen Ausgleich notwendigen Dachflächen sind abhängig vom Versorgungskonzept. Varianten mit Anteilen fossiler Brennstoffe erreichen eine ausgeglichene Bilanz i. d. R. nicht.

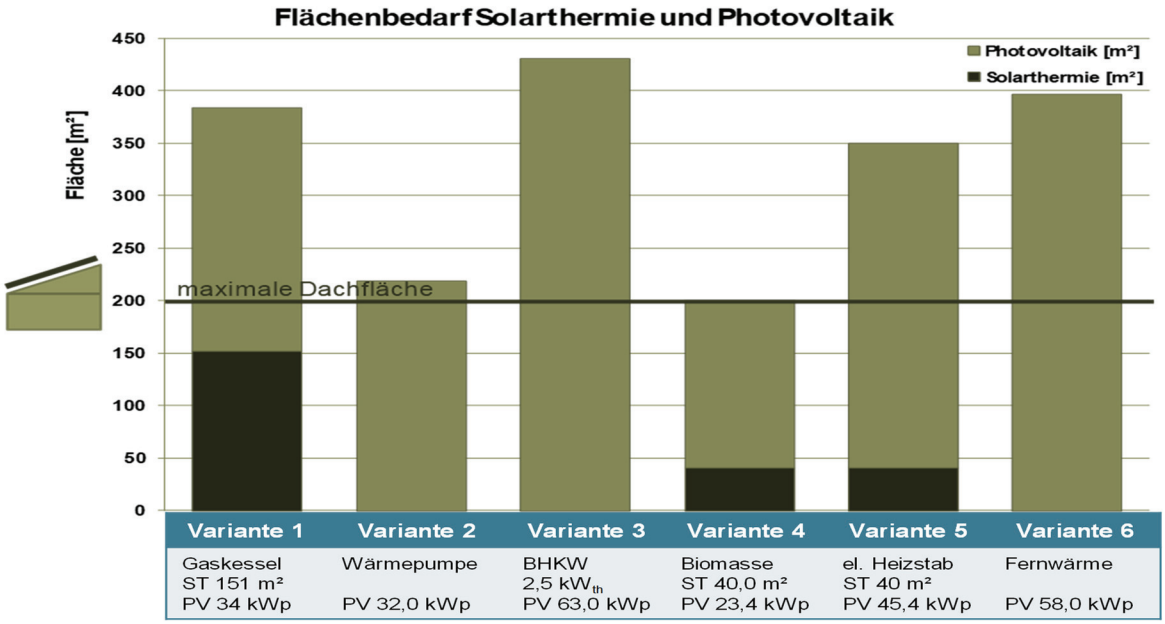


Abbildung 16: Flächenbedarf für ein Mehrfamilienhaus bei 100 % erneuerbarer Deckung in der Jahresbilanz im Vergleich zur zu Verfügung stehenden Dachfläche; [IGS]

Anbauten lassen sich aufgrund der geringen Dichte meist sehr einfach realisieren. Dies bietet die Chance, Bestandsgrundrisse aufzubrechen und neue, zeitgemäße Zuschnitte zu realisieren. Die Genehmigungsfähigkeit einer Aufstockung hängt hingegen von technischen, konstruktiven und baurechtlichen Rahmenbedingungen ab. Bei den Baualtersklassen, die derzeit für eine Vollsanierung in Frage kommen, bieten die Bauten der 50er und 60er Jahre, u. a. aufgrund nicht ausgebauter Dachgeschosse sowie vorhandener Lastreserven, mit die günstigsten Voraussetzungen zur Verdichtung und Aufstockung. Bei einer in dieser Baualtersklasse typischerweise vorzufindenden Geschossigkeit von 3 bis 5 Geschossen ergibt sich ein Potential der Aufstockung in der Bandbreite von 1 bis 3 Geschossen, je nach vorhandenen Lastreserven und ggf. abgeschlossenen Baugrundverdichtungen. Wirtschaftlich fraglich ist eine Aufstockung, bei der es notwendig ist, die Tragfähigkeit des Bestands, zu ertüchtigen. Eine leichte Bauweise ist vorteilhaft, um die Lastreserven nicht zu überschreiten.

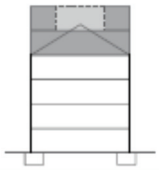
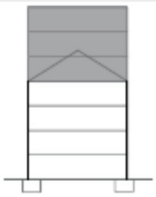
				
Aufstockung	**Staffelgeschoss**	**1-geschossige Aufstockung**	**2-geschossige Aufstockung**	**3-geschossige Aufstockung**
Potential für Aufstockung	60 bis 90 % des Bestandes geeignet	85 bis 90 % des Bestandes geeignet	35 bis 45 % des Bestandes geeignet	2 bis 5 % des Bestandes geeignet
Realisierbarkeit	Lasteinleitung teilweise durch Vor- und Rücksprünge problematisch. Ggf. wird eine Lastverteilebene z. B. als zusätzliche Trägerrostdecke nötig	Gut realisierbar, teilweise aufwendige Lasteinleitung bei komplexen Tragstrukturen	Teilweise keine Lastreserven bei Tragkonstruktion und Gründung vorhanden	Häufig keine Lastreserven bei MFH mit weniger als fünf Geschossen. Überwiegend geringe Lastreserven bei Tragkonstruktion und Gründung

Tabelle 3: Konstruktive Einschränkungen der Realisierbarkeit von Aufstockungen; [HHS][12]

[12] (Tichelmann, 2015)

Die vorhandenen Dachgeschosse der Gebäude der 50er bis 60er Jahre sind lediglich zu 20 % bis 25 % ausgebaut. Bei einem Satteldachanteil von 85 % bis 90 % ist auch durch den reinen Ausbau der vorhandenen Dachgeschosse ein großes Potential zur Nachverdichtung gegeben.13

Baujahr	**1950 - 1969**	**1970 - 1989**
Anteil Gebäude mit Satteldach	85 – 90 %	70 – 75 %
Hiervon bereits ausgebaute Dachgeschosse	20 – 25 %	35 – 40 %
Wohnfläche im bereits ausgebauten DG, anteilig an der Dachfläche	60 – 67 %	

Tabelle 4: Potential Dachgeschossausbau; [HHS][14]

3.4 Hemmnisse

Sanierungen in Bestandssituationen sind gegenüber Neubauten aufwändiger bei Planung und Umsetzung. Unvorhersehbarkeiten sind typisch und führen zu Verzögerungen im Bauablauf und bedingen oftmals Kostenerhöhungen.

Die Planung beginnt mit der Überprüfung der rechtlichen Rahmenbedingungen für die Umsetzung. Dies betrifft je nach Objekt und Standort u. a. Ensembleschutz, Denkmalschutz, Brandschutz, Bauplanungsrecht (§ 34 BauGB), Bebauungspläne, Stellplatznachweis und weitere. Bei einer reinen Aufstockung betrachtet man einen Großteil des Bestandsgebäudes mit, was den Planungsaufwand im Verhältnis zum Bauvolumen entsprechend erhöht. Bei einer ausschließlich energetischen Ertüchtigung ist aufgrund des Bestandsschutzes in der Regel ein geringerer Umfang an Nachweisen für die Umsetzung notwendig. Im Zuge einer sowieso nötigen Vollsanierung sind weitere Maßnahmen, wie zum Beispiel eine Aufstockung, wirtschaftlich sinnvoll.

Ausweitungen des Gebäudevolumens oder Überformungen verursachen höhere Anforderungen an den Brandschutz, da je nach Standort und Landesbauordnung mit der Änderung der baulichen Anlage der Brandschutz keine Gültigkeit mehr hat und den jeweils aktuellen Brandschutzanforderungen anzupassen ist. Gefordert sind überwiegend ein zweiter Rettungsweg, bei einer Brüstungshöhe > 8 m Feuerwehraufstellflächen oder ein zweiter baulicher Rettungsweg, Türschließanlagen an Treppenhaustüren und weitere Maßnahmen.

Für zusätzlich geschaffene Wohnungen ist die Stellplatzbaupflicht, die in den Landesbauordnungen und/oder in den Kommunen geregelt ist, einzuhalten. Diese beinhaltet das Errichten von PKW-Stellplätzen und Abstellmöglichkeiten für Fahrräder auf dem Grundstück. Falls dies nicht möglich oder gewünscht ist, gibt es Regelungen zur finanziellen Ablösung von KFZ-Stellplätzen. Je nach Standort und baulicher Maßnahme erlischt möglicherweise der Bestandsschutz und für die Bestandswohnungen ist ebenfalls ein Stellplatznachweis zu führen.

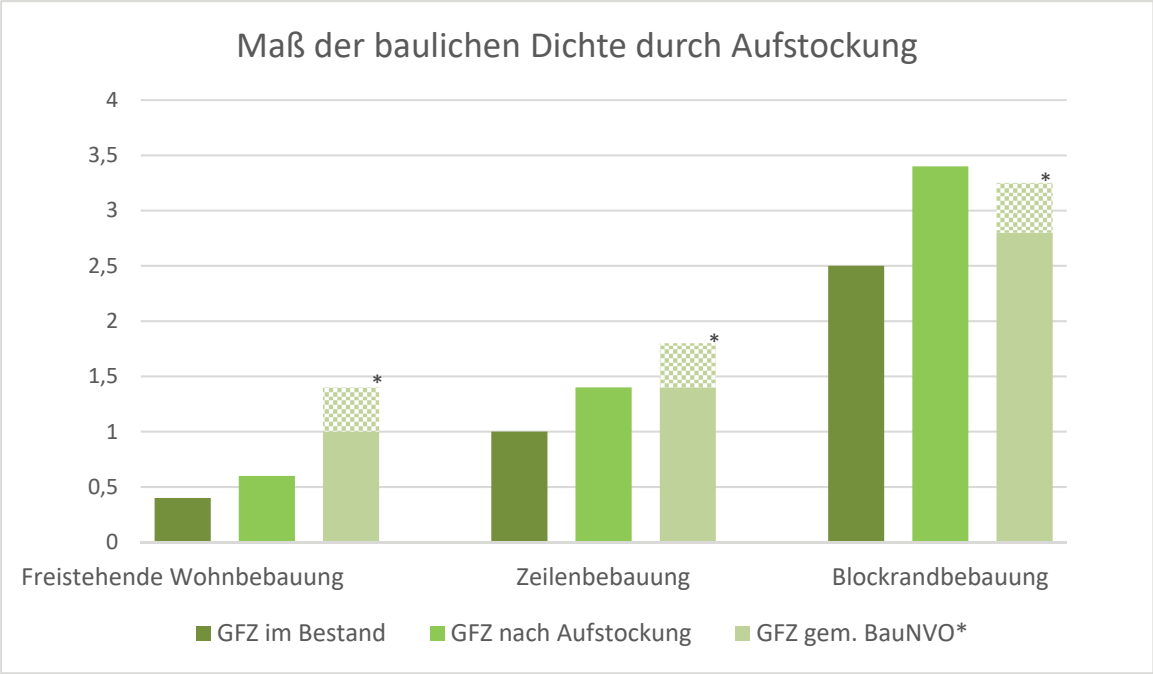
[13] (Tichelmann, 2015)

[14] (Tichelmann, 2015)

Erweiterungen und Aufstockungen bestehender Gebäude der 50er Jahre haben bezogen auf die Einhaltung von Geschossflächenzahl (GFZ) einen wesentlichen Vorteil gegenüber Gebäuden der 60er Jahre. Die Bauten der 50er Jahren sind vornehmlich freistehend oder als Zeile gebaut. Sie haben einen großen Abstand zueinander. Das Potential einer Anhebung der GFZ ist entsprechend gegeben. Bei Gebäuden späterer Baualtersklassen sind freistehende Gebäude weniger vorhanden und durch Zeilen- und Blockrandbebauungen ersetzt. Diese Quartiere sind seit ihrer Gründungszeit sehr effizient genutzt und für eine Nachverdichtung weniger geeignet.

Die erlaubte bauliche Dichte ist der maßgebliche Einfluss für das zulässige Verdichtungspotential. Bebauungspläne für Bestandsquartiere der betrachteten Baualtersklassen liegen überwiegend nicht vor. Die Zulässigkeit von Art und Maß der baulichen Nutzung orientiert sich entsprechend § 34 BauGB an der Eigenart der vorhandenen Bebauung. Eine Orientierung an den Gebäuden in der Umgebung erfolgt entsprechend. Bei Anwendung von § 34 BauGB ist die Obergrenze für das Maß der baulichen Nutzung durch die Baunutzungsverordnung vorgegeben. Eine bauplanungsrechtliche Beurteilung kann eine Überschreitung dieser Werte ermöglichen.

Vollgeschosse sind bei der Ermittlung der Geschossflächenzahl anzurechnen. Staffelgeschosse sind hingegen bei der anrechenbaren Geschossfläche meist nicht berücksichtigt.



*** Bandbreite der lokal möglichen Abweichungen**

Abbildung 17: Vergleich von typischen Geschossflächenzahlen; [HHS]

Mittels eines Bebauungsplans wird die maximale Trauf- und Firsthöhe geregelt. Bei städtebaulicher Verträglichkeit kann diese mittels einer Befreiung überschritten werden.

Einzuhaltende Abstandsflächen sind in der jeweiligen Landesbauordnung geregelt. Mit Zustimmung benachbarter Grundstückseigentümer können diese Abstandsflächen auch auf deren Grundstücke nachgewiesen werden.

3.5 Energiekonzept

Die 50er Jahren waren in Deutschland vom Wiederaufbau geprägt. Für rund 2 Mio. zerstörte Gebäude musste Ersatz geschaffen werden. Wirtschaftliche Zwänge führten zur Umsetzung kleiner Wohnflächen, zu Tragwerken mit minimalen Lastreserven, bauphysikalischen Schwachstellen und vor Einführung der 1. Wärmeschutzverordnung (WSVO) zu sehr geringer Dämmqualität. Bei einer Vielzahl dieser Gebäude stellt sich nach 50 – 60 Jahren der Nutzung die Frage nach grundlegender Sanierung oder Rückbau.

Zielsetzung muss es sein, diese Gebäude auf einen zukunftsfähigen (klimaneutralen) Standard zu heben, CO_2-Emissionen zu vermeiden und schlussendlich die Betriebskosten für die Bewohner kalkulierbar und bezahlbar zu halten. Nur dies wird es allen Gesellschaftsschichten ermöglichen, in Gebäuden zu leben, die im Zuge der Umsetzung des Energiekonzepts der Bundesregierung in den kommenden Jahrzehnten saniert werden.

Klimaneutrale Gebäude mit einer ausgeglichenen Jahresbilanz lassen sich auch im Bestand erreichen. Allerdings sind die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz und die Effizienz der Anlagentechnik hoch. Mit den durch die KfW bekannten und geförderten Sanierungsniveaus (KfW Effizienzhaus 55 und 70) sind die Ziele umgesetzt, wenn die Gebäude nicht mehr als 3 – 4 Geschosse haben und eine ausreichende Integration von erneuerbaren Energien möglich ist. Um einen relevanten Anteil an Eigenstromerzeugung durch Photovoltaik zu erzielen sollte die Dachfläche im Verhältnis der darunter liegenden Wohnfläche ausreichend groß sein, dies ist bei Gebäuden bis 4 Geschossen gegeben. Das zeigt aber auch, dass für Gebäude mit durchschnittlichem oder eingeschränktem Sanierungspotential die gelieferte Infrastruktur von Strom und Gas „grüner“ sein muss, um das Klimaschutzziel der Bundesregierung zu erreichen.

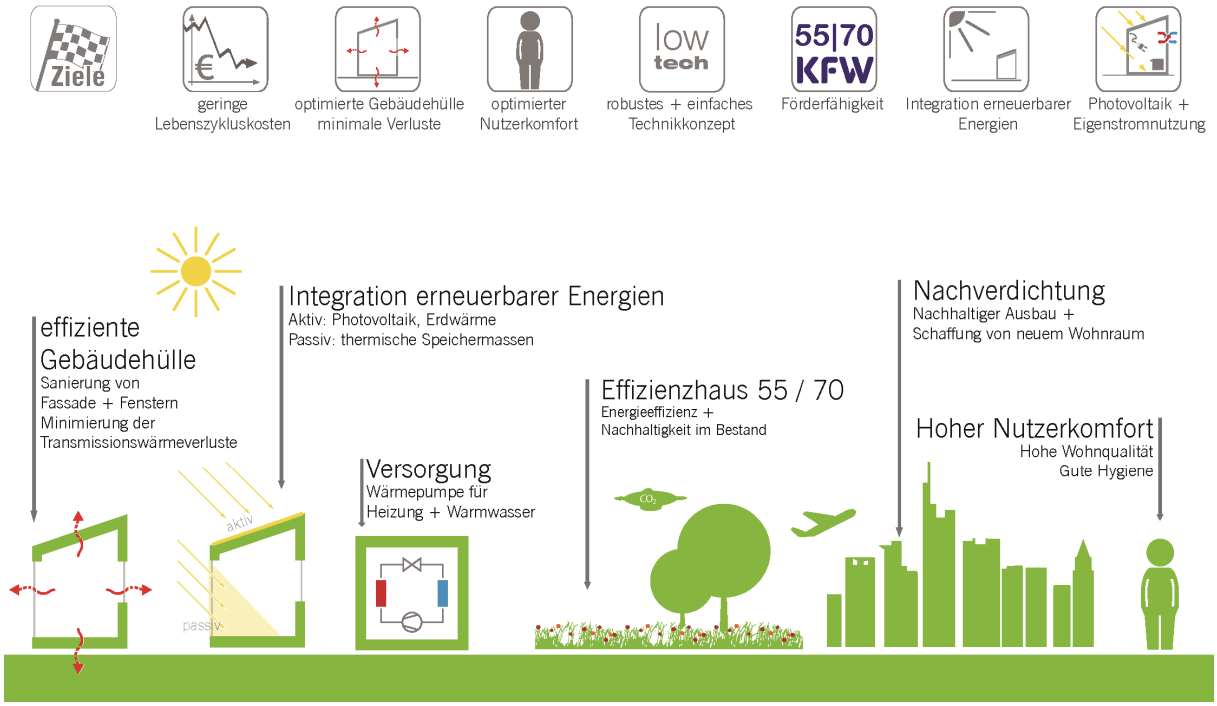


Abbildung 18: Energieeffizienter Gebäudebestand; [IGS]

3.5.1 Vergleich der regenerativen solaren Energieversorgung

Solarthermie und Photovoltaik haben sich als erneuerbarer Energiesysteme etabliert. Die Wirtschaftlichkeit und die CO_2-Einsparung der beiden Marktführer werden wiederkehrend bei der dezentralen Energieversorgung in Frage gestellt bzw. beurteilt. Im Rahmen einer Systemanalyse zur solaren Energieversorgung hat das Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS) die Varianten betrachtet und bewertet. Systemsimulationen zeigen das ökonomische Potential von solaren Energieversorgungsvarianten für Ein- und Mehrfamilienhäuser. Untersucht wurden Varianten zum „Neubau“ und „Bestandssanierung“, bei einem regenerativ erzeugten Energieanteil von 50 bzw. 100 % des Gesamtenergiebedarfs in der Jahresbilanz. Den Effizienzhaus Plus Kriterien des BMUB zufolge bezieht sich der geforderte Deckungsgrad (50 bzw. 100 %) auf den Primär- und Endenergiebedarf. Die 100 %-Variante entspricht dem „Nearly-zero energy building“, dass die EU-Gebäuderichtlinie (EPBD, European Performance of Buildings Directive 2010/31/EU) für 2020 in Europa vorsieht. Mit dem steigenden Anteil von Nutzer- und Haushaltsstrom ist die Ausstattung von Gebäuden mit Photovoltaik bei den Versorgungsvarianten konsequent.

Gebäudetypologie

Die gewählten Gebäudemodelle bilden typologische Bauten und Größen ab, sodass die bauphysikalische Beschaffenheit für den Neubau wie für den Bestand definiert sind. Im Vergleich können die Gebäude im Frankfurter Riederwald wie Neubauten betrachtet werden, da die Sanierungsstandards die Anforderungen der EnEV mit dem Niveau KfW Effizienzhaus 55 bzw. 70 unterschreiten.

Neubau		Bestandssanierung	
613 m² Wohnfläche 631 m² NGF 8 Wohneinheiten 17 Personen		416 m² Wohnfläche 429 m² NGF 6 Wohneinheiten 12 Personen	

Abbildung 19: Gebäudetypologie Mehrfamilienhaus, Bestand und Neubau; [IGS]

Systemvarianten

Aus den verfügbaren, auf ihre Eignung geprüften Technikkomponenten wurden sechs Versorgungsvarianten zusammengestellt, dimensioniert und anschließend einer vergleichenden Analyse unterzogen. Berücksichtigung fanden ausschließlich marktnahe Systeme, keine experimentellen Lösungen und Prototypen:

Variante 1: Gasbrennwertkessel, Solarthermie (ST) und Photovoltaik (PV)

Variante 2: Wärmepumpe (WP) und PV

Variante 3: Erdgas-BHKW und PV

Variante 4: Holzpelletkessel, ST und PV

Variante 5: Elektrischer Heizstab, ST und PV

Variante 6: Fernwärme und PV

Der Fokus der hier zusammengefassten Ergebnisse liegt auf den Varianten 1 (Gaskessel, ST, PV) und 2 (WP, PV), auch weil es sich dabei um zwei etablierte Systeme der Branche handelt.

Neubau	50 % erneuerbar				100 % erneuerbar			
	EFH		MFH		EFH		MFH	
Systemvariante	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2
Kollektorfläche [m²]	12	-	40	-	40	-	151	-
Wassersp.-Vol. [m³]	0,850	-	3,3	-	10	-	37,5	-
Leistung WP [kW_{th}]	-	6	-	23	-	6	-	23
Erdsonden [m]	-	110	-	430	-	110	-	400
PV Leistung [kW_p]	3,2	3	18,3	16	6	6	34	32

Tabelle 5: Gegenüberstellung der Anlagenparameter im Neubau; [IGS]

Für einen solaren Deckungsanteil von 50 bzw. 100 % werden bei Systemvariante 1 (V1) die thermische Kollektorfläche, das Wasserspeichervolumen und die Peak-Leistung der PV-Anlage zunächst überschlägig ausgelegt und mittels Simulation iterativ dimensioniert. Für das Ziel einer 100 %-Deckung im Mehrfamilienhaus werden eine 151 m^2 große Kollektorfläche und ein 37,5 m^3 Wasserspeicher („Sonnenhaus-Konzept“) sowie eine PV-Anlage (34 kWp) kombiniert (Abbildung 20).

Systemvariante 2 (V2) setzt sich aus einer elektrischen Wärmepumpenanlage mit Erdwärmesonden und einer PV-Anlage (32 kWp) zusammen (Abbildung 21). Die Wärmeübergabe an den Raum erfolgt im Neubau durch eine Fußbodenheizung mit niedrigen Vorlauftemperaturen (35 °C bei -12 °C Außentemperatur).

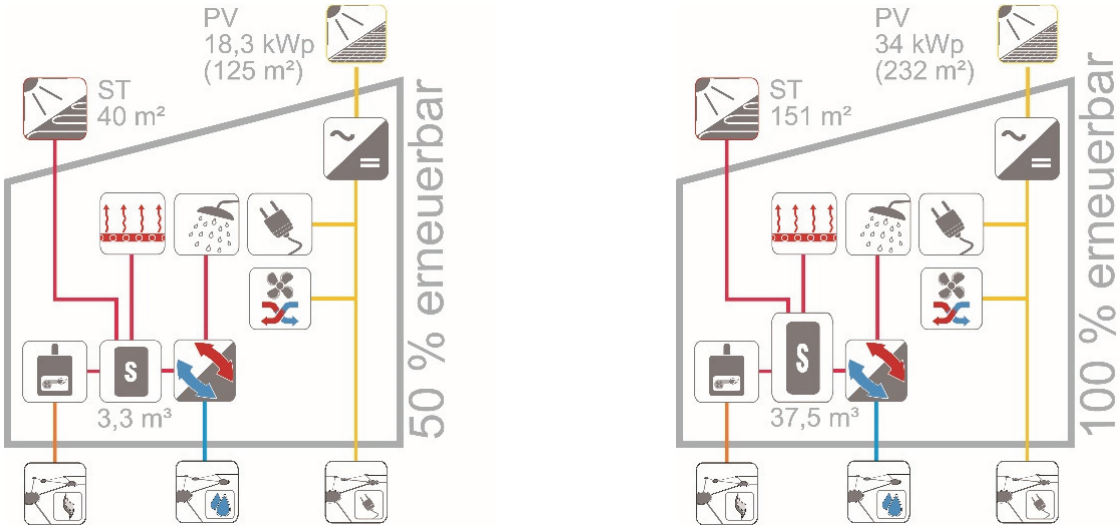


Abbildung 20: Vereinfachtes Versorgungsschema Variante 1 im Mehrfamilienhaus Neubau; [IGS]

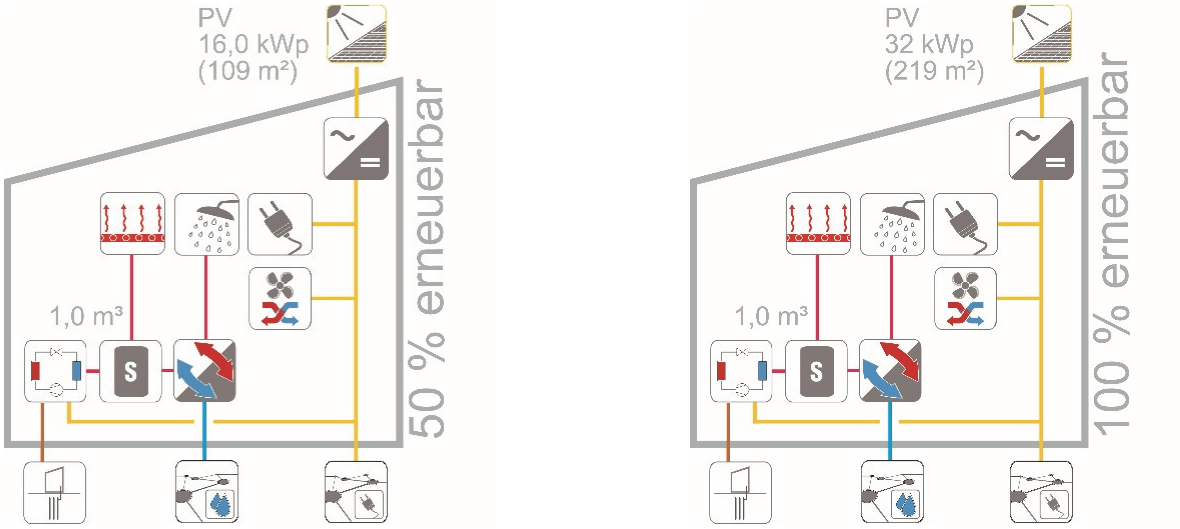


Abbildung 21: Vereinfachtes Versorgungsschema Variante 2 im Mehrfamilienhaus Neubau; [IGS]

Endenergiebilanz

Bei Variante 1 stellt die thermische Solaranlage 27 % (im Szenario 50 % EE) bzw. 68 % (100 % EE) des Wärmebedarfs für Heizung und Trinkwasser bereit. Den verbleibenden Wärmebedarf gleicht der Gaskessel aus. Der Anteil des selbst genutzten Stroms der PV-Anlage beträgt 36 % (50 % EE) bzw. 23 % (100 % EE). 59 bis 73 % des Solarstroms müssen in das öffentliche Versorgungsnetz eingespeist werden.

Bei dem in Systemvariante 2 simulierten „Nur-Strom-Konzept“ versorgt die elektrische Wärmepumpenanlage das Mehrfamilienhaus zu 100 % mit Wärme. Dadurch erhöhen sich der Gesamtstrombedarf und folglich auch der Eigennutzungsanteil des Solarstroms, er liegt bei 49 % (50 % EE) bzw. 31 % (100 % EE). Zwischen 50 und 65 % gehen ins Versorgungsnetz.

Eine regenerative Versorgung von 100 % in der Jahresbilanz bedeutet noch keine Volldeckung, wie die monatliche Bilanzierung beweist. Beide Varianten speisen im Sommer ca. 80 % des Solarstroms in das öffentliche Netz ein und vor allem beim System WP + PV steigt der Netzstromverbrauch im Winter deutlich an. Größere Ausbauszenarien dieser Variante setzen also weitere Innovationsmaßnahmen voraus: den Ausbau von dezentralen Strom- und Wärmespeichern („Power-to-Heat“), ein intelligentes Strom-Lastmanagement, um den Eigenstromnutzungsanteil zu erhöhen, und die Transformation des öffentlichen Stromnetzes zum „Smart Grid“. In Zeile West wird daher eine Batterie als lokaler Speicher vorgesehen, um die Eigennutzung zu erhöhen.

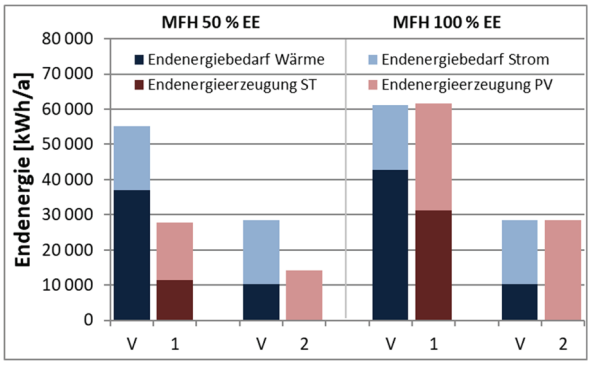


Abbildung 22: Jahresbilanz Endenergie beim Mehrfamilienhaus Neubau (50 und 100 %); [IGS]

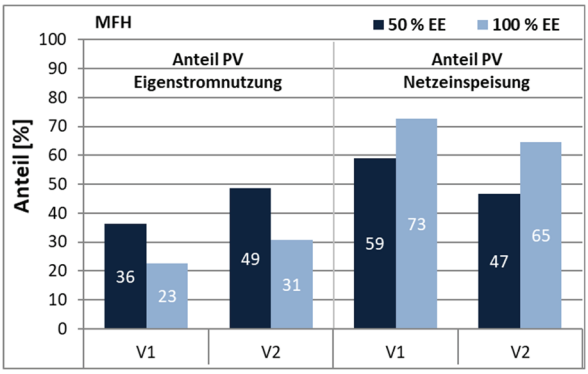


Abbildung 23: Anteile von Eigenstromnutzung und Netzeinspeisung der PV-Anlagen beim Mehrfamilienhaus (50 und 100 %); [IGS]

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Für eine ökonomische Beurteilung der beiden Systemvarianten wurden spezifische Systemkosten ermittelt. Im Vergleich liegen die Investitionskosten der beiden Varianten bei einer 50 % Versorgung aus erneuerbarer Energie auf einem ähnlichen Niveau. Das trifft auch auf die Jahresgesamtkosten zu, die sich hier zwischen 19,4 und 20,7 €/(m² NRF·a) bewegen. Allerdings ist im Szenario 100 % EE bei der Variante 1 eine deutliche Kostensteigerung (um ca. 9,8 €/(m² NRF·a)) zu verzeichnen, da hierfür ein Kollektorfeld von 151 m² und ein Speichervolumen von 37,5 m³ benötigt werden. Bei der Variante 2 bleiben die Jahresgesamtkosten dagegen fast identisch. Die beträchtlich sinkenden Energiekosten, nicht zuletzt durch die höheren Erlöse aus der Stromeinspeisung, können hier die ebenfalls gestiegenen Investitionskosten kompensieren. Die Kostenvorteile dieser Variante würden sogar noch deutlicher ausfallen, wenn man anstatt der Wärmepumpenanlage mit Erdsonden preiswertere Luft/Wasser-Modelle wählt.

Sollten die Strompreise auch weiterhin steigen und die PV-Systemkosten sinken, wie dies in den letzten Jahren der Fall war (die Bruttokosten bei größeren PV-Anlagen für Mehrfamilienhäuser lagen bei unter 1.500 €/kWp), besitzt die „100 % EE“-Ausführung größere wirtschaftliche Attraktivität.

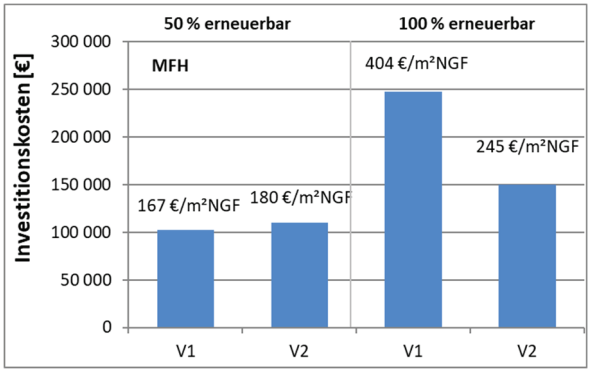


Abbildung 24: Investitionskosten beim Mehrfamilienhaus (Neubau); [IGS]

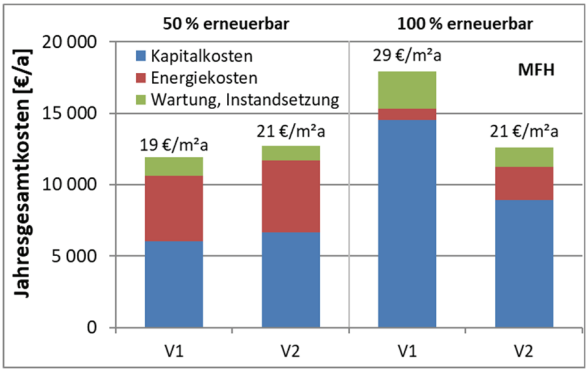


Abbildung 25: Jahresgesamtkosten beim Mehrfamilienhaus (Neubau); [IGS]

Beide Systemvarianten sind geeignete Konzepte, um die ambitionierten Klimaschutzziele der Bundesregierung zu erreichen. Da bei einem regenerativen Deckungsanteil von 50 bzw. 100 % des jährlichen Wärme- und Strombedarfs die Integration einer PV-Anlage erforderlich ist, wird die Größe der Dachflächen zu einem limitierenden Faktor. Im Neubau zeigt sich, dass die Dachflächen beim 50 %-EE-Szenario ausreichend Platz bieten für die Montage der benötigten ST-Kollektoren und PV-Module. Bei der Bestandssanierung (Satteldach) lässt sich nur Variante 2 (WP + PV) realisieren. Bei Variante 1 (ST + Gaskessel + PV) müsste die bestehende Dachform geändert bzw. alternative Flächen (wie z. B. die Fassade) aktivieren werden. Eine 100-prozentige Versorgung aus erneuerbarer Energie ist beim Neubau ebenfalls nur mit Variante 2 möglich.

Das Ziel einer 50-prozentigen regenerativen Energieversorgung erreichen beide Systemvarianten unter etwa gleichen ökonomischen Bedingungen. Mit jährlichen Gesamtkosten von ca. 20 €/(m² NRF·a) gehören sie zu den wirtschaftlichsten Lösungen. Bei einer 100 %-Deckung des Energiebedarfs aus erneuerbarer Energie zeigt die Variante WP + PV deutliche monetäre Vorteile. Durch die Einspeisevergütung sinken die Jahresgesamtkosten geringfügig trotz der gestiegenen Investitionskosten. Dagegen verursacht Variante 1 (ST + Gaskessel + PV) bei dieser Zielsetzung einen deutlich höheren Kostenaufwand. Die Investitionskosten steigen fast um das Anderthalbfache und die Jahresgesamtkosten immer noch um die Hälfte, weil die Kollektorflächen und das Pufferspeichervolumen sich unverhältnismäßig stark vergrößern.

Der Vergleich zeigt, dass eine Orientierung zu einer strombasierten Lösung zielführend ist. Abweichend davon sieht es lediglich bei Varianten mit der Möglichkeit zur Fernwärmeanbindung aus. Sollte eine primärenergetisch günstige Versorgung möglich sein, ist der Anschluss i. d. R. eine preisgünstige Alternative zu den dezentralen Konzepten. PV als Lieferant regenerativer Energie sollte trotzdem im Rahmen der wirtschaftlichen Möglichkeiten umgesetzt werden, um die Anteile von Nutzer- und Haushaltsstrom solar decken zu können. Die Szenarien mit 50 % EE zeigen den wirtschaftlichen Rahmen. Viele Gebäude werden die vollständige Deckung durch erneuerbare Energien nicht erreichen, weil die Mittel zur Umsetzung fehlen oder die Gebäude das Potential nicht aufweisen. Auch ist der zeitliche Aspekt der fortwährenden Sanierung des Bestands relevant. Aktuell liegen die Sanierungsquoten deutlich hinter den Erfordernissen zurück. Umso wichtiger wird es die Infrastruktur in den öffentlichen Netzen „grüner“ zu machen. Die folgende Abbildung beschreibt den Weg bis 2050. Mehr als 1/3 des Stroms werden bereits heute regenerativ erzeugt. Dieser Anteil wird weiter steigen.

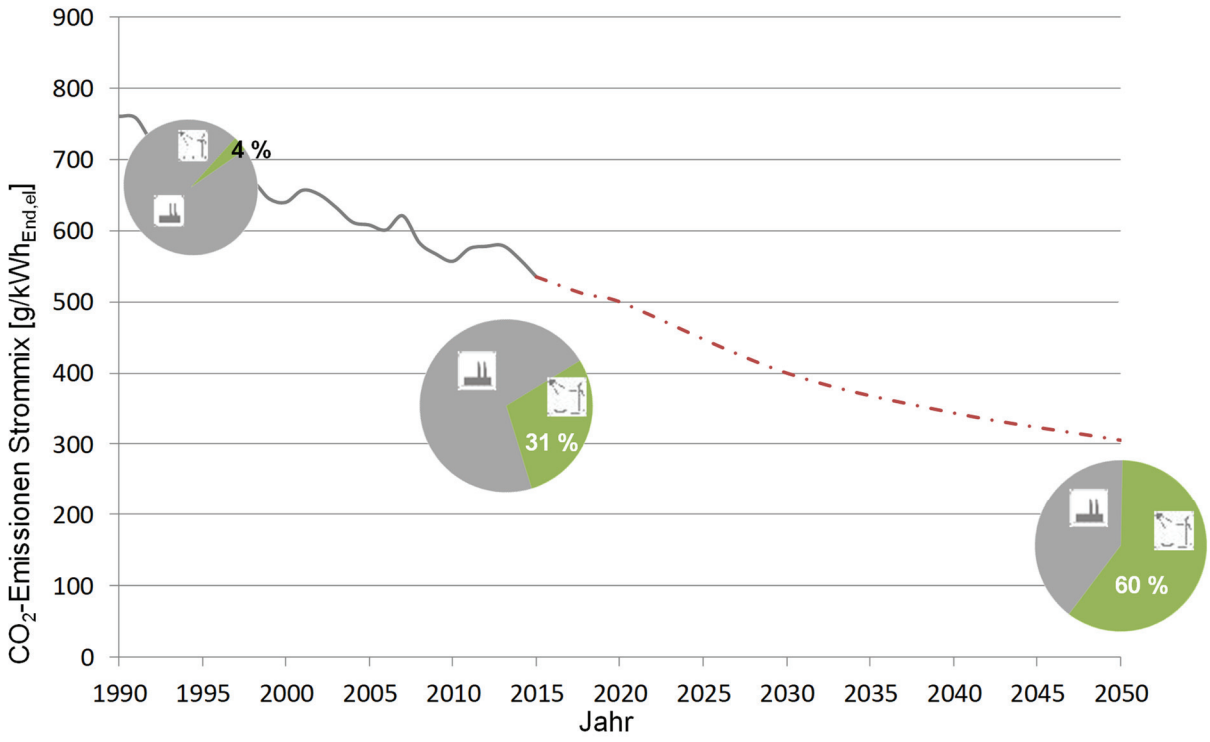


Abbildung 26: Senkung der CO_2-Emissionen durch Dekarbonisierung des Netzstroms; [IGS]

3.5.2 Energieversorgung - Konzeptfindung

Klimaneutralität für den Gebäudebestand bedeutet die Reduzierung des Verbrauchs für den Betrieb, bei Wohnnutzung für Heizung und Trinkwarmwasser, im wirtschaftlichen Rahmen und die Nutzung erneuerbarer Energien vor Ort. Mit der Photovoltaik können erhebliche Potentiale zur solaren Deckung erreicht werden, insbesondere dann, wenn die Bilanz den Haushaltsstrom mit integriert. Durch die Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes steigt der Anteil des Nutzerstroms auf einen Anteil von 40 – 60 % am Gesamtenergieverbrauch. Er fällt sogar noch höher aus, wenn die Elektromobilität einbezogen werden sollte. Strombasierte Konzepte zur Wärmeversorgung der Gebäude bieten sich daher an, um Emissionen vor Ort zu vermeiden und regenerative Deckungsanteile umzusetzen. Wärmepumpen sind als etablierte Komponenten daher gut geeignet Öl- und Gaskessel zu ersetzen. Als Wärmequelle kommen überwiegend Luft und Erdreich in Frage, wobei für die Nutzung der oberflächennahen Geothermie die geologischen Voraussetzungen erfüllt sein müssen. Die Genehmigungsbehörden unterscheiden zwischen günstigen, ungünstigen und unzulässigen Gebieten. Eine internetbasierte Recherche bringt hier schnell Aufschluss über eine mögliche Nutzung. Weitgehend flächendeckend werden die Daten durch die Landesbehörden online zur Verfügung gestellt. In fernwärmeversorgten Gebieten ist eine differenziertere Betrachtung der Primärenergie erforderlich. Aber auch für diese Standorte führt ein solarer Deckungsbeitrag durch PV-Strom zu einer signifikanten Reduzierung der CO_2-Emissionen, wenn eine Eigenstromnutzung umgesetzt wird.

Im Frankfurter Riederwald kommen Wärmepumpen zum Einsatz, die bei beiden Gebäudezeilen auf eine bivalente Quelle angewiesen sind. In der Ostzeile erfolgt die Heizwärmeversorgung zentral und der überwiegende Teil der Umweltwärme wird durch oberflächennahe Geothermie erschlossen. Spitzenlasten decken elektrische Heizstäbe mit einem Anteil von weniger als 5 %. Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt dezentral in den Wohnungen, wo Abluft als Wärmequelle genutzt wird.

Eine monovalente Lösung über Erdsonden ist insbesondere in Hessen bei Heizleistungen größer 30 kW thermisch nur schwer und mit unangemessenem Aufwand bzw. Auflagen erreichbar. Für die beschriebenen Projekte wurde die Entzugsleistung daher auf das Maß von sogenannten Kleinanlagen begrenzt. Erforderlich war eine Zusammenlegung von Grundstücken, um die notwendigen Grenzabstände für die Nutzung von bergfreien Bodenschätzen zu ermöglichen. Bei Kleinanlagen muss der Abstand zum Nachbarn mehr als 5m betragen. Erdsonden dürfen in Summe nicht mehr als 750 m Nutzlänge aufweisen und keinesfalls tiefer als 100 m gebohrt werden, da bei Bohrtiefen über 100 m bergrechtliche Belange tangiert werden und die Genehmigung nicht mehr im Rahmen eines vereinfachten Verfahrens erteilt werden kann. Bundeseinheitliche Regelungen gibt es in Bezug auf die Nutzung oberflächennaher Geothermie derzeit noch nicht, dies ist jedoch im Sinne einer hohen Akzeptanz und Investorenfreundlichkeit anzuraten.

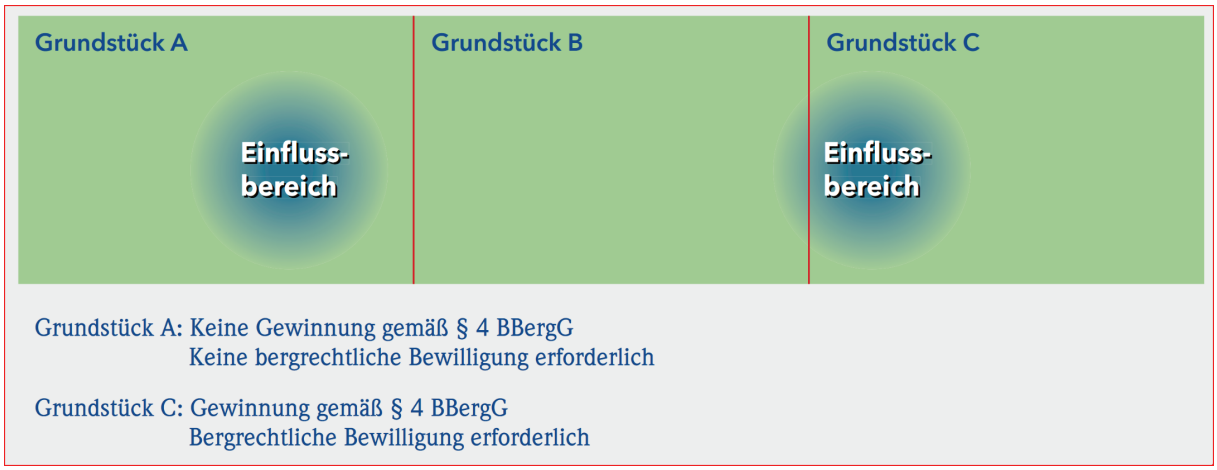


Abbildung 27: Einflussbereich von Erdsonden; [HLNUG, Hessen]

Für die Westzeile wurde aus den oben genannten Gründen eine bivalente Anlage aus Sole-Wasser und Luft-Wasser-Wärmepumpen realisiert. Auf der einen Seite spart dies Investitionen in die Bohrung von Erdsonden, auf der anderen Seite ist jahreszeitlich ein Wechsel der Quellen möglich. Liegen die Temperaturen bei 5° C und mehr übernehmen die Außenluftgeräte den überwiegenden Teil der Deckung des Bedarfs und das Erdreich kann regenerieren. Liegen die Temperaturen darunter liefert der Boden den erforderlichen Anteil der Umweltwärme. Anlagentechnisch sind die Konzepte einfach auf andere Standorte und Gebäude zu übertragen, da die Hersteller von Wärmepumpen häufig eine Kaskadierung der Anlagen anbieten. Die Kombination von Aggregaten mit unterschiedlicher Quelle ist dabei keine besondere Herausforderung. Im Rahmen der Inbetriebnahme sollten die Einstellparameter überprüft werden. Ein Monitoring ist bei Erdsondenanlagen zwischenzeitlich fast überall in Deutschland Pflicht, sodass die Performance der Anlagentechnik regelmäßig bewertet wird.

3.6 Ökobilanz

Zur Abschätzung der ökologischen Folgen der Modernisierung der beiden Gebäudezeilen wird eine Ökobilanz der Modernierungsmaßnahmen sowie des Gebäudebetriebs erstellt.

Eine Ökobilanz analysiert den Lebensweg eines Gebäudes. Die Ökobilanz bezieht sich dabei auf die potenziellen Umwelteinwirkungen (z. B. Nutzung von Ressourcen und Umweltauswirkungen von Emissionen) im Verlauf des Lebenswegs eines Gebäudes und seiner Bauteile von der Rohstoffgewinnung über Herstellung, Instandhaltung, Betrieb, Entsorgung und Recycling bis zur endgültigen Beseitigung (d. h. "von der Wiege bis zur Bahre").

Zunächst werden alle Stoffmengen für die Konstruktion des Gebäudes sowie deren Nutzungsdauer im Gebäude erfasst. Gleiches gilt für die Energiemengen, die beim Betrieb des Gebäudes verbraucht werden. Die in dieser sogenannten Sachbilanz ermittelten Stoff- und Energiemengen werden im nächsten Schritt mit Ökobilanzdaten für die Herstellung und Entsorgung der Baustoffe bzw. die Nutzung der Gebäudetechnik (z. B. Betrieb der Gebäudeheizung) verknüpft. Dafür werden die Daten aus der Ökobaudat-Datenbank des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung verwendet. Durch die Verknüpfung der Stoff- und Energiemengen des Gebäudes mit den Ökobilanzdaten lassen sich die Umweltwirkungen eines Gebäudes in verschiedenen Wirkungskategorien darstellen (Wirkungsbilanz).

Dies sind üblicherweise:

- Treibhauspotential – Beitrag zum Klimawandel(Erderwärmung)
- Ozonbildungspotential – Beitrag zur Sommersmogbildung
- Ozonabbaupotential – Beitrag zum Abbau der Ozonschicht
- Versauerungspotential – Beitrag zum sauren Regen/ Waldsterben
- Eutrophierungspotential – Beitrag zur Überdüngung
- Primärenergiebedarf nicht erneuerbar – Verbrauch nicht erneuerbarer Primärenergie (z. B. Erdgas, Erdöl und Braunkohle)
- Primärenergiebedarf erneuerbar – Verbrauch erneuerbarer Primärenergie (z. B. Sonne, Wind, Biomasse)

Für die Ost- und die Westzeile werden jeweils Ökobilanzen auf Basis der vorhandenen Ausschreibungsunterlagen (für die Massenermittlung der Baukonstruktion) und der energetischen Bilanzierung erstellt. Diese sind im Folgenden beschrieben. Zur Einordnung der Ergebnisse werden diese den Grenz- und Zielwerten des Qualitätssiegels Nachhaltiger Wohnungsbau (NaWoh) gegenübergestellt. Mit diesen Zielwerten wird ein nachhaltiger Gebäudestandard im Neubau beschrieben, der im Falle eines Abrisses der Gebäudezeilen an gleicher Stelle hätte errichtet werden können.

3.6.1 Einleitung

Die Herstellung, Nutzung und Entsorgung von Gebäuden sowie ihrer Komponenten verbraucht Ressourcen und Energie und verursacht Abfälle und Emissionen. Die Wirkungen auf die Umwelt können im Rahmen von Ökobilanzierungen dargestellt werden und neben ästhetischen, technisch-funktionalen und ökonomischen Aspekten bei Gebäudeentwurf und -konstruktion berücksichtigt werden.

Die normativen Grundlagen für Ökobilanzierungen sind in der Normenreihe DIN EN ISO 14040 und 14044 geregelt. Für die Ökobilanzierung von Gebäuden liefert die DIN EN 15978 weitere Spezifikationen. Weitere Rahmenbedingungen wurden von verschiedenen Bewertungssystemen zur Nachhaltigkeitszertifizierung von Gebäuden z. B. von der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) oder Qualitätssiegel Nachhaltiger Wohnungsbau festgelegt. Diese dienen vor allem dazu Gebäude unter gleichen Bedingungen zu bewerten und nicht dazu ein möglichst realistisches Szenario für den konkreten Lebensweg des Gebäudes abzubilden.

Gemäß DIN EN ISO 14 040 umfasst eine Ökobilanzierung vier Phasen: Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen, Sachbilanz, Wirkungsbilanz und Auswertung.

Für die Festlegung des Ziels der Untersuchung erfolgt zunächst die Definition der so genannten funktionellen Einheit. Die funktionelle Einheit, also das zu untersuchende Produkt und seine Funktion, ist eine Bezugsgröße für die Rechenschritte und Ergebnisse einer Ökobilanz. Sie ermöglicht den Vergleich von Ökobilanzen unterschiedlicher Produkte mit gleicher Funktion. Funktionelle Einheiten sind häufig handelsübliche Maßeinheiten des jeweiligen Produkts, z. B. m^3, kg, Stück etc. Für Gebäude wird in der Regel ein Quadratmeter nutzbare Fläche als funktionelle Einheit herangezogen.

Der Untersuchungsrahmen umfasst zum einen die Systemgrenze und zum anderen die Abschneidekriterien. Die Systemgrenze beschreibt, welche Prozesse zum Lebensweg eines Produkts gehören. Im Idealfall sind In- und Outputs über die Systemgrenze Elementarflüsse, d.h. chemisch nicht weiter trennbare Stoffe. Innerhalb des zu untersuchenden Produktsystems stellen die sogenannten Abschneidekriterien die Grenzen der Bilanzierung dar. Diese werden üblicherweise bei mindestens 1 % Stoffmasse, Primärenergieverbrauch und Umweltrelevanz angesetzt, wobei die Summe der vernachlässigten Stoffmassen insgesamt nicht mehr als 5 % betragen darf[15]. Für ökologisch bedenkliche Stoffe (z. B. Weichmacher in Kunststoffen) sind sie im Einzelfall zu überprüfen und gegebenenfalls außer Kraft zu setzen.[16]

Im Rahmen der Sachbilanz werden die für das Produktsystem relevanten Stoff- und Energieumwandlungsprozesse unter Berücksichtigung der Systemgrenze und der Abschneidekriterien erfasst und quantifiziert. Einbezogen werden Energie-, Rohstoff- und Betriebsstoffinputs, Produkte, Koppelprodukte und Abfälle sowie Emissionen in Luft, Wasser und Boden.[17]

Für die Wirkungsabschätzung wird der Beitrag der Sachbilanzergebnisse zu bestimmten potentiellen Umweltwirkungen ermittelt.[18] Zu diesem Zweck werden die Ergebnisse der Sachbilanz mit einer oder mehreren Wirkungskategorien verknüpft. Diese beschreiben jeweils eine bestimmte potenzielle Umweltwirkung (z. B. Treibhauspotenzial) und werden mittels eines Stoffäquivalents (z. B. CO_2-Äquivalent) dargestellt. Alle Stoffströme der Sachbilanz mit einem Beitrag zu einer bestimmten Wirkungskategorie werden mittels festgelegter Charakterisierungsfaktoren in das jeweilige Stoffäquivalent umgerechnet und zusammengefasst. Auf diese Weise werden hunderte Emissionen in Boden, Gewässer und Luft mit wenigen potentiellen Umweltwirkungen beschrieben. Für Umweltproduktdeklarationen von Bauprodukten werden die folgenden Wirkungskategorien unterschieden: [19]

- Globale Erwärmung
- Ozonabbau
- Versauerung von Boden und Wasser

[15] Klöpffer, Walter / Grahl, Birgit: Ökobilanz (LCA). Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. Weinheim: WILEY-VCH 2009, S. 30ff.

[16] Hegger, Manfred [u.a.]: Baustoff Atlas. München: Birkhäuser Verlag 2005, S. 98.

[17] vgl. DIN EN ISO 14040 2009.

[18] vgl. DIN EN ISO 14040 2009, S. 27.

[19] DIN EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012. Berlin: Beuth 2012, S. 30.

- Eutrophierung (Anreicherung von Nährstoffen / Überdüngung)
- photochemische Ozonbildung
- Verknappung von abiotischen Ressourcen (fossile Energieträger)

Eine Beschreibung der Umweltwirkungskategorien ist im Kapitel „Wirkungsabschätzung“ zu finden. Es ist zu beachten, dass diese Liste keinesfalls die vollständigen Umweltwirkungen eines Produkts abbildet, da eine Reihe von Wirkungskategorien noch Gegenstand wissenschaftlicher Forschung sind. Des Weiteren handelt es sich um „potenzielle Umweltwirkungen“ welche zeitliche und räumliche Eigenschaften der Stoffexposition weitgehend unberücksichtigt lassen.[20]

Eine weitere Gewichtung der Indikatorwerte unterschiedlicher Wirkungskategorien, also die Zusammenfassung zu einem einzigen Indikatorwert in einem sogenannten „Ökopunktverfahren“, ist wissenschaftlich nicht begründbar[21]. Eine Gewichtung kann nur auf Basis von Werthaltungen erfolgen, wobei auch die Gleichgewichtung aller Wirkungskategorien eine auf Werten basierte Entscheidung darstellt. Eine solche vereinfachte Darstellung der Wirkungsbilanzergebnisse geht außerdem mit einem erheblichen Informationsverlust einher. Dennoch haben „Ökopunktverfahren“ eine gewisse Verbreitung erlangt.[22] Im Rahmen der Nachhaltigkeitszertifizierung von Gebäuden findet ebenfalls eine Gewichtung von Wirkungsbilanzergebnissen statt, um eine Gesamtbewertung der ökologischen Qualität zu erreichen. Allerdings ist dieses Vorgehen eher der Phase „Auswertung“ zuzuordnen.

Die abschließende Phase einer Ökobilanzstudie ist die Auswertung. Die Ergebnisse von Sach- und Wirkungsbilanz werden gemeinsam betrachtet, hinsichtlich ihrer Übereinstimmung mit Ziel und Untersuchungsrahmen geprüft und Ergebnisse und Schlussfolgerungen werden in einem Bericht dokumentiert. Der Bericht und die zu Grunde liegende Bilanz kann einer unabhängigen Gruppe von Experten zur sogenannten kritischen Prüfung vorgelegt werden. Dies ist insbesondere dann erforderlich, wenn vergleichende Aussagen etwa zu Konkurrenzprodukten gemacht werden oder die Studie zur Veröffentlichung vorgesehen ist.[23]

3.6.2 Ziel und Untersuchungsrahmen

Ziel der Studie ist die Darstellung der Umweltwirkungen, die sich aus der Sanierung, eines angenommenen Betriebes über 50 Jahre, der Instandhaltung in dieser Zeit und der anschließenden Entsorgung der im Rahmen der Sanierung neu eingebrachten Gebäudekonstruktion der Ost- und Westzeile ergeben. Die vorhandene, wiederverwendete Gebäudekonstruktion wird nicht bilanziert.

Als Bezugsgröße der Untersuchung (funktionelle Einheit) wird ein Quadratmeter Netto-Grundfläche angesetzt.

Untersucht wird der gesamte Lebenszyklus der im Rahmen der Sanierung verwendeten Baumaterialien von ihrer Herstellung über die Instandhaltung bis zur Entsorgung.

Verwendet wird dafür das sogenannte „Vereinfachte Rechenverfahren“ das die Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen für die Ökobilanzierung von Gebäuden im Rahmen der Nachhaltigkeitszertifizierung von Gebäuden eingeführt hat. Für die Kostengruppen 300 und 400 nach DIN 276 werden folgende Bauteile berücksichtigt:

- Außenwände und Kellerwände inklusive Fenster und Beschichtungen
- Dach
- Geschossdecken inkl. Fußbodenaufbau und -belägen / Beschichtungen

[20] vgl. Klöpffer / Grahl 2009, S. 197ff.

[21] vgl. DIN EN ISO 14044

[22] vgl. Klöpffer / Grahl 2009, S. 216

[23] vgl. DIN EN ISO 14040 2009, S. 31ff.

- Bodenplatte inkl. Fußbodenaufbau und –belägen sowie Geschossdecken über Luft
- Fundamente
- Innenwände inklusive Beschichtungen sowie Stützen
- Türen
- Wärmeerzeugungsanlagen

Produkte und Aufwendungen, die sich nur auf den Baustellenbetrieb beziehen werden nicht berücksichtigt. Transporte werden vernachlässigt.

Die Massenermittlung erfolgt auf Basis der vorliegenden Ausschreibungsunterlagen. Aus diesen werden die Bauteile und Baustoffmengen ermittelt, die im Gebäude verbleiben. Kleinstmengen werden vernachlässigt. In geringem Umfang werden Annahmen getroffen.

Die Nutzungsdauer des Gebäudes wird mit 50 Jahren angenommen. Dabei handelt es sich um ein Szenario, das gewählt wird, um die Vergleichbarkeit aller untersuchten Gebäude zu gewährleisten. Alle Bauteile, deren Lebensdauer weniger als 50 Jahre beträgt, werden innerhalb des Gebäudelebenszyklus entsprechend ausgetauscht. Das bedeutet, dass die Umweltwirkungen für Herstellung und Entsorgung des Bauteils nochmals anfallen. Die Lebensdauer der Bauteile orientiert sich an den Vorgaben der Tabelle „Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB).[24] Abweichungen von den Vorgaben der Tabelle sind in der Sachbilanz gekennzeichnet und begründet.

Die Entsorgung der verwendeten Baumaterialen erfolgt getrennt nach Baustoffen entsprechend der heute üblichen Entsorgungsverfahren.

Für die Berechnung der Umweltwirkungen des Gebäudebetriebs (auf 50 Jahre bezogen) werden die Energieverbräuche für Strom und Wärme aus dem Energieausweis / Wärmeschutznachweis entnommen. Dieser wird auf die Netto-Grundfläche (NGF) bezogen, nicht auf die der EnEV Berechnung zu Grunde liegenden beheizten Fläche.

Als Datengrundlage für die Umweltwirkungen dient die Ökobau.dat Datenbank des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB).[25] Diese stellt durchschnittliche Datensätze für über 700 Baumaterialien zur Verfügung. Die Ökobau.dat Datenbank wurde 2008 im Rahmen der Erarbeitung des Zertifizierungssystems der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen bzw. des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen für Bundesbauten (BNB) entwickelt. Neben generischen Daten werden im Rahmen der etwa jährlich stattfindenden Aktualisierung auch spezifische Datensätze aus Umweltproduktdeklarationen konkreter Bauprodukte aufgenommen.

Die Ökobau.dat ist in das bei dieser Bilanz verwendete Online Tool „eLCA“ des Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) integriert.[26]

Es werden keine weiteren Datenquellen verwendet. Für Baustoffe für die kein passender Datensatz vorlag, wird im Rahmen der Bilanzierung eine konservative Annahme getroffen und der Stoff mit einem ähnlichen Datensatz aus der Datenbank abgebildet. Die verwendeten Datensätze sind im Kapitel Sachbilanz dokumentiert. Die erreichte Datenqualität kann insgesamt als gut bezeichnet werden.

---

[24] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR): Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Berlin 2017. Abrufbar im Internet. URL: http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/baustoff_gebauededaten/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen_2017-02-24.pdf Stand: 29.05.2017

[25] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Ökobau.dat. 2016. Abrufbar im Internet. URL: http://oekobaudat.de/. Stand: 29.05.2017

[26] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR): eLCA. Abrufbar im Internet. URL: https://www.bauteileditor.de/. Stand 29.05.2017

Sachbilanz

Die Erstellung einer Sachbilanz gliedert sich in drei wesentliche Schritte: die Datensammlung, die Modellierung der Prozessschritte in Modulen und die Datenverrechnung. Diese Schritte werden von dem verwendeten Ökobilanztool „eLCA“ in einem Zug durchgeführt.

Für die Datensammlung der Konstruktion werden die Ausschreibungsunterlagen verwendet. Eine Liste der erfassten Positionen, der resultierenden Massen und der verwendeten Datensätze der Ökobau.dat Datenbank befindet sich im Anhang.

Die Sachbilanz des Gebäudebetriebs basiert auf der EnEV-Berechnung. Für die Ökobilanzierung des Betriebs werden die rechnerisch ermittelten Endenergiebedarfe für Wärme und Strom verwendet. Diese werden mit den entsprechenden Datensätzen verknüpft.

3.6.3 Wirkungsabschätzung

Mit Abschluss der Sachbilanz liegt eine Vielzahl von Daten vor, deren Auswertung in der Regel in dieser Form nur schwer möglich ist. Im Rahmen der Wirkungsabschätzung werden die Sachbilanzdaten entsprechend ihrer potentiellen Wirkung auf die Umwelt so genannten Wirkungskategorien zugeordnet. Die Anzahl der Sachbilanzdaten reduziert sich auf die Anzahl der betrachteten Wirkungskategorien und ermöglicht eine bessere Interpretation der Ergebnisse. Ein Beispiel einer Wirkungskategorie ist das Treibhauspotential. Alle Emissionen, die einen Beitrag zum Treibhauseffekt liefern, werden dieser Kategorie zugeordnet und entsprechend ihrer potentiellen Wirkung aggregiert.

Für Umweltproduktdeklarationen von Bauprodukten werden die folgenden Wirkungskategorien unterschieden.[27] Für die vorliegende Untersuchung entspricht dies:

- Globale Erwärmung
- Ozonabbau
- Versauerung von Boden und Wasser
- Eutrophierung (Anreicherung von Nährstoffen / Überdüngung)
- photochemische Ozonbildung
- Verknappung von abiotischen Ressourcen (fossile Energieträger)

Diese entsprechen den Wirkungskategorien, die auch in einer DGNB Zertifizierung betrachtet werden. Diese Wirkungskategorien sind im Glossar kurz beschrieben.

- Treibhauspotenzial
- Ozonabbaupotenzial
- Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial
- Versauerungspotenzial
- Eutrophierungspotenzial (EP)
- Primärenergiebedarf

3.6.4 Ergebnisse Wirkungsabschätzung

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Ökobilanz der Ost- und Westzeile gegenübergestellt. Zur Einordnung der Ergebnisse sind des Weiteren die Grenz- und Zielwerte des Qualitätssiegels Nachhaltiger Wohnungsbau (NaWoh) dargestellt sowie für die Wirkungskategorie „Treibhauspotential“ der Zielwert der 2.000 Watt Gesellschaft nach SIA 2040.

[27] vgl. DIN EN 15804 2012, S. 30f.

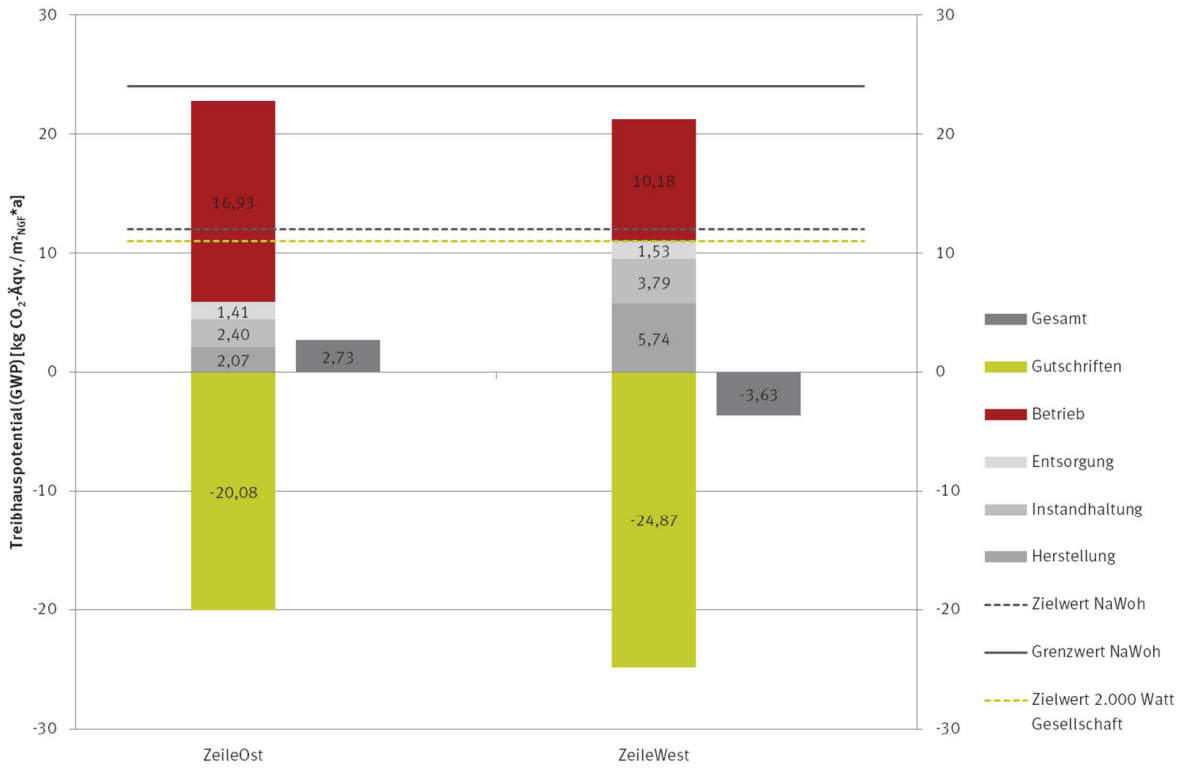


Abbildung 28: Vergleich des Treibhauspotentials (GWP); [ina Planungsgesellschaft]

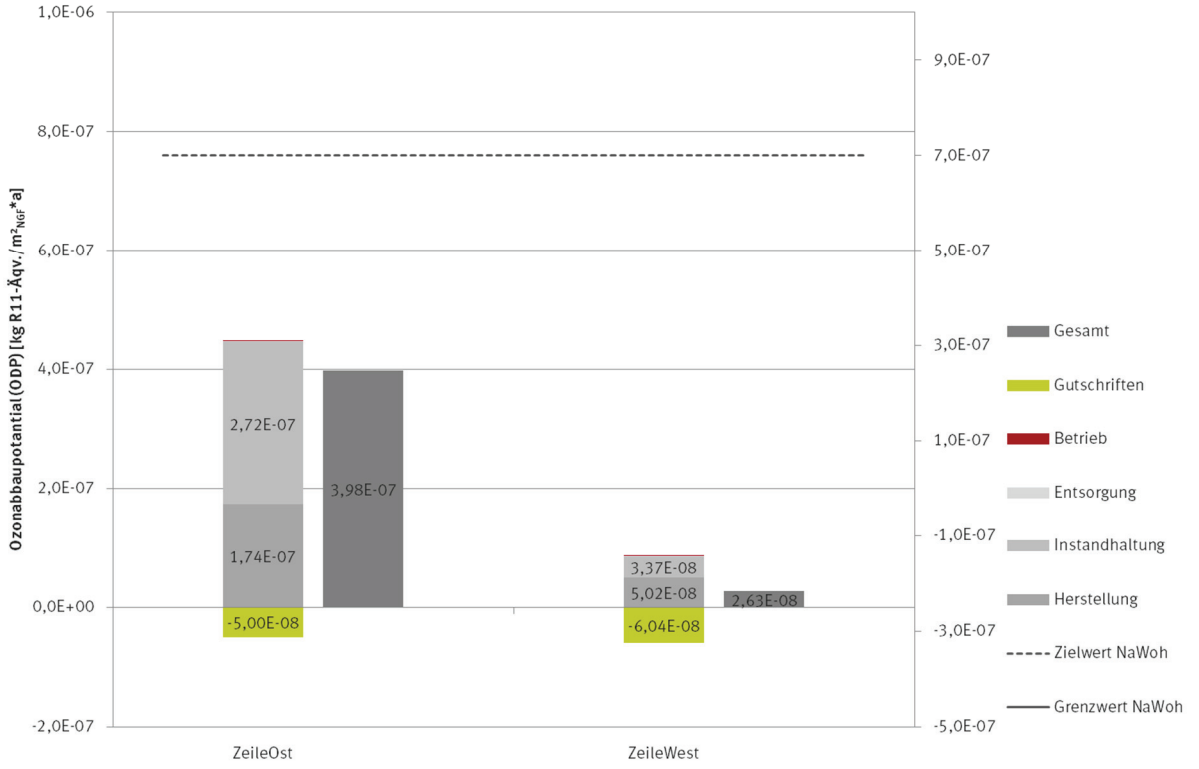


Abbildung 29: Vergleich des Ozonabbaupotentials (ODP); [ina Planungsgesellschaft]

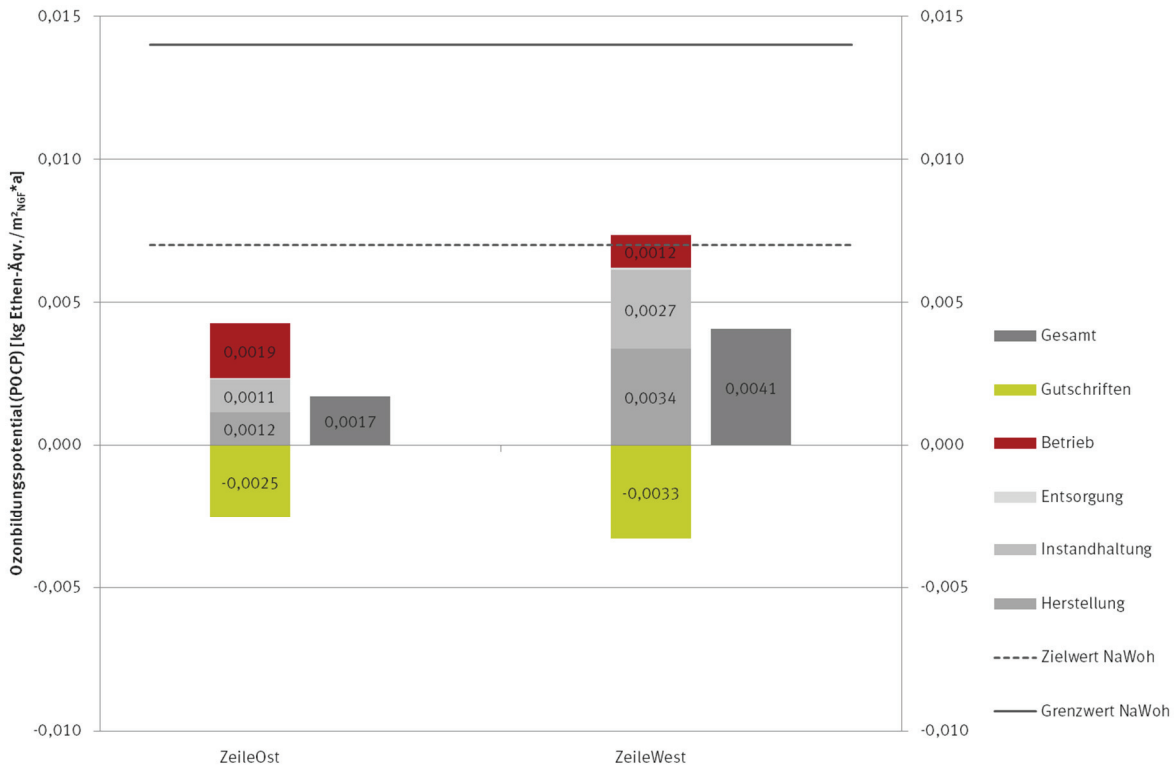


Abbildung 30: Vergleich des Ozonbildungspotentials (POCP); [ina Planungsgesellschaft]

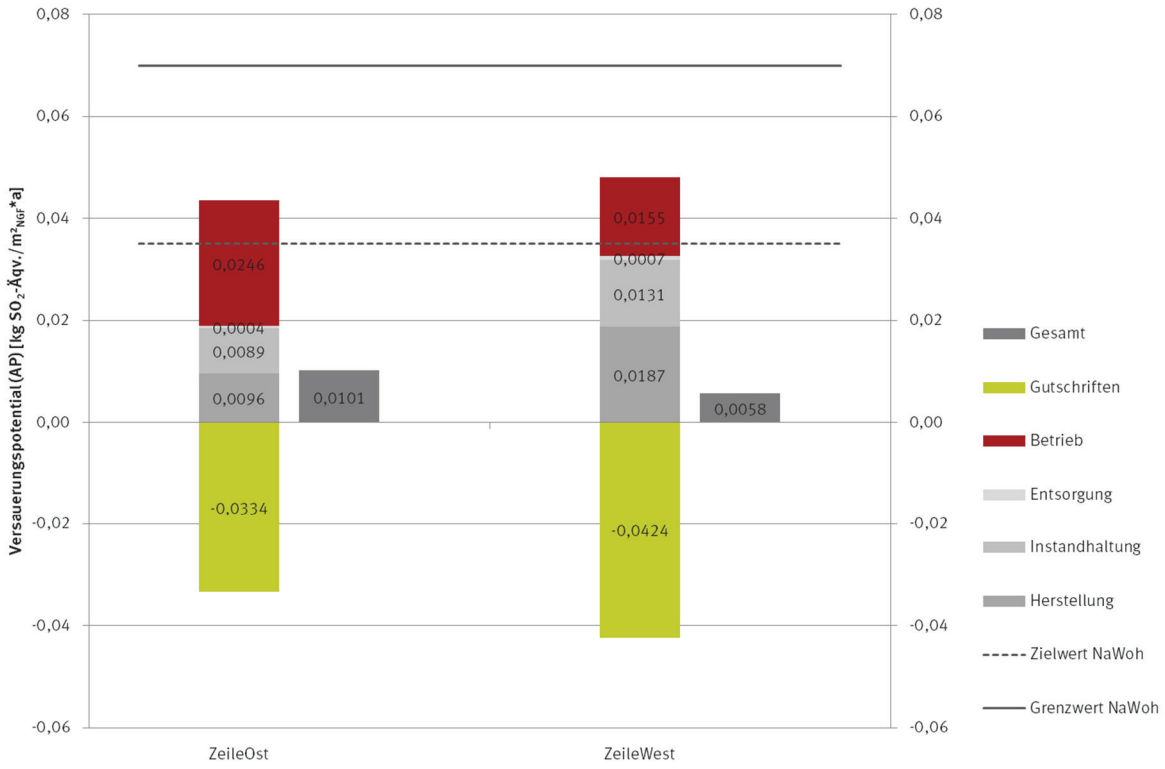


Abbildung 31: Vergleich des Versauerungspotentials (AP); [ina Planungsgesellschaft]

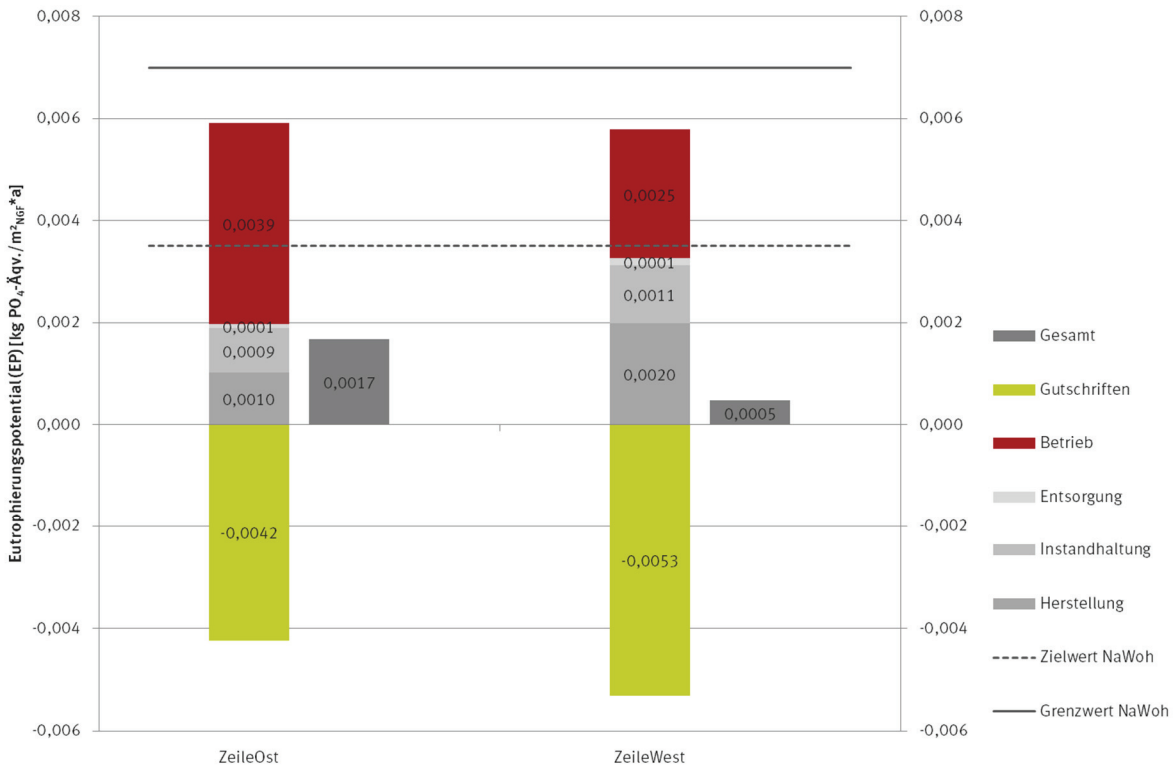


Abbildung 32: Vergleich des Eutrophierungspotentials (EP); [ina Planungsgesellschaft]

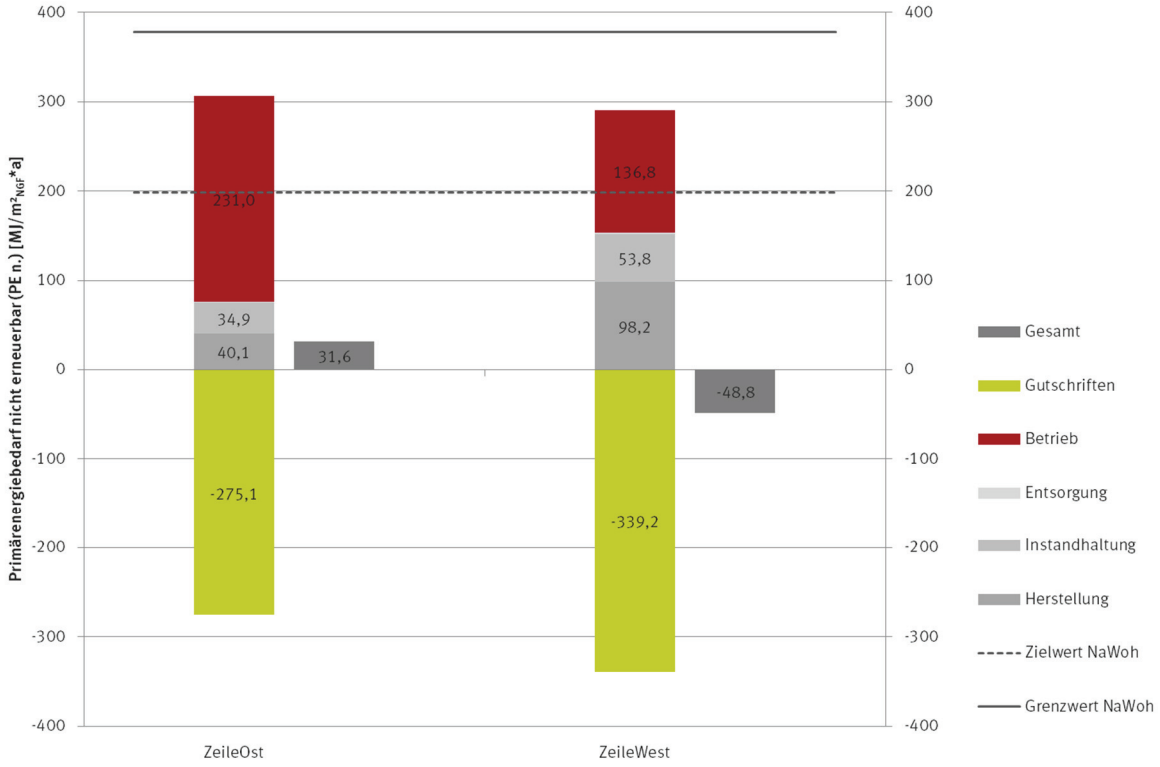


Abbildung 33: Vergleich des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs; [ina Planungsgesellschaft]

Unter Berücksichtigung der Gutschriften aus der PV-Stromproduktion (in den Grafiken grün dargestellt) liegen beide Gebäude in allen betracheten Wirkungskategorie deutlich unter den jeweiligen Zielwerten des Qualitätssiegels Nachhaltiger Wohnungsbau. Bei einem zukünftig höheren Anteil erneuerbarer Energien am Strom-Mix wird diese Gutschrift zwar geringer werden, gleichzeitig werden aber die Emissionen aus dem Strombezug im Betrieb (in den Grafiken rot dargestellt) ebenfalls sinken, so dass die Gesamtendenz sich weiterhin ähnlich darstellen wird.

In nahezu allen Wirkungskategorien ergeben sich zudem im Vergleich zu den Emissionen aus der Herstellung der Bauprodukte erheblich Emissionen aus der Instandhaltung. Diese sind vor allem auf den Austausch der TGA-Komponenten zurückzuführen.

Nachfolgend sind die Emissionen aus der Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung der Gebäudekonstruktion aufgeteilt nach den Kostengruppen der DIN 276 emplarisch für die Wirkungskategorie „Treibhauspotential (GWP)“ dargestellt.

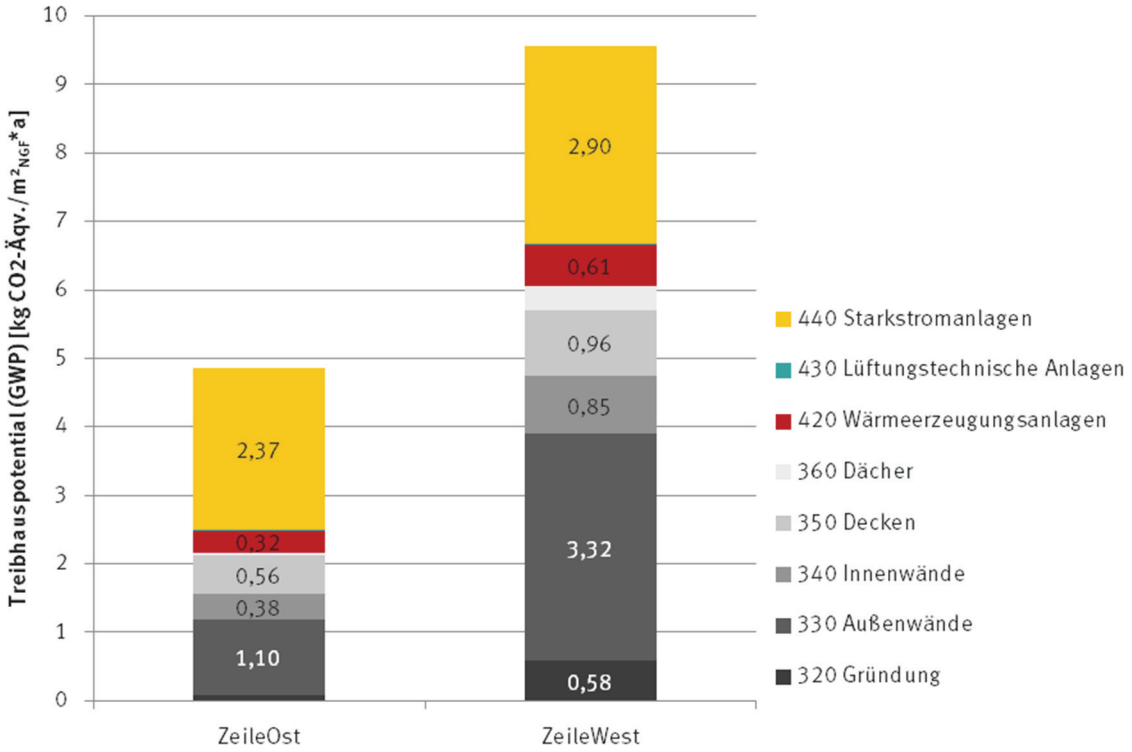


Abbildung 34: Vergleich des Treibhauspotentials (GWP) der Gebäudekonstruktion und Aufteilung auf die Kostengruppen der DIN 276; [ina Planungsgesellschaft]

Der umfassendere Eingriff in die Gebäudesubstanz sowie die Erweiterung der Gebäude bei der Westzeile führt zu ca. doppelt so hohen Beiträgen aus der Konstruktion zum Treibhauspotential wie bei der Sanierung der Ostzeile. Insbesondere der Beitrag der Kostengruppe insbesondere der Beitrag der Kostengruppe 300 „Baukonstruktion“ steigt erheblich (+179 % gegenüber der Zeile Ost), während die Beiträge in der Kostengruppe 400 „Gebäudetechnik“ nur moderat steigen (+30 % gegenüber der Zeile Ost).

Während in der Kostengruppe 300 jeweils die Außenwände (mit Fenstern) den größten Anteil an den Emissionen haben, ist dies in der Kostengruppe 400 die PV-Anlage mit einem Anteil von 87 % bzw. 82 % an den gesamten aus der KG 400 resultierenden Emissionen.

In den übrigen Wirkungskategorien bestägigen sich diese Ergebnisse wie nachfolgend exemplarisch am Versauerungspotential (AP) und dem Eutrophierungspontential (EP) dargestellt ist.

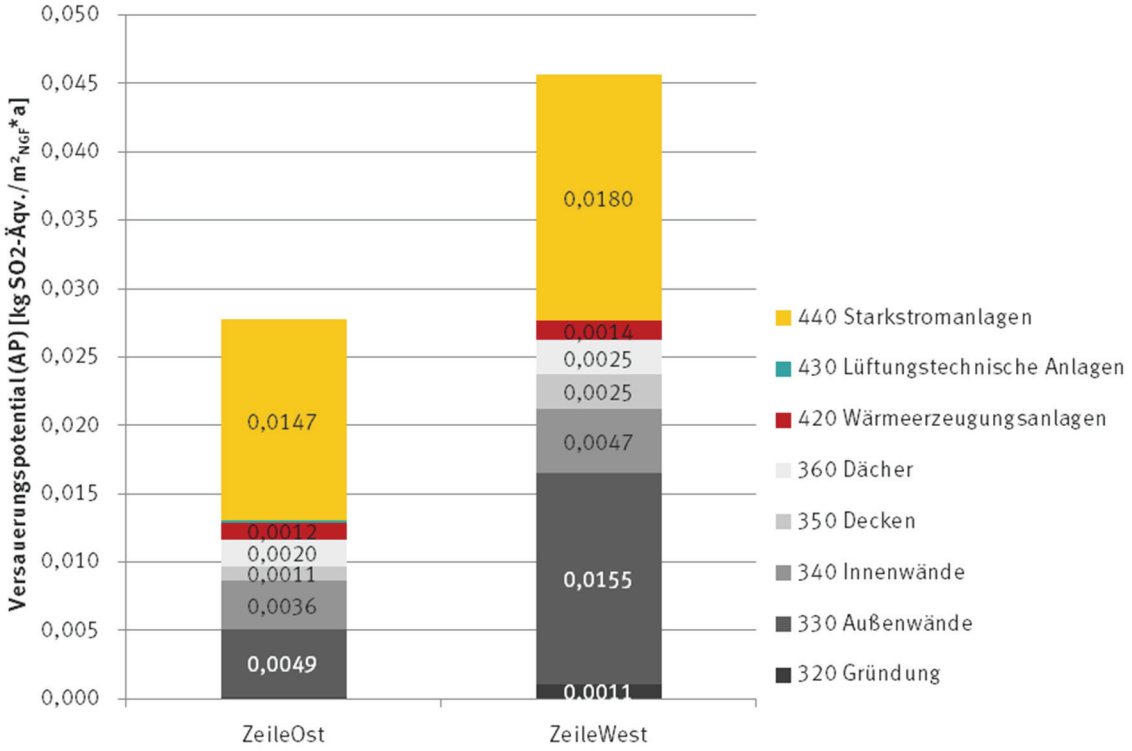


Abbildung 35: Vergleich des Versauerungspotentials (AP) der Gebäudekonstruktion und Aufteilung auf die Kostengruppen der DIN 276; [ina Planungsgesellschaft]

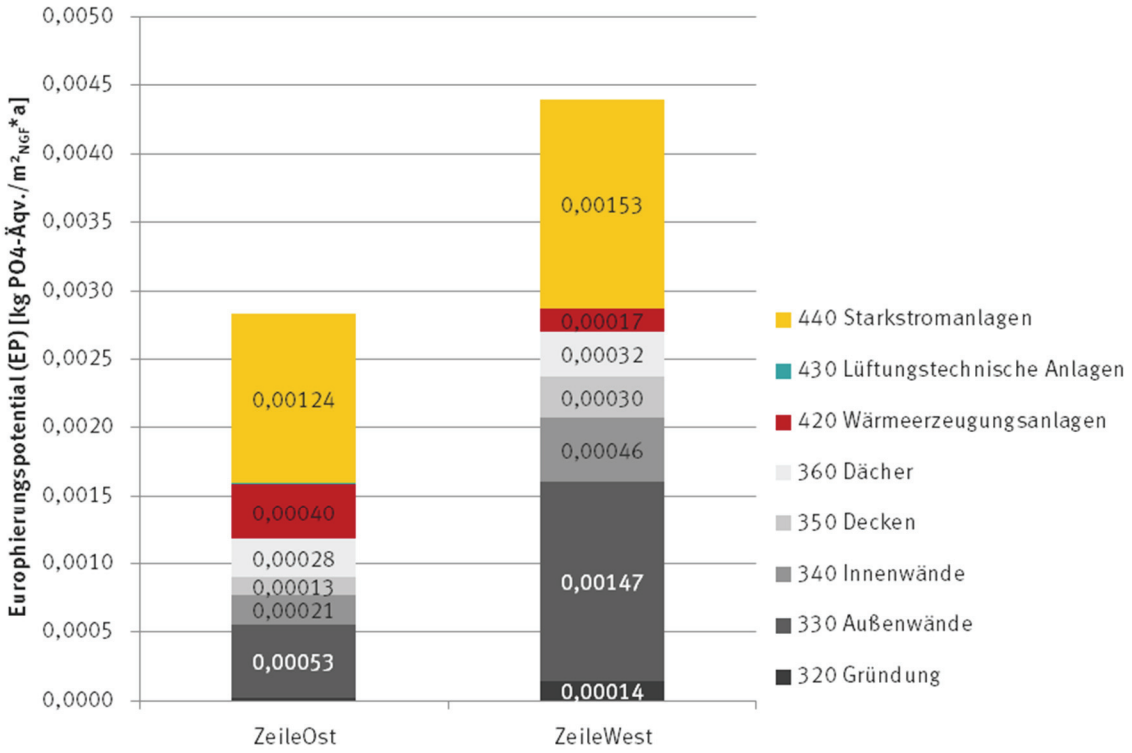


Abbildung 36: Vergleich des Eutrophierungspotentials (EP) der Gebäudekonstruktion und Aufteilung auf die Kostengruppen der DIN 276; [ina Planungsgesellschaft]

3.6.5 Ergebnisse Ökobilanzierung

Die Ökobilanz der beiden Sanierungsstrategien zeigt, dass

- Beide Strategien deutlich geringere Umweltwirkungen als die Errichtung der Betrieb von gleich großen neu errichteten Gebäuden verursachen
- Beide Strategien geeignet sind durch Nachhaltigkeitsbewertungssysteme oder Standards vorgebene Ökobilanzbenchmarks zu erfüllen und zum Teil deutlich zu unterschreiten.
- Größere Eingriffe (Zeile West) zwar höhere Umweltwirkungen aus der Konstruktion verursachen, diese aber, über einem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren, durch die größeren Einsparungen im Betrieb mehr als ausgeglichen werden.
- Der Anteil der Instandhaltung an den Umweltwirkungen der Gebäudekonstruktion erheblich ist, da im Rahmen der Sanierung vor allem Bauteile mit einer geringeren Lebensdauer (Oberflächen etc.) sowie die Gebäudetechnik ersetzt wird und diese somit in dieser Bilanz überproportional vertreten sind.
- Der Anteil der Umweltwirkungen aus der Gebäudekonstruktion bei größeren Eingriffen (Zeile West) stärker steigt als der Anteil der Gebäudetechnik, da diese in beiden Sanierungsvarianten vollständig ausgetauscht wird und sich daher ähnelt.

Insgesamt zeigt das Projekt, dass die Sanierung und Weiternutzung vorhandener Bausubstanz aus ökologischer Sicht einem Abriss und Neubau vorzuziehen ist. Umfassende Sanierungen verringern die Umweltwirkungen über den Lebenszyklus stärker als kleinere Eingriffe, wobei der Unterschied zum Neubau ein Vielfaches des Unterschieds zwischen den beiden Eingriffstiefen darstellt. Die Sanierung zu einem Plusenergiegebäude reduziert die Emissionen aus dem Gebäudebetrieb je nach Wirkungskategorie bis auf null.

3.7 Lebenszykluskosten

Die Investitionen in die energetische Modernisierung der Gebäude reduziert die Energiekosten im Betrieb (neben den sonstigen wertsteigernden Effekten einer Modernisierung). Zur Prüfung ob die eingesetzen Mittel sich innerhalb einer Betrachtungszeitraums von 20 Jahren amortisieren, wird eine einfache Berechnung der gebäudebezogenen Kosten im Lebenszyklus durchgeführt.

Die Ergebnisse der gebäudebezogenen Kosten im Lebenszyklus werden für drei Szenarien dargestellt:

- Weiterbetrieb (unsaniert)
- Modernisierung und energetische Sanierung (wie erfolgt)
- Abriss und Neubau

Die Berechnung der Lebenszykluskosten berücksichtigt folgende Kosten:

- Investitionskosten der Kostengruppen 300 und 400 auf Basis der Angebote bzw. Aufträge (für die ausgeührte Modernisierung). Für Abriss und Neubau wurden die Kosten auf Basis von BKI Kosten abgeschätzt. Beim Weiterbetrieb fallen keine Investitionskosten an.
- Zu erwartenden Energiekosten auf Basis der vorliegenden Energiebilanzen und mit den folgenden angenommen Energiepreisen:
    - Strom: 0,28 €/kWh
    - Erdgas:0,06 €/kWh

  Für das Szenario „Abriss und Neubau“ wurde angenommen, dass die gleiche Bedarfe wie bei der Modernisierung vorliegen würden. Für den Weiterbetrieb werden die vorliegenden Verbräuche berücksichtigt.

- Wartungskosten gemäß Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) für Kostengruppe 300 pauschal 0,1 % der Investitionskosten pro Jahr und für Kostengruppe 400 auf 2. Ebene nach VDI 2076. Für das Szenario „Weiterbetrieb“ wurden die Wartungkosten mit 11.700 € pro Jahr geschätzt, da im Betrachtungszeitraum von 20 Jahren keine größere Reparaturen notwendig würden.
- Für die Preissteigerung wird ein Korridor der möglichen Energiepreissteigerungen zwischen 2 % und 5 % und der Wartungskosten zwischen 1 % und 3 % darstellt.

Nicht berücksichtig sind u.a.:

- Finanzierungkosten
- Fördermittel und Zuschüsse
- Mieteinnahmen
- Sonstige Betriebskosten

3.7.1 Ergebnisse der Lebenszykluskosten

Nachfolgend sind die Ergebnisse der gebäudebezogenen Lebenszykluskosten für die umfangreich sanierte Westzeile dargestellt.

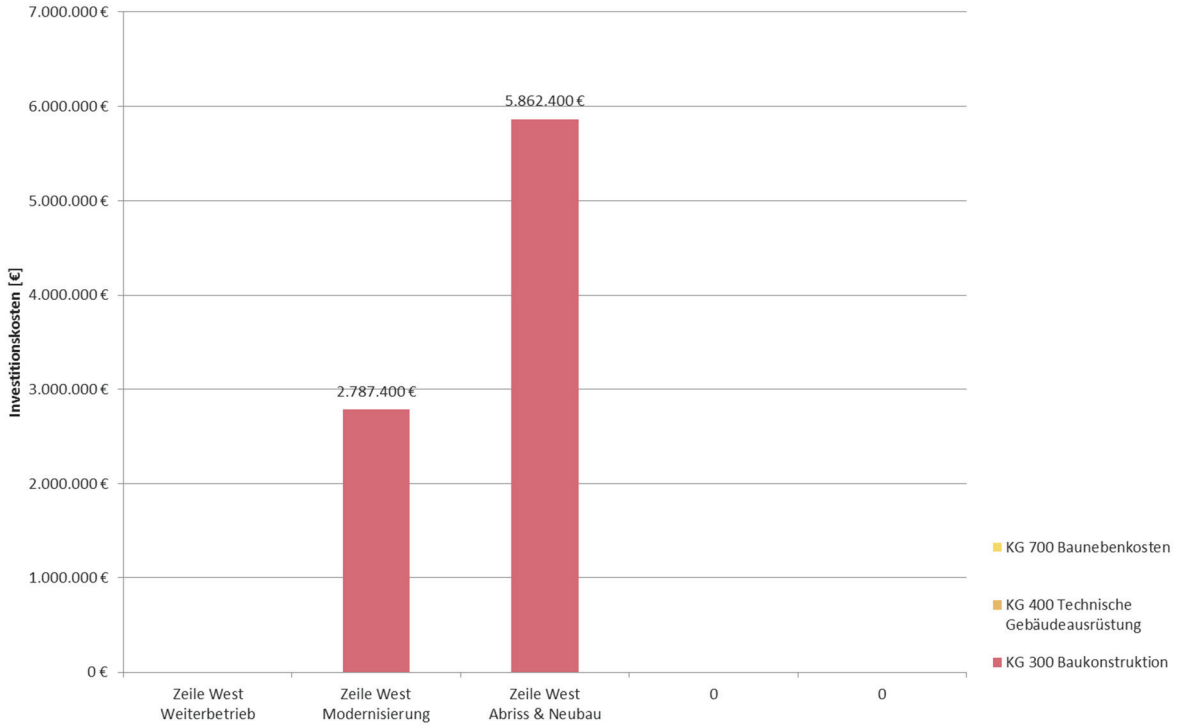


Abbildung 37: Vergleich der Investitionskosten von Weiterbetrieb, Modernisierung und Abriss & Neubau; [ina Planungsgesellschaft]

Die Investitionskosten der Kostengruppe 300 und 400 liegen für die Modernisierung und Erweiterung bei 2,79 Mio. Euro. Ein Abriss und Neubau gleicher Größe wäre schätzungsweise ca. doppelt so teuer. Der Weiterbetrieb verursacht zunächst keine Investitionskosten.

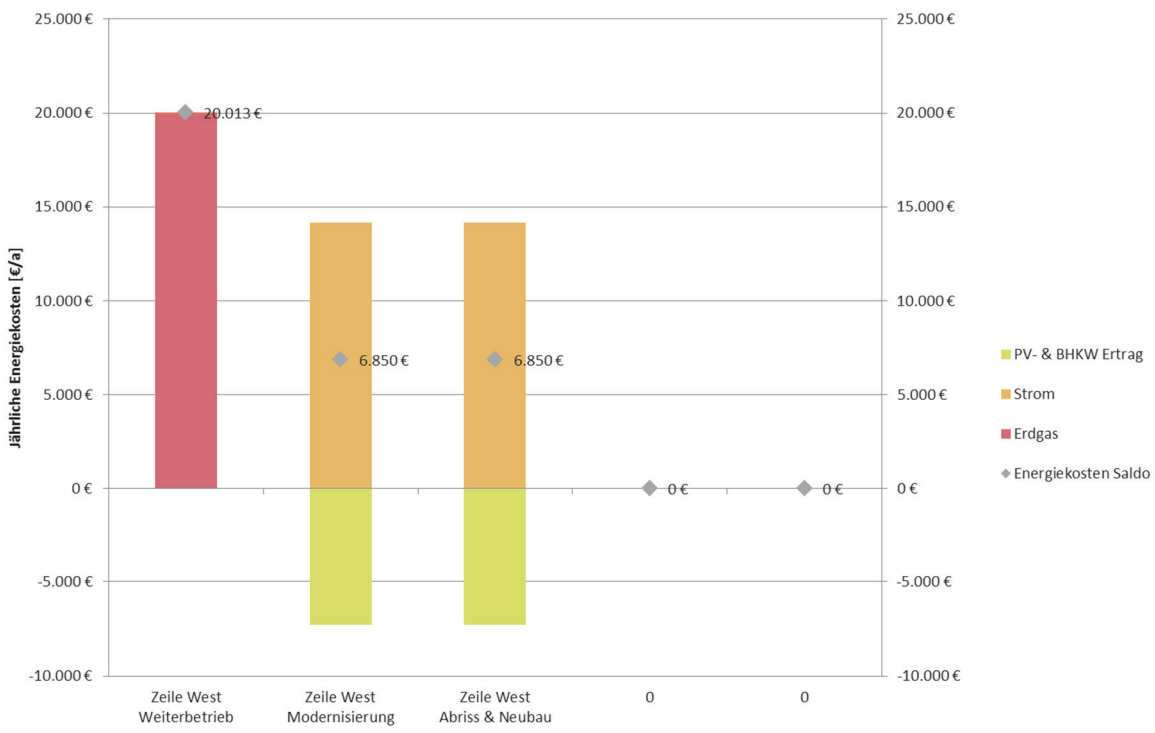


Abbildung 38: Vergleich der jährlichen Energiekosten von Weiterbetrieb, Modernisierung und Abriss & Neubau; [ina Planungsgesellschaft]

Der Weiterbetrieb des Gebäude verursacht jährliche Energiekosten (Preisstand heute) von ca. 20.000 €. Modernisierung und Neubau haben, bei angenommenem gleichen Bedarf, rund zwei Drittel geringere jährliche Energiekosten. Diese resultieren zum einen aus der Energieeinsparung im Betrieb, aber auch durch Eigenstromproduktion mittels PV-Anlage. Der überschüssige Strom wird in das Stromnetz eingespeist und vergütet. Dieser Effekt halbiert die verbleibenden Energiekosten von ca. 14.000 € noch einmal.

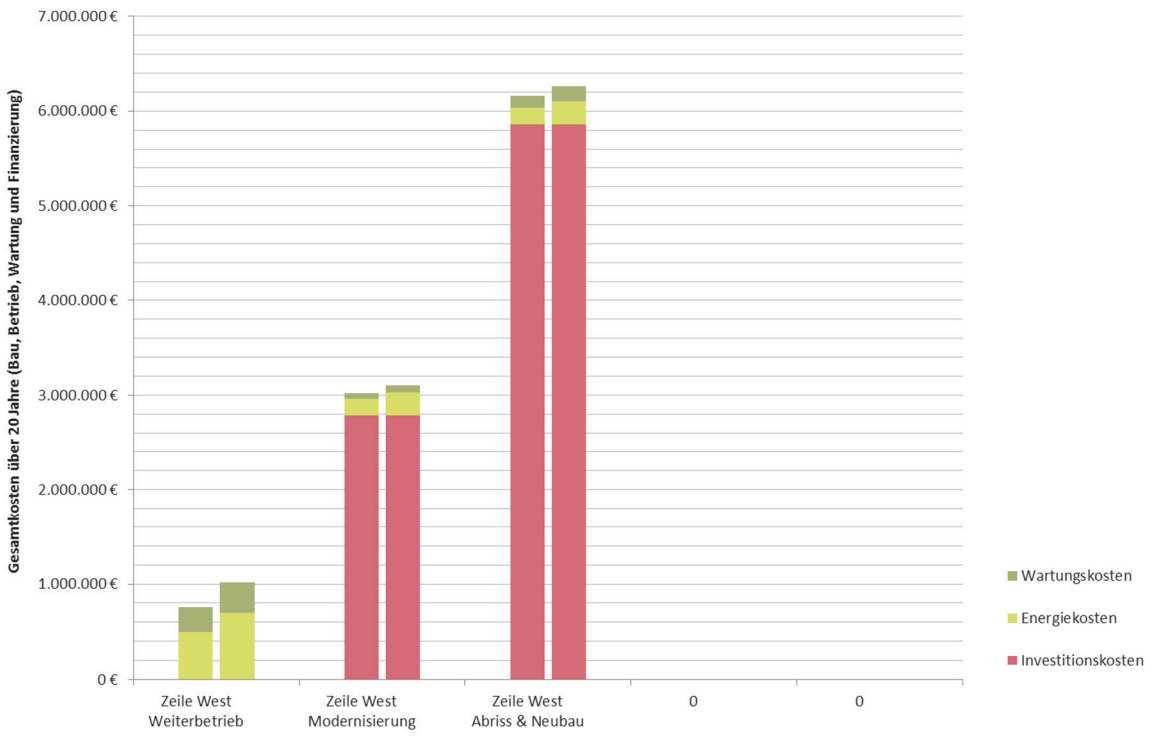


Abbildung 39: Vergleich der Gesamtkosten über 20 Jahre von Weiterbetrieb, Modernisierung und Abriss & Neubau. Dargestellt ist jeweils eine geringe (linke Säule) und eine hohe Preissteigerung (rechte Säule) gemäß den oben beschriebenen angenommenen Preissteigerungen; [ina Planungsgesellschaft]

Der Vergleich der gebäudebezogenen Lebenszykluskosten über 20 Jahre zeigt, dass die Investitionskosten sich über die Einsparung von Energie- und Wartungskosten über 20 Jahre noch nicht amortisieren. Dabei ist zu beachten, dass das Bestandsgebäude deutlich kleiner als das moderniserte bzw. neu zu errichtende Gebäude ist. Die hier nicht berücksichtigten Faktoren wie höhere mögliche Miete durch höheren Standard und insgesamt größere vermietbare Fläche würden die Modernisierung deutlich schneller als wirtschaftlich darstellen.

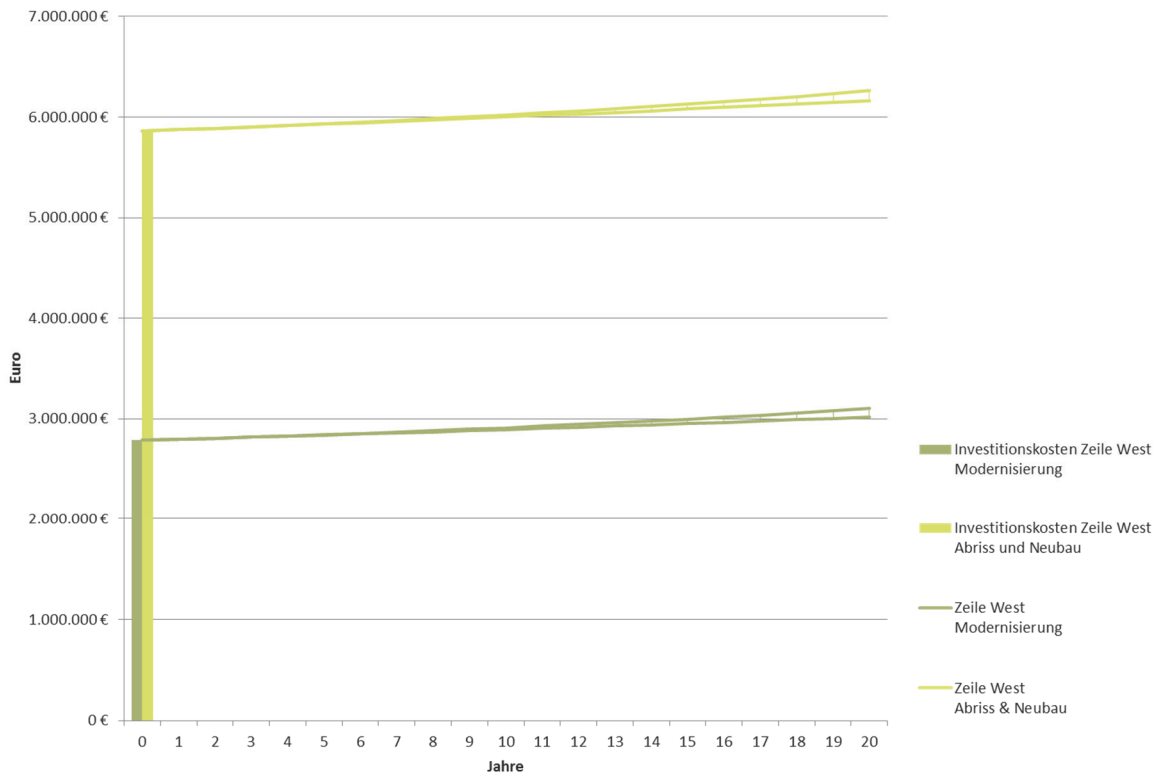


Abbildung 40: Vergleich der Varianten Modernisierung und Abriss & Neubau über 20 Jahre; [ina Planungsgesellschaft]

Der Vergleich zwischen den Varianten „Moderniserung“ und „Abriss und Neubau“, die jeweils mit gleich großer vermietbarer Fläche und gleichem Energiebedarf angenommen wurde, wird entsprechend von den Investitionskosten dominiert. Da für das Szenario „Abriss und Neubau“ nur grobe Kosten aus Literaturwerten geschätzt werden, ist das Ergebnis nur in seiner Tendenz, aber weniger hinsichtlich der absoluten Zahl belastbar. Dennoch wird klar, dass selbst bei deutlich geringeren Investitionskosten für Abriss und Neubau der ökonomische Vergleich deutlich zu gunsten der Modernisierung ausfällt. Des Weiteren wird deutlich, dass die Energie- und Wartungskosten bei einer Betrachtung über 20 Jahre nur eine untergeordnete Bedeutung haben und entsprechend weitere Einsparungen in diesem Bereich auf die Gesamtbetrachtung keinen wesentlichen Effekt hätten. Unter den vorliegenden Annahmen und Parametern sowie den betrachten Bewertungsgrößen ist die Modernisierung der Bestandsgebäude entsprechend dem Abriss und Neubau vorzuziehen.

4 STAND DES PROJEKTS

4.1 Einleitung

Die Realisierung des Neubaus des Aktiv-Stadthauses in der Speicherstraße in Frankfurt am Main und die Erkenntnisse daraus sind auf Sanierungen im Gebäudebestand übertragbar. Beispielhaft sind zwei Gebäudezeilen aus den 50er Jahren in Frankfurt am Main im Stadtteil Riederwald energetisch saniert und um Wohnungen im Dachgeschoss erweitert wurden. Energieeffizienz und Behaglichkeit haben baualtersbedingt ein erhebliches Verbesserungspotential. Die Energieversorgung ist auf erneuerbare Energien umgestellt und die Vorgabe, den Gebäudebestand nahezu klimaneutral zu entwickeln, erreicht. Das Ziel für die Häuser in Frankfurt Riederwald sieht eine ausgeglichene Jahresbilanz von Wärme- und Stromverbrauch durch regenerative Erzeugung vor. Sie erreichen den „Effizienzhaus 70 bzw. 55“ Standard nach den Förderkriterien der KfW. Wesentlicher Bestandteil des Sanierungskonzepts ist der weitgehende Erhalt der Gebäudesubstanz.

Lage

Abbildung 41: Lage in Frankfurt am Main; [HHS]

Stadt	Frankfurt am Main
Stadtteil	Riederwald
Anschrift	Westzeile: Nebeniusstraße 12 – 20 Ostzeile: Nebeniusstraße 11 – 15 u. Schlettweinstraße 45
Breitengrad	50,128850
Längengrad	8.738593
Höhenlage	101 m

Mittlere Jahrestemperatur	10,5 °C

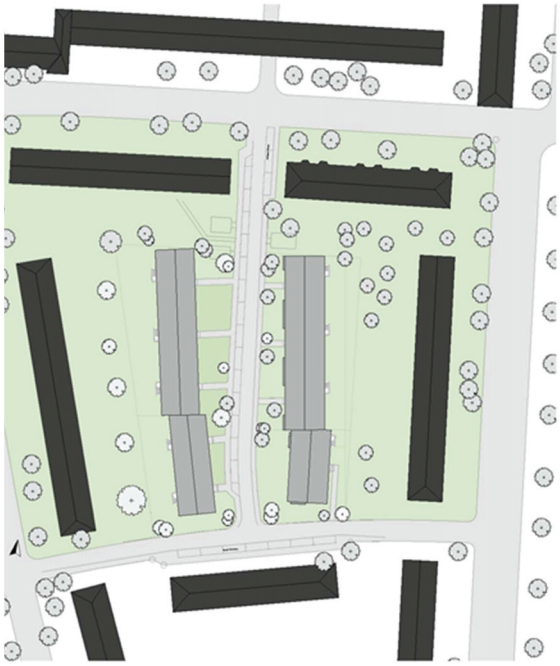


Abbildung 42: Lageplan Bestand; [HHS]

Abbildung 43: Luftbild Bestandssituation; [Bing Maps]

4.2 Bestandsaufnahme

Der bauliche Zustand ermittelt sich durch eine zerstörungsfreie Bestandsaufnahme. Mit ihr startet die Sanierung. Dabei offenbaren sich frühzeitig vorhandene Defizite.

In den zurückliegenden Jahren sind keine umfangreichen Modernisierungs- oder Instandsetzungsmaßnahmen an der technischen Ausrüstung oder der Gebäudehülle erfolgt. Innerhalb der Wohneinheiten sind zumindest im Falle eines Mieterwechsels Anpassungsmaßnahmen und Reparaturen realisiert. Vornehmlich wurde die Elektrounterverteilung, Sanitärinstallation und Wärmeerzeugung (überwiegend Etagenheizung) bei Ausfall ersetzt. Die umfassende Sanierung verfolgt dagegen eine ganzheitliche Herangehensweise.

Der bauliche Zustand der Gebäude stellt sich entsprechend der Baualtersklasse typisch dar. Die Defizite innerhalb der Wohneinheiten sind entsprechend dem zeitlichen Abstand zur letzten Sanierung sehr unterschiedlich. In zwei Wohnungen ist noch der ursprüngliche Zustand der Beheizung mit Einzelöfen (Kohle, Stückholz) vorhanden. In den anderen sind teilweise die Öfen durch Nachtspeicheröfen ersetzt. Bei einer größeren Maßnahme sind Gasetagenheizungen in den Wohnungen installiert und als Standard eingeführt. Ein Großteil der Gasthermen stammt aus den 90er Jahren.

Fenster

Die Fenster sind allgemein in einem guten Zustand, meist aus der Zeit Mitte der 80er bis Mitte der 90er Jahre. Thermisch entsprechen sie mit mäßig gedämmten Rahmenprofilen und Isolierverglasung mit Abstandshaltern aus Blei (U-Wert 2,70 W/m²K) nicht mehr heutigen Qualitäten. Eine luftdichte Ebene wird durch die Einbausituation im Bestand nicht gewährleistet. Vereinzelt gibt es Fenster aus den Anfängen der 2000er Jahre. Diese Fenster besitzen Kunststoffrahmen. In den Treppenräumen befinden sich teilweise noch einfachverglaste Holzfenster.

Neben den unterschiedlichen Baualtersklassen der Fenster sind ebenfalls verschiedene Fensterteilungen vorhanden. Ein und dieselbe Fensterposition gibt es in bis zu fünf unterschiedlichen Aufteilungen. Ein einheitliches Fassadenbild ist nicht gegeben.

Sonnenschutz

Im Erdgeschoss sind an allen Fenstern Rollläden vorhanden. Diese sind überwiegend aus Kunststoff, teilweise aus Holz. Aufgrund von Durchbrüchen in den Außenwänden kommt es zu Zuglufterscheinungen. Insbesondere im Bereich von ungedämmten Rollladenkästen und deren Abdeckung sind optisch im Innern entsprechende Spuren auszumachen.

Von den Mietern individuell installiert, sind in den oberen Geschossen teilweise außenliegende Rollläden sowie Raffstores vorhanden. Diese weisen eine große Variation auf. Es bleibt festzuhalten, dass durch Montage sowie Demontage dieser, eine Vielzahl an Fensterlaibungen zerstört sind. Dies trägt zu einem unschönen Fassadenbild bei.

Abbildung 44: Fensteraufteilungen; [HHS]

Abbildung 45: Fensteraufteilung, Sonnenschutz ; [HHS]

Abbildung 46: Rollladen, Rollladenkasten integriert; [HHS]

Abbildung 47: Holzrollladen, Rollladenkasten integriert; [HHS]

Abbildung 48: Vorbau-Rollladen; [HHS]

Abbildung 49: Vorbau-Raffstore [HHS]

	Westzeile: Nebeniusstraße 12 – 20	Ostzeile: Nebeniusstraße 11 – 15 u. Schlettweinstraße 45
Gebäudetyp	Mehrfamilienhaus, überwiegend 3 Zimmer Wohnungen	
Wohneinheiten	28	23
Untergeschosse	1	1
Obergeschosse	2 – 3	2 – 3
Beheizte Wohnfläche	1. 540 m².	1. 420 m².
Beheiztes Gebäudevolumen	6.470 [m³]	5.215 [m³]
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	2.321 [m²]	1.908 [m²]
A/V-Verhältnis	0,48 [m-1]	0,51 [m-1]

Tabelle 6: Angaben zu den Gebäuden vor der Sanierung; [HHS]

	Westzeile: Nebeniusstraße 12 – 20	Ostzeile: Nebeniusstraße 11 – 15 Schlettweinstraße 45
Bauweise	Mehrfamilienhaus, überwiegend 3 Zimmer Wohnungen	
Dach	ost-westorientiertes Kaltdach	ost-westorientiertes Kaltdach
Oberste Geschossdecke	Mindestdämmung (3 cm)	Mindestdämmung (3 cm)
Fassade	monolithisch/ 36,5cm Bimsbeton	monolithisch/ 36,5cm Bimsbeton
Fenster	1- bis 2-fach Verglasung	1- bis 2-fach Verglasung
Kellerdecke	STB, ungedämmt	STB, ungedämmt
Kelleraußenwände	ungedämmt	ungedämmt
Wärmeerzeugung	Kohle-, Gaseinzelöfen und Gasetagenheizung	Kohle-, Gaseinzelöfen und Gasetagenheizung
Besonderheiten	Niveau der Obergeschosse durchgehend gleich, Niveauversatz in Kellerbodenplatte	Niveau Bodenplatte durchgehend gleich, Niveauversatz zwischen den beiden Häusern

Tabelle 7: Qualitäten von Gebäudehülle und Anlagentechnik im Bestand; [HHS]

Bestandspläne

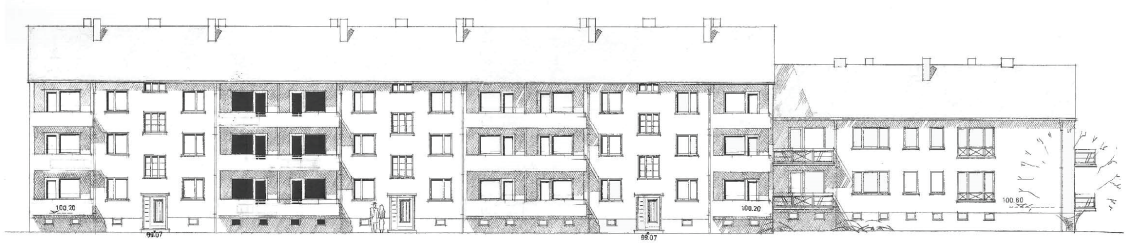


Abbildung 50: Ostzeile Ansicht West; [ABG]

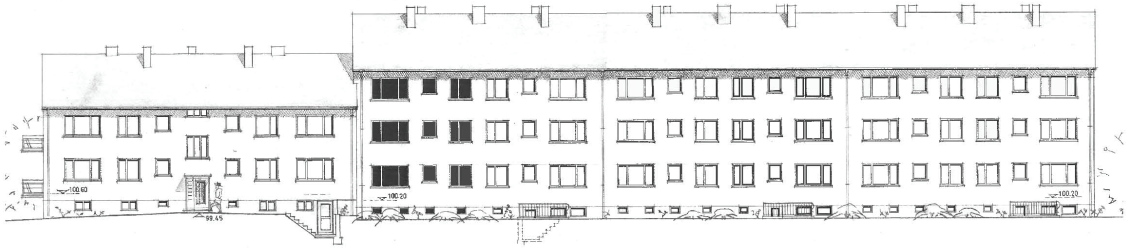


Abbildung 51: Ostzeile Ansicht Ost; [ABG]

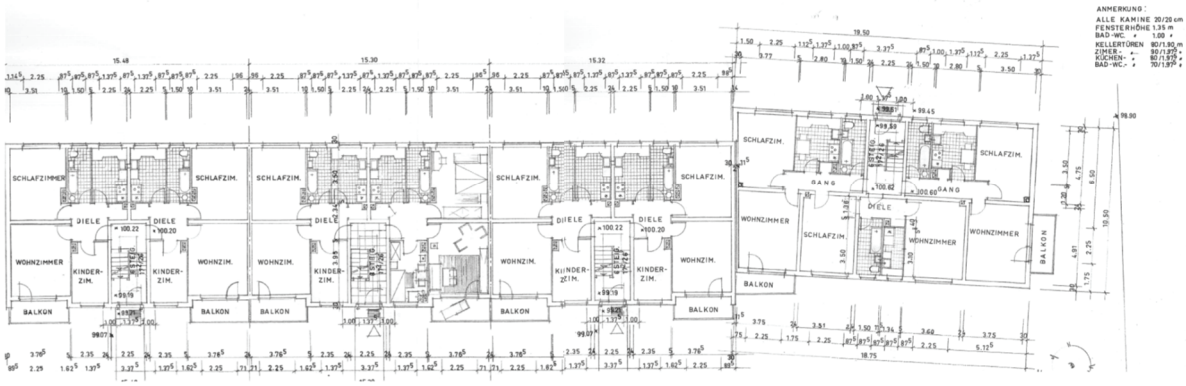


Abbildung 52: Ostzeile Regelgrundriss; [ABG]

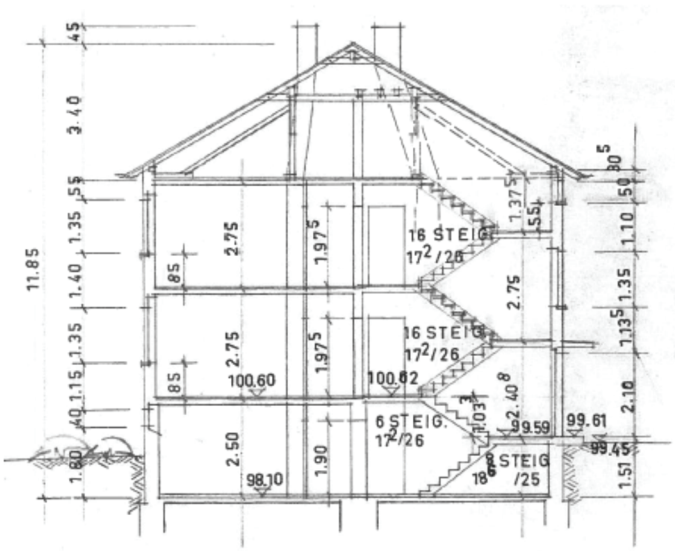


Abbildung 53: Ostzeile Schnitt; [ABG]

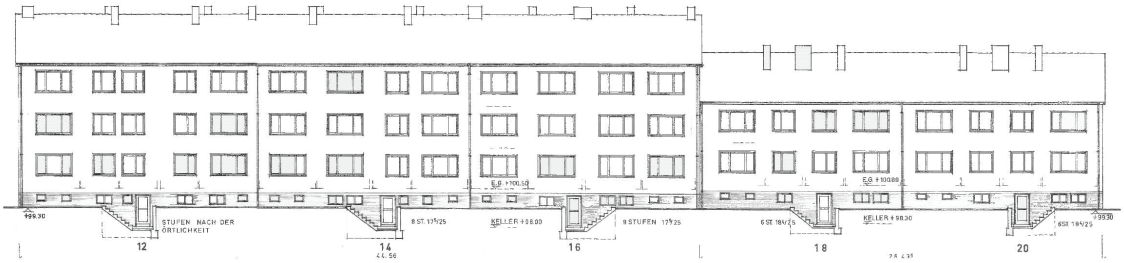


Abbildung 54: Westzeile Ansicht West; [ABG]

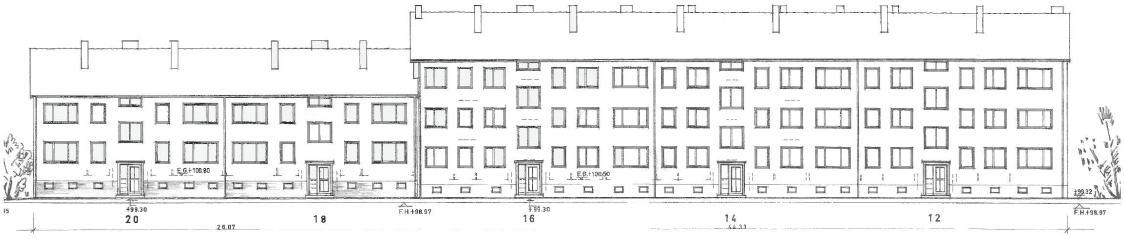


Abbildung 55: Westzeile Ansicht Ost; [ABG]

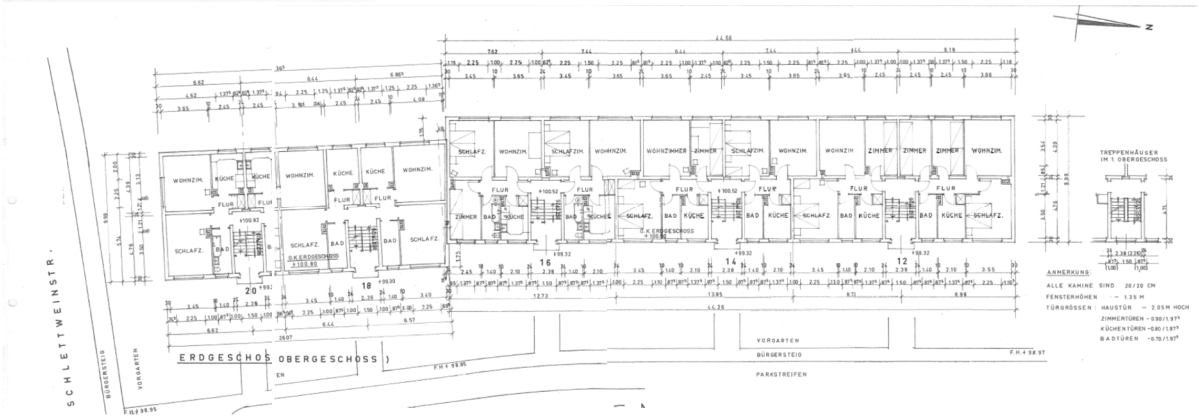


Abbildung 56: Westzeile Regelgrundriss; [ABG]

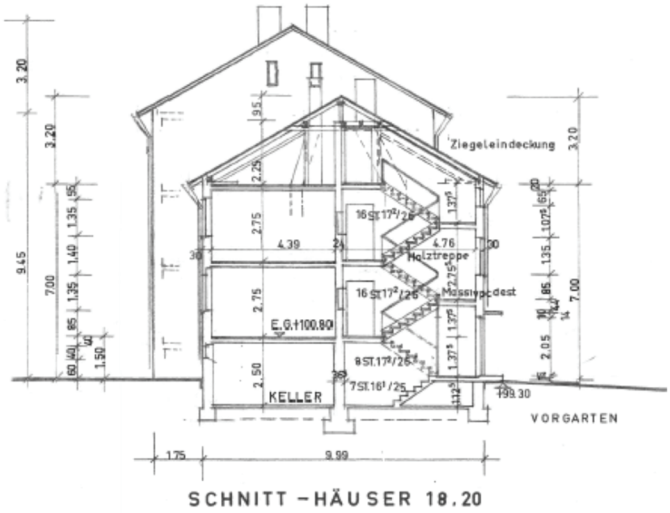


Abbildung 57: Westzeile Schnitt; [ABG]

Kriterien	Zeile West	Zeile Ost
Zustand während der Sanierung	unbewohnt	bewohnt
Fassaden- / Flächenänderungen	Ja, Anbau Loggien Ausbau von Dachgeschoss-wohnungen durch Anhebung der Dachneigung	Ja, Ausbau von Dachgeschoss-wohnungen durch Anhebung der Dachneigung
Ausstattung und Lage der Sanitärräume	Innenliegendes Bad (DU, BA, WC, WB) sowie zusätzliches WC	Außenliegendes Bad mit Fenster (DU, WC, WB)
Wärmeerzeugung	zentral über WP	zentral über WP
Übergabe Heizsystem	Fußbodenheizung	Heizkörper
Trinkwassererzeugung	zentral	dezentral über Wärmepumpe
Standard	EnEV 2016, KfW 40	EnEV 2014, KfW 75
PV Anordnung	Dachflächen West/Ost sowie zusätzlich Süd Fassade (organische Photovoltaik)	Dachflächen West/Ost

Tabelle 8: Übersicht über die Sanierungsvarianten und Standards; [IGS]

4.3 Gestalterische Grundsätze der Sanierung

Der bauzeitliche Duktus der Fassaden der 50er Jahre bleibt durch eine behutsame Modernisierung erhalten. Mit Aufbringung der Wärmedämmung und Erneuerung der Fenster erhält die Fassade eine neue, freundliche und hellere Farbe in feinerem Putz. Die Dachneigung ist geringfügig angepasst, um die Nutzbarkeit für den Dachausbau zu verbessern. Als Synergie erhöht sich die Fläche und der Ertrag aus der dachintegrierten PV-Anlage. Diese ist nahezu flächenbündig in die Dachhaut integriert und weckt keine störenden Assoziationen. Sie fügt sich in das Gesamtbild ein. Die ehemaligen Gauben des ungenutzten Dachgeschosses sind zurückgebaut, die Dachfläche dadurch für moderne, zeitgemäße Wohnungszuschnitte nutzbar. Zudem fällt die Verschattung der Photovoltaik (PV) durch die Gauben weg.

Abbildung 58: Dachfläche West, Schlettweinstraße 45; [IGS]

Abbildung 59: Dachfläche Ost, Schlettweinstraße 45; [IGS]

Insbesondere die Erweiterungsbauten der Westzeile beleben das zuvor monoton wirkende Fassadenbild. Die vor dem langgestreckten Baukörper gestellten Kuben sind mit Faserzementplatten in gleicher Farbigkeit wie der Putz des Hauptbaukörpers versehen. Durch das Fugenbild und die Exaktheit der werkseitig hergestellten Fassadenplatten, setzen sich die Erweiterungsbauten vom verputzen Bestand ohne kontrastreicher Farbigkeit ab. Der historische Baukörper ist in seiner Länge dadurch gebrochen. Die vergrößerten Fensterflächen verbessern die Tageslichtversorgung der Wohnungen. Hiermit, und mit der Ergänzung einer Loggia oder Terrasse für jede Wohnung, ist der direkte Außenbezug und damit die Wohn- und Aufenthaltsqualität deutlich erhöht.

Funktionalität

Nach der Sanierung besteht die Gebäudezeile Nebeniusstraße 12 – 20 aus 27 Wohneinheiten (WE) verschiedener Größe und Zuschnitte (Zwei- bis Fünfzimmerwohnungen). Dies trägt zu einer sozialen Vielfalt der Mieterschaft bei.

Die Wohnungen erhalten je ein weiteres Zimmer und einen Außenbezug durch die Anbauten. Durch die maßvolle Vergrößerung entsteht jeweils ein großzügiger Raum zur Nutzung als zeitgemäße, offene Wohnküche und Gemeinschaftsraum. Der zusätzlich vorgelagerte Balkon wertet den Wohnraum auf. Außer dieser Wohnraumergänzung behalten die Wohnungen die für die Bauzeit typische Kompaktheit und Flächeneffizienz.

Durch den Umbau verfügen die Wohnungen über nutzungsneutrale Zimmer, mit Ausnahme der großzügigen Wohnküche. Große Wohnungen mit mehr als drei Zimmern haben i. d. R. zusätzlich zum Bad ein Gäste-WC inkl. Dusche. Dies entspricht den heutigen Nutzungsbedürfnissen.

An zentraler Stelle und ebenerdig befinden sich gut erreichbar nun Fahrrad- und Kinderwagenräume. Im UG sind zentrale Wasch- und Trockenräume vorhanden, in denen sich mietereigene Waschmaschinen befinden. Dadurch ist in den Wohnungen mehr Platz und der Schall- und Feuchteeintrag ist gemindert.

4.4 Vergleich Sanierung mit und ohne Leerzug

Die Untersuchung zeigt, welche Unterschiede sich bei der Sanierung im bewohnten Zustand gegenüber einem leeren Gebäude ergeben. Ebenso werden exemplarisch Hemmnisse benannt.

Während die Gebäudegruppe 1 in der Nebeniusstraße 11 – 15 sowie Schlettweinstraße 45 aufgrund ihrer Lage, Grundriss- und Nachfragestruktur im Wesentlichen unverändert ist, hat sich die Wohnzeile in der Nebeniusstraße 12 – 20 umfangreich verändert und wegen der knappen Wohnungszuschnitte erweitert. Die Sanierung der Gebäudegruppe 1 erfolgt im laufenden Betrieb; die Mieter können in ihrer „gewohnten“ Umgebung bleiben. Das andere Gebäude ist bis zum Start der Totalsanierung leergezogen. Die Mieter erhalten in diesem Falle eine Ankündigung mit einem Vorlauf von 18 Monaten. Darin wird auf die Möglichkeit hingewiesen, innerhalb des Quartiers umzuziehen. Beide Sanierungsstrategien lassen sich hinsichtlich logistischer Anforderungen, sozialer Rahmenbedingungen und erreichbarer energetischer Standards gut vergleichen. Beide Gebäudezeilen erfüllen nach der Sanierung den Effizienzhaus Plus-Standard. In Erweiterung der Bilanzgrenzen nach Energieeinsparverordnung wird der Haushaltsstrom mitbetrachtet und in der Jahresbilanz regenerativ gedeckt. Die Mieter nutzen die regenerativen Erträge aus der Photovoltaik vor Ort. Ein Mieterstrommodell verdeutlicht dies.

Bezogen auf die Maßnahme, ist die Sanierung im bewohnten Zustand aus ökonomischer Sicht mit größerem Aufwand verbunden. Auf der baulichen Seite liegt dies an der komplexeren Koordination der Gewerke sowie der kleinteiligeren und somit kostenintensiveren Arbeitsweise. Zum Beispiel erfolgt der Austausch der Fenster durch den Fensterbauer wohnungsweise. Um den Eingriff für die Bewohner gering zu halten, sind möglichst alle nötigen Arbeiten an einem Tag durchzuführen. In der unbewohnten Westzeile sind Abstimmungen mit Mietern nicht notwendig. Die alten Fenster sind durch ein Abbruchunternehmen entfernt und die neuen Fenster ohne Abstimmungen mit den Mietern eingebracht. Die Unternehmen entscheiden frei über die für sie effizienteste Vorgehensweise und nehmen ihre Arbeitsplanung entsprechend vor. Dies führt zu einer kürzeren Umsetzungszeit und deutlichen Einsparung an Arbeitszeit. Für den Bereich Abbruch und Entsorgung der Fenster ergibt dies einen Kostenunterschied mit dem Faktor 3.

	bewohnt [Ostzeile]	**Leerzug** [Westzeile]
Vorteile	Kein Umzug der Bewohner Mieteinnahmen weitestgehend ungestört Mit Ausnahme der neu ausgebauten Dachgeschosswohnungen keine Neuvermietung erforderlich Geringere Vandalismusgefahr in der Bauphase Flächeneffizienz der Wohnungen durch kleine Einheiten bleibt erhalten Mietniveau steigt im Gegensatz zu komplett sanierten Immobilien nur moderat	Komplettsanierung möglich Teilweise spezifische und gewerkeweise geringere Baukosten Kürzere Bauzeit in Relation zur Maßnahme Grundrissoptimierung möglich Vergrößerung Wohnflächen durch Anbauten möglich Verbesserung der Tageslichtversorgung und Nutzung passiver Wärmegewinne durch Änderung der Fensterzuschnitte möglich Steigerung der Mieten möglich
Nachteile	Beeinträchtigung Bewohner durch Baulärm Bauarbeiten in Wohnungen, insbesondere in den Bädern erforderlich (Strangsanierung) Komplettsanierung im bewohnten Zustand nicht machbar, Elektroversorgung kann nur an der Unterverteilung erneuert werden. Optimierung Grundriss nicht möglich Höherer Aufwand für ausführende Firmen Höhere Planungs- und Baukosten Längere Bauzeit Verzögerungen im Bauablauf durch fehlende Zugänglichkeit der individuellen Mietflächen mögl. Mietminderungen nicht ausgeschlossen	Langer, bis zu 24-monatiger Vorlauf zwecks Mieterinformation Wohnungsleerstand durch zeitversetzten Auszug mit längerem Mietausfall Mietausfälle während der Bauzeit Laufenden Kosten stehen keine Einnahmen gegenüber Wohnungssuche und Umzug der Mieter Aufwand für Neuvermietung (vor dem Hintergrund der aktuellen Wohnungsmarktsituation unkritisch) Weniger Suffizienz durch größere Wohnungsgrundrisse, höherer Wohnflächenanteil pro Nutzer

Tabelle 9: Gegenüberstellung Vor- und Nachteile Sanierung im bewohnten bzw. unbewohnten Zustand

Eingriffe in Wohnung ohne Leerzug/bewohnt

Bei der Sanierung im bewohnten Zustand ist der nötige Eingriff innerhalb der Wohnungen auf den Eingangsbereich und das Bad begrenzt. In den übrigen Zimmern sind lediglich neu eingesetzte Fenster im Laibungsbereich angepasst. Für den Zeitraum der Badsanierung ist ein individueller Sanitärcontainer je Wohnung aufgestellt. Die neuen Balkone werden von außen angesetzt. In Ausnahmefällen sind Heizkörper erneuert. Wohnungen ohne Warmwasserheizung sind nicht bewohnt, die Anbindung an das zentrale Heizsystem ist unproblematisch. Heizkörper sind nachgerüstet. In unbewohnten Mieteinheiten ist die Elektroinstallation erneuert.

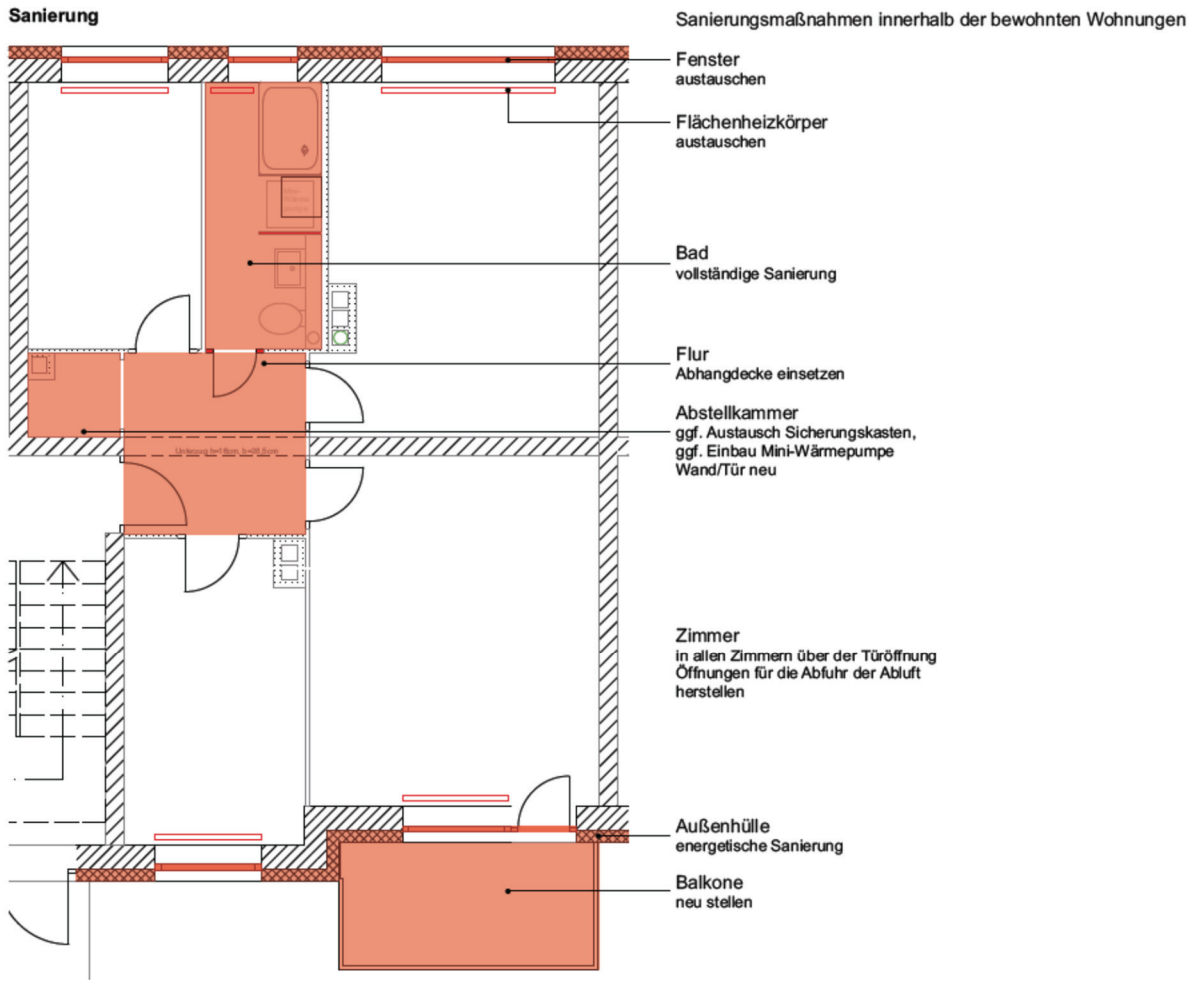


Abbildung 60: Sanierungsmaßnahmen innerhalb der bewohnten Wohneinheiten; [HHS]

Bewertungsmatrix möglicher Sanierungsmaßnahmen im Vergleich zu den Voraussetzungen

	bewohnt [Ostzeile]	**Leerzug** [Westzeile]	**Anmerkungen**
Anlagenkomponenten erneuern			
Einsatz von RLT			
Dezentral (raumweise)	■	■	
Zentral Wohnung / Haus	◪ / □	■ / ■	Bei den eingeschränkten lichten Raumhöhen nur sehr bedingt umsetzbar
Lüftung mit Wärmerückgewinnung	◪	◪	Erhöhter Aufwand aufgrund der Außen- und Fortluftanbindung, unwirtschaftl. hoher Aufwand
SHK / ELT			
Strangsanierung komplett/partiell	■ / ■	■ / ■	Beschränkung durch fehlende Zugänglichkeit der bewohnten Einheiten mgl.
Wärmeerzeugung			
Dezentrale Erneuerung Wohnungsweise	■[2]	□	Ersatz für Gasetagenheizung nur schwer umsetzbar In Zeile West aufgrund von Schornsteinrückbau nicht mehr möglich
Zentrale Erzeugung	■	■	Anschluss im Rahmen der Strangsanierung gut umsetzbar
Zentrale Warmwasserbereitung	◪	■	Im Rahmen einer Strangsanierung möglich Im bewohnten Zustand nicht umgesetzt da Kombination mit Lüftung gewählt
Messdatenerfassung	■	■	Vorrüstung M-Bus fähiger Zähler empfohlen
Gebäudehülle ertüchtigen			
Dach	■	■	
Oberste Geschossdecke	-	-	Durch Dachausbau nicht mehr vorhanden
Fassade	■	■	
Fenster	■	■	
Keller	◪	■	Im bewohnten Zustand nur sehr eingeschränkte Zugänglichkeit
Perimeterdämmung	■	■	
Reduzierung von Wärmebrücken	■	■	bei frühzeitiger Planung gut möglich

			Wirtschaftlichkeit beachten
Anpassung			
Fensterformate ändern / Tageslichtversorgung	◩ bei gleichbleibenden Fensterformaten Verschlechterung Tageslichtversorgung durch größere Wandaufbauten	■	Bei frühzeitiger Berücksichtigung in der Planung kann die Tageslichtversorgung verbessert werden. Putz und Anpassungsarbeiten in der Wohnung lassen sich n. vermeiden
Grundrisse ändern	□	■	
Wohnfläche durch Anbauten erhöhen	◩	■	
Dachgeschossausbau/ Aufstockung	■ Aufstockung mögl., wenn Dachgeschoss leer steht	■	
Balkone ergänzen/erneuern	■	■	Reduzierung von Wärmebrücken durch Rückschneiden durchstoßender Balkonplatten sinnvoll
Qualitätsverbesserungen			
Thermische Behaglichkeit	■	■	
Luftqualität	■	■	Lüftungskonzept unvermeidbar
Hygienische Behaglichkeit	■	■	
Baulicher Schallschutz Trennwände/ Decken	◩/ □	◩/ ◩	Ziel ist das Erreichen des Mindestschallschutzes nach DIN 4109 Bbl. 2 Vorwandinstallationen verbessern die Situation reduzieren aber die Wohnfläche
Brandschutzanpassung	◩	■	Schutzziel ist bei den Maßnahmen zu hinterfragen
CO_2-neutraler/ klimaneutraler Betrieb	■	■	In Abhängigkeit vom Konzept zur Eigenstromnutzung umsetzbar
Senkung Betriebskosten	■	■	

Tabelle 10: Bewertungsmatrix möglicher Sanierungsmaßnahmen; [IGS]

Legende: □ Nicht möglich

◩ Mit erhöhtem Aufwand möglich (Kosten- und Zeitaufwand)

■ möglich

[1] Erhöhter Aufwand, wenn Dachgeschoss/-boden in Nutzung ist

[2] Bei Änderung des Energieträgers ist von erhöhtem Aufwand auszugehen

Die Sanierung der Ostzeile im bewohnten Zustand lässt keine Änderungen an den Grundrissen zu. Die alten Balkone sind aber entfernt und durch neue größere Balkone ersetzt, die thermisch von den Außenwänden getrennt sind. Wärmebrücken sind dadurch beseitigt. Der Außenbezug der Wohnungen ist verbessert.

Ganz anders die Totalsanierung der Westzeile (unter Auszug der Bewohner) mit völlig anderen Optionen, Wohnungen zeitgemäß den Anforderungen und geänderten Bedarfen der Mieter an Wohnungsgrößen und -aufteilungen anzupassen. Zu den Maßnahmen gehören:

- Vergrößerung der Zimmer und in Folge dessen der Wohnung (zu Lasten des Suffizienzgedankens),
- Schaffung flexibler, offener Grundrisse (Wohn- / Essküchen),
- Anpassung der Badgrundrisse,
- Erweiterung des Angebots durch Gäste-WC und zweite Dusche,
- Verbesserung der Möblierbarkeit durch Anpassung der Zimmerzuschnitte und -größen.

Der Anspruch in den 50er Jahren, ein Dach, möglichst ein eigenes, über dem Kopf zu haben, hat sich im Wandel der Zeit verändert. Kostengünstige Immobilien - als Eigentum oder zur Miete - stehen nach wie vor im Vordergrund. Komfortabel und zeitgemäß sollen diese aber sein. Das Thema Energie gerät dabei zunehmend in den Focus: wer heute baut oder mietet, achtet vermehrt auf geringe Energiekosten. Die genutzte Wohnfläche pro Person ist von 22,3 m² im Jahr 1956 auf 46,5 m² im Jahr 2016 gestiegen; dies ist mehr als das Doppelte (Statistisches Bundesamt, 2017). Der Wunsch nach mehr Wohnfläche wird auf Grundlage gesteigerter Realeinkommen möglich. Hinzu kommt ein Anstieg an Einpersonenhaushalten.

Die Ergänzung von Erweiterungsbauten und die Änderung der Wohnungszuschnitte hat die kleinteilige Grundrissstruktur der 50er Jahre durchbrochen. Großzügige Wohn-Essbereiche mit Außenbezug über eine Loggia bzw. Dachterrasse sind nun vorhanden.

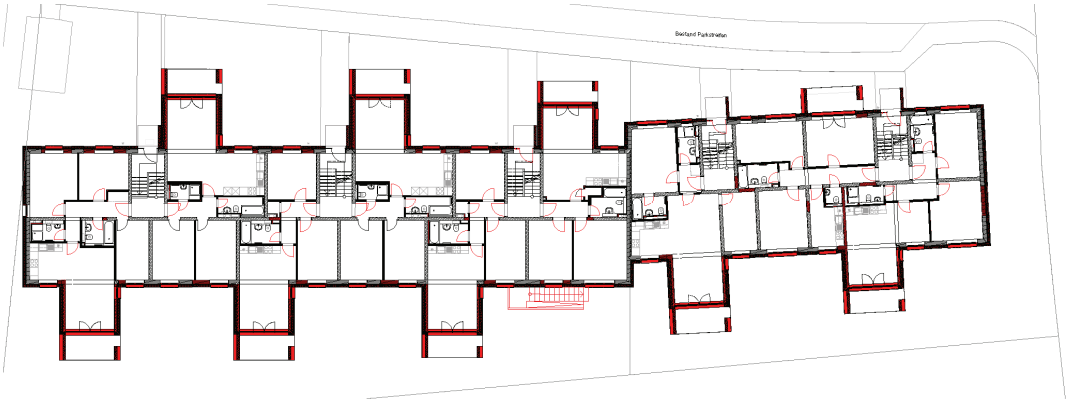


Abbildung 61: Westzeile Anpassung Regelgrundriss; [HHS]

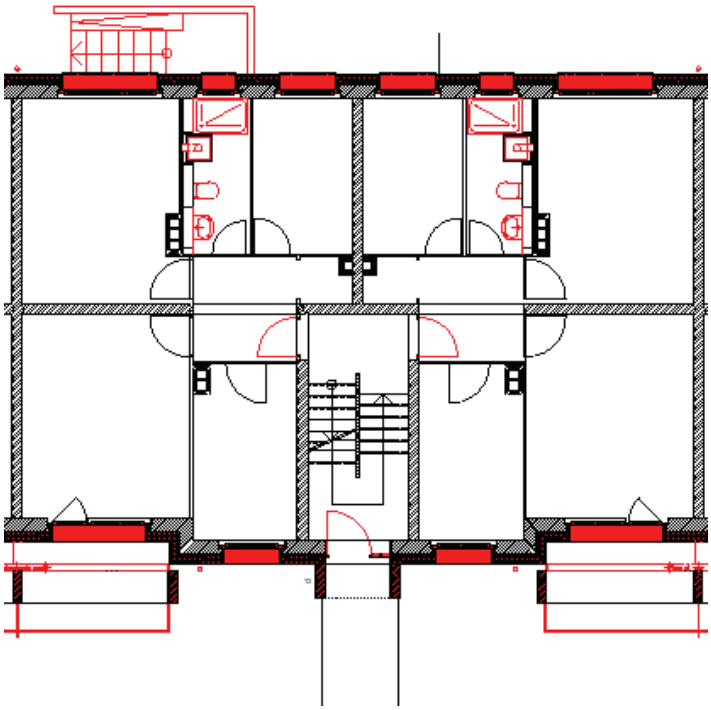


Abbildung 62: Ostzeile Regelgrundriss (Ausschnitt); [HHS]

Insbesondere diese Erweiterungen beleben das zuvor monoton wirkende Fassadenbild. Die Anbauten setzen sich zudem durch einen Wechsel der Materialität vom Bestandsbaukörper ab, die Länge des bauzeitlich seriell wirkenden Baukörpers ist durchbrochen. Wärmedämmung, größere Fensterprofile und Verschattung durch die Anbauten, lassen das Tageslicht nicht wie zuvor in die Wohnung strömen. Abhilfe schaffen vergrößerte Fenster in der Westzeile.

Abbildung 63: Bestandssituation ohne Außenbezug - Westfassade Westzeile; [HHS]

An der Südfassade der Westzeile ist vollflächig eine experimentelle, organische Photovoltaikanlage (OPV) installiert.

Photovoltaik als regenerative erneuerbare Energiequelle ist etabliert, die gestalterischen Möglichkeiten und Potentiale sind aber noch nicht ausgeschöpft. OPV, organische Photovoltaik bietet in diesem Zusammenhang zusätzliche Chancen, die Gebäudehülle als Energiequelle zu erschließen.

OPV verfügt derzeit über einen Modulwirkungsgrad von 5 %. Der rasante Anstieg des Wirkungsgrades auf Zellebene (aktuell 13,2 %) lässt aber vermuten, dass auch auf Modulebene mittelfristig Werte bis 10 % erreicht werden. Pro kW_p installierter Leistung erzeugt die OPV an der Südfassade etwa 650 kWh Strom. Die Anlage wurde im Ideenwettbewerb Klimaschutz 2016 von der Stadt Frankfurt ausgezeichnet (Stadt Frankfurt am Main - Energiereferat, 2016).

Gebäude, die sich vom Verbraucher zum Energieerzeuger entwickeln, überzeugen. Architekturstudenten der TU Braunschweig arbeiten an Stegreifentwürfen, die sich mit den gestalterischen Möglichkeiten der neuen Technologie auseinandersetzen.

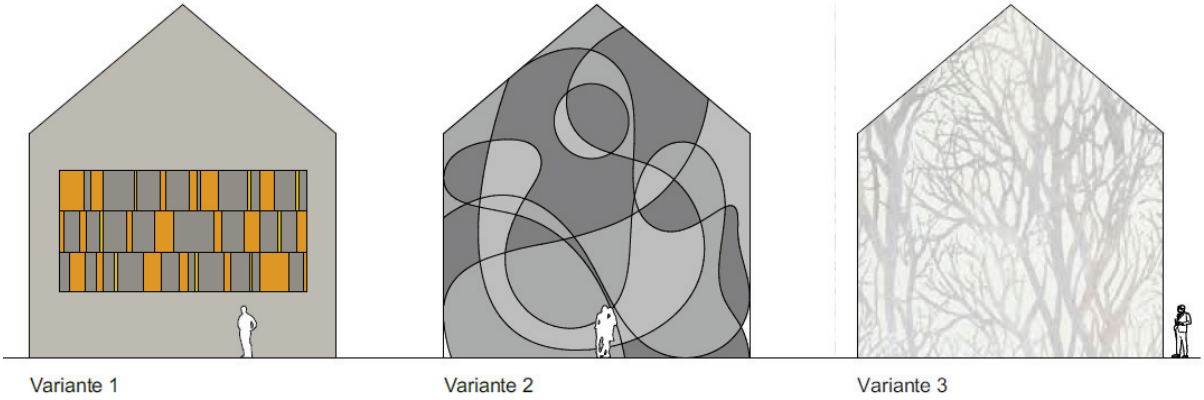


Abbildung 64: Gestaltungsmöglichkeiten mit OPV; [HHS]

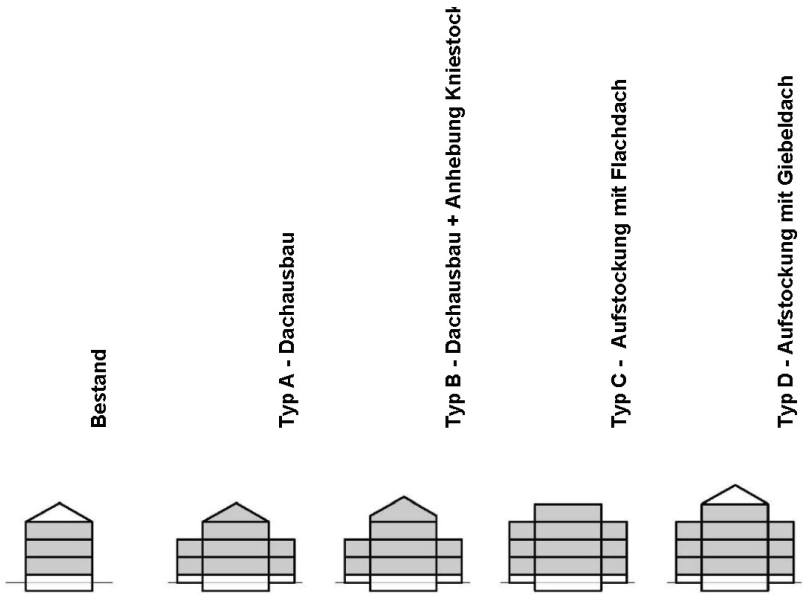
Abbildung 65: Bauliche Umsetzung Ostzeile; [HHS]

Abbildung 66: Bauliche Umsetzung Ostzeile; [HHS]

4.5 Nachverdichtung durch Aufstockung

Die sehr geringe Dichte, die für die Baualtersklasse der 50er Jahre typisch ist, herrscht auch bei den beiden Gebäudezeilen vor. Eine Verdichtung durch Aufstockung solcher Objekte entlastet den angespannten Wohnungsmarkt. Außerdem lassen sich wirtschaftliche Vorteile nutzen. In einer ersten Phase untersucht man Varianten zur Nutzung des nicht als Wohnfläche ausgebauten Dachraums sowie eine mögliche Aufstockung. Vorgeschlagene Anbauten, die eine zeitgemäße Neuordnung der Grundrisse zulassen, werden ebenfalls betrachtet.

Eine Anhebung des Dachstuhls unter Änderung der Dachneigung von 30° auf 40° ist in der Ostzeile im bewohnten Zustand umgesetzt. In der unbewohnten Westzeile ist dies mit der Schaffung von Anbauten kombiniert. Hierdurch vergrößert sich die Wohnfläche in den Gebäuden um rund 30 %. Mit nur einer geringen Anhebung der Traufhöhe um rund 50 cm, ist das aufgestockte Gebäude harmonisch eingebunden in das Bestandsquartier der 50er und 60er Jahre.



		Bestand	Typ A - Dachausbau	Typ B - Dachausbau + Anhebung Kniestock	Typ C - Aufstockung mit Flachdach	Typ D - Aufstockung mit Giebeldach
SUMME	m² WF	**1459**	**2045**	**2165**	**2552**	**2552**
Hiervon Anbauten I inkl. Terrassen und Loggien	m² WF		268	268	268	268
Veränderung des Angebots an Wohnfläche			**40%**	**48%**	**75%**	**75%**
3.OG	m² WF	0	190	267	485	485
2.OG	m² WF	351	485	528	674	674
1.OG	m² WF	554	674	674	696	696
EG	m² WF	554	696	696	696	696
Anzahl WE	Anzahl WE	26	32	33	39	39
Zunahme an Wohneinheiten			**23%**	**27%**	**50%**	**50%**
2 Zi	Anzahl WE	14	8	12	10	10
3 Zi	Anzahl WE	9	14	9	16	16
4 Zi	Anzahl WE	3	8	9	10	10
5 Zi	Anzahl WE		2	3	3	3

Abbildung 67: Darstellung untersuchter Verdichtungs- und Aufstockungsvarianten am Beispiel der Westzeile; [HHS]

4.6 Umsetzung

Während die Gebäudegruppe in der Ostzeile (Nebeniusstraße 11 – 15 sowie Schlettweinstraße 45) aufgrund ihrer Lage, Grundriss- und Nachfragestruktur im Wesentlichen unverändert ist, ist die Westzeile (Nebeniusstraße 12 – 20) umfangreicher verändert und wegen der knappen Wohnungszuschnitte durch Anbauten erweitert. Für die Ostzeile erfolgt die Sanierung im laufenden Betrieb, damit die Bewohner in ihrer „gewohnten" Umgebung verbleiben können. Die Westzeile ist dem gegenüber einer Totalsanierung unterzogen und erfordert einen Leerzug. Dies ermöglicht einen guten Vergleich beider Strategien.

Die wesentlichen Maßnahmen zur Erzielung der gewünschten Qualitäten wie des Effizienzhaus Plus-Standards umfassen folgende:

	Westzeile: Nebeniusstraße 12 – 20	Ostzeile: Nebeniusstraße 11 – 15 und Schlettweinstraße 45
Energetischer Standard	Effizienzhaus Plus Standard	
	Baulicher Wärmeschutz in beiden Varianten identisch	
	Effizienzhaus 70 (geschuldet dem Berechnungs-algorithmus der EnEV)	Effizienzhaus 55
Fensteraufteilung	tageslichtoptimiert / vergrößert	unverändert
Schallschutz	Verbessert auf Basis der DIN 4109 Bbl. 2	Baulicher unverändert / Anlagen-technik durch Neuinstallation verbessert
Grundrisse	geändert, Wohnfläche erweitert	unverändert
Balkone	Erneuerung bzw. Errichtung	
Dachgeschoss	Ausbau neuer Wohneinheiten mit Loggien	
Wärmeversorgung TWW Regelgeschoss	zentral mit Zirkulation	dezentral wohnungsweise mit Abluft-Wärmepumpe
Wärmeversorgung TWW Dachgeschoss		elektrisch über Durchlauferhitzer (Abluftwärmepumpe aufgrund zu kleiner Schüttleistung nicht umsetzbar)
Wärmeversorgung Heizung	zentral	
Wärmeerzeugung	bivalente Anlage aus Sole-Wasser- und Luft-Wasserwärmepumpe Heizstab	Monovalente Sole-Wasser – Wärmepumpe Elektrische Heizstäbe
Wärmequelle / Umweltwärme	7 Erdsonden je 100 m Anlage in Hessen auf max. 30kW therm. Heizleistung Wärmepumpe begrenzt	
Wärmeübergabe	Fußbodenheizung im Trockenestrich	Konvektoren (wie im Bestand) Heizkörper konnten erhalten bleiben
Lüftung Regelgeschoss	Abluftanlage mit dezentralen Ventilatoren je Wohneinheit Nachströmung über Außenluftdurchlässe (ALD)	Kombination von Lüftung und Trinkwarmwasserbereitung Abluftwärmepumpe im Bad Nachströmung über Außenluftdurchlässe (ALD)
Lüftung Dachgeschoss		Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung, Nachströmung über Dachflächen-fenster noch nicht verfügbar

Photovoltaik (BIPV)	Vollflächige Aufdachanlage mit Ost-West-Orientierung im Raster von Dachflächenfenstern und Loggien Eigenstromnutzung für zentrale Wärmeerzeugung Mieterstrommodell Mainova	
	ca. 130 kW_p	99 kW_p
Speicherung	Batteriespeicher mit 20 kWh Kapazität	-

Tabelle 11: Komponenten Gebäude- und Anlagenkonzept im Vergleich von Zeile Ost und Zeile West; [IGS]

Umsetzung Ostzeile

Die neuen wärmegedämmten Dächer werden flächendeckend mit Photovoltaikmodulen belegt, um ein homogenes Erscheinungsbild zu erreichen. Die durch die Solarstrahlung gewonnene Energie dient der Deckung des Nutzerstroms und dem Betrieb der Wärmepumpen zur Beheizung der Wohnungen sowie der Trinkwarmwasserbereitung (Zeile West). Als Quelle wird oberflächennahe Erdwärme durch Erdsonden erschlossen. Durch die Eigenstromnutzung werden lediglich Überschüsse der PV-Produktion in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Die hochwärmegedämmte Gebäudehülle lässt gegenüber der Betriebsweise im Bestand eine deutlich geringere Systemtemperatur zu.

Auf Wohnungsebene werden die z. T. seit der Entstehungszeit unveränderten Bäder erneuert. Die kontrollierte Lüftung versorgt die Wohnungen mit Frischluft, reduziert Lüftungswärmeverluste und vermeidet Schimmelbildung. Über Außenluftdurchlässe an den neuen Fenstern der Wohnräume strömt feuchtegeführt Außenluft nach, die in Bad und Küche abgesaugt wird. Die Beheizung der Wohnungen erfolgt über statische Heizfläche, die unverändert geblieben sind. Die Trinkwarmwasserbereitstellung erfolgt dezentral mittels Abluft-Wärmepumpen. Die Anlagenkomponente ermöglicht eine Kombination aus nachträglich realisierter, kontrollierter Wohnraumlüftung ohne Lüftungsrohre, lediglich die Küche wurde über einen Bypass angeschlossen, und der Trinkwarmwasserbereitung. Der Vorteil des Systems liegt in der einfachen dezentralen Installationsmöglichkeit, in diesem Fall im Bad. Für die Warmwasserbereitung nutzt die Wärmepumpe das Wärmepotential der Abluft und beheizt einen kleinen Speicher. Bei Spitzenzapfungen kann ein Heizstab einspringen. Das System kommt in den kleinen Wohnungen ohne Zirkulation aus, Hygieneprobleme werden aufgrund des geringen Speichervolumens vermieden. Messungen zur Beprobung auf Legionellen, wie ansonsten gefordert entfallen.

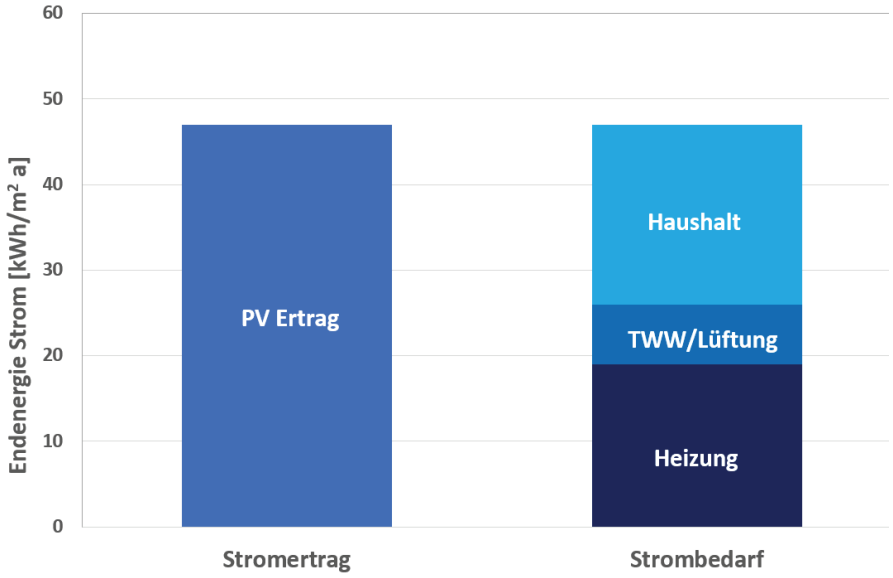


Abbildung 68: Endenergiebilanz Strom spezifisch in kWh/m²a | Zeile Ost; [energydesign braunschweig]

Die folgende Abbildung zeigt schematisch das Energiekonzept für die Zeile Ost. Umgesetzt wurde es als KfW Effizienzhaus 55 . Wärmebrücken wurden für den Nachweis detailliert berechnet.

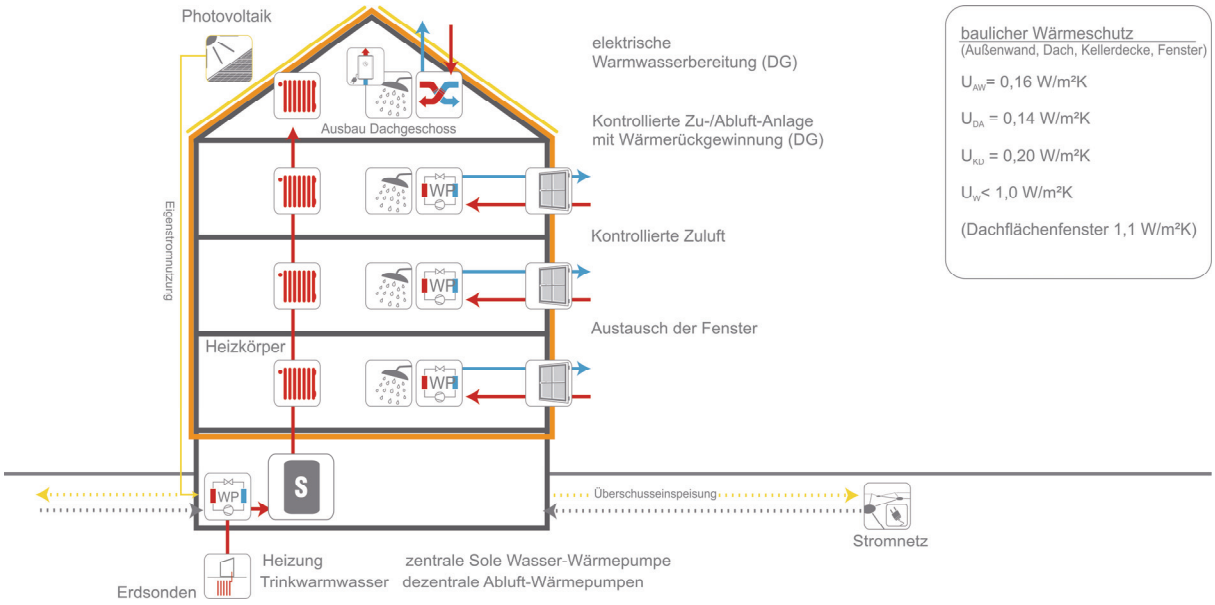


Abbildung 69: Energiekonzept schematisch mit gefordertem baulichen Wärmeschutz, Zeile Ost; [IGS]

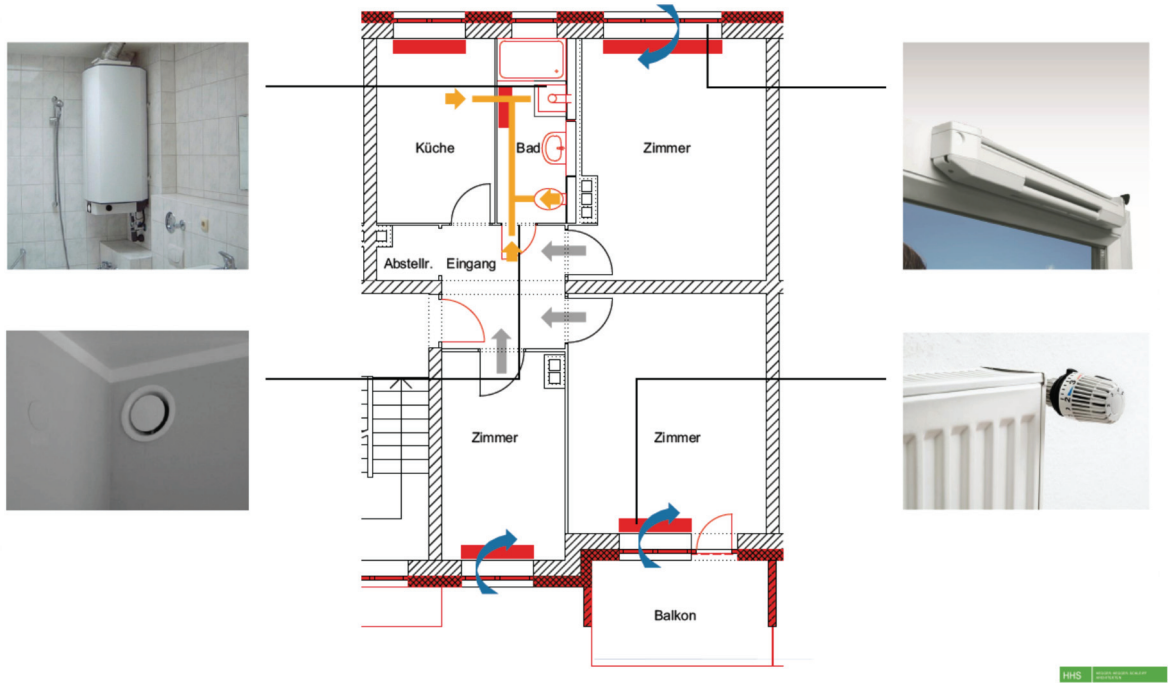


Abbildung 70: Konzept auf Wohnungsebene, Zeile Ost; [HHS, IGS]

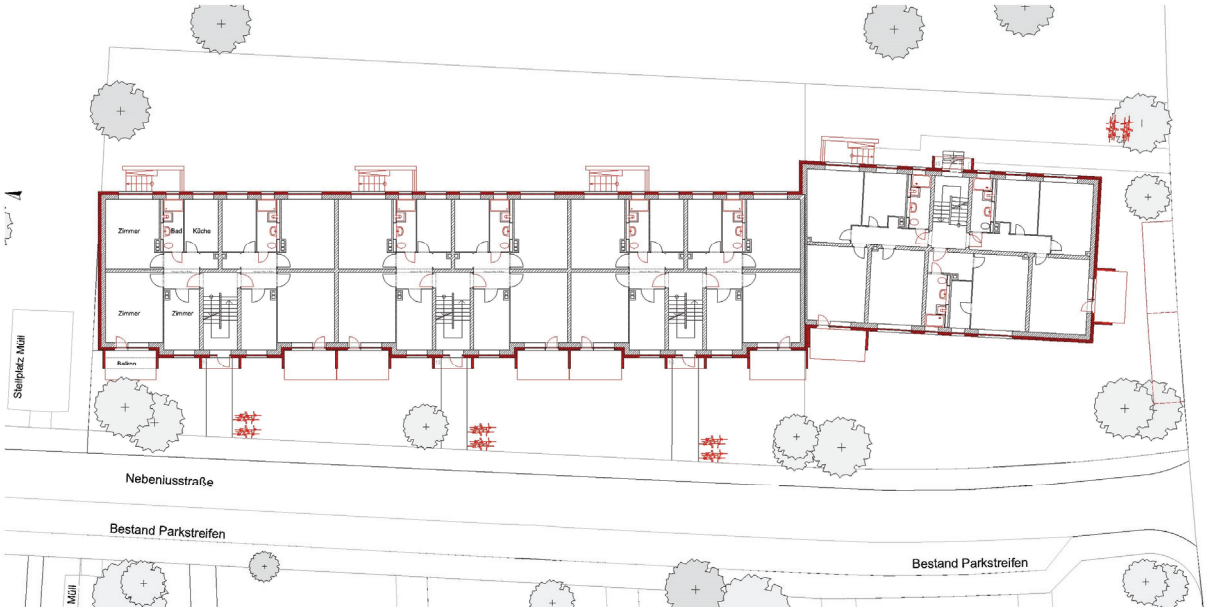


Abbildung 71: Ostzeile Regelgrundriss; [HHS]

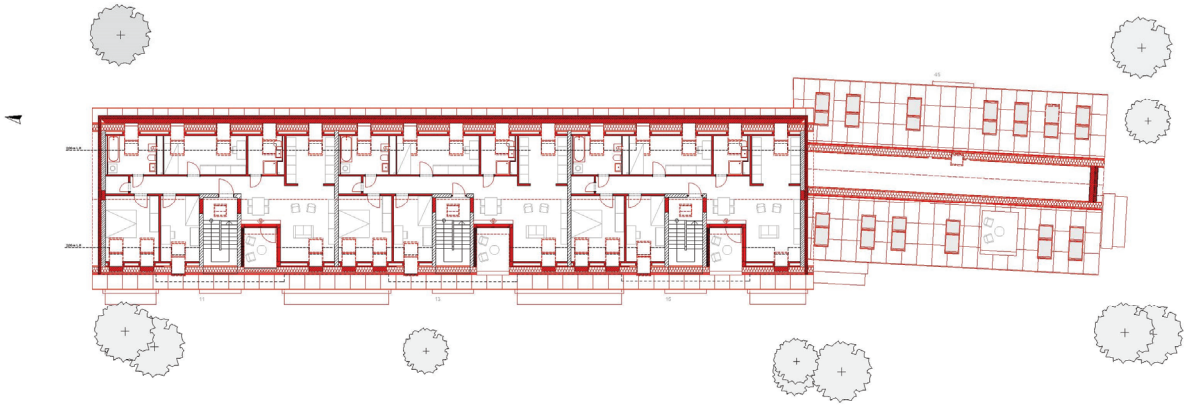


Abbildung 72: Ostzeile Grundriss Dachgeschoss; [HHS]

Abbildung 73: Ostzeile Ansicht Westfassade; [HHS]

Abbildung 74: Ostzeile Ansicht Westfassade; [HHS]

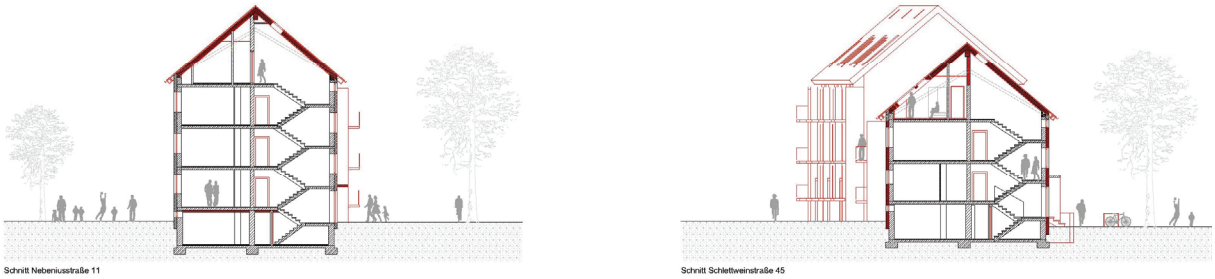


Abbildung 75: Ostzeile Schnitte; [HHS]

Umsetzung Westzeile

Der aus der Sonne gewonnene Strom dient der Versorgung des Hauses und dem Betrieb der Wärmepumpen zur Beheizung der Wohnungen. Die Fenster werden erneuert, die Fassaden gedämmt. Der Leerzug ermöglichte den Einbau von Fußbodenheizungen und damit die Umstellung auf ein Niedertemperaturheizsystem. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht zu den umgesetzten Qualitäten der Gebäudehülle.

	Bestand	Variante E+
Anforderung	[-]	**Neubauniveau > minus 15 %**
Außenwände	1,09 W/m²K	0,15 W/m²K 20cm WLG035
Dächer	-	0,14 W/m²K 24cm WLG032
Oberste Geschossdecke	0,80 W/m²K	-
Fenster	2,60 W/m²K	0,93 W/m²K 3-fach WSV
Kellerdecke	0,80 W/m²K	0,21 W/m²K 11cm WLG032
Wärmebrücken	[-]	pauschal 0,043 W/m²K
$Q_{P\ (Primärenergiebedarf)}$	237 kWh/(m²a)	20,60 kWh/(m²a)
$Q_{P\ (Anforderung)}$ Neubau		42,4 kWh/(m²a)
$H'_{T\ (Transmissionswärmeverluste)}$		0,35 W/m²K
$H'_{T\ (Referenz)}$ Neubau		0,46 W/m²K

Tabelle 12: Qualitäten baulicher Wärmeschutz Zeile West | Förderstandard nach KfW Effizienzhaus 70; [IGS]

Die folgende Abbildung zeigt schematisch das Energiekonzept für die Zeile West. Umgesetzt wird der Effizienzhausstand KfW 70. Wärmebrücken wurden für den Nachweis detailliert berechnet. Bei gleicher Qualität der Gebäudehülle wie in Zeile ist die durch die Anbauten geringere Kompaktheit entscheidend für den „abweichenden“ Standard. Eine Anpassung der Dämmstoffstärken wäre wirtschaftlich nicht vertretbar gewesen. Der Heizwärmebedarf ist auf vergleichbarem Niveau, sodass die ausgeglichene Jahresbilanz dennoch erreicht wird. Gegenüber der Zeile Ost ist eine höhere Effizienz der Anlagetechnik möglich, da eine flächendeckende Fußbodenheizung zum Einsatz kommt. Die Systemtemperaturen sind entsprechend geringer.

Zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme von Zeile Ost waren die rechtlichen Randbedingungen so, dass die Leistung der PV Anlage auf < 100 kW_P begrenzt war, um eine Eigenvermarktung zu umgehen. Die mögliche installierte Leistung erreicht bei Vollbelegung der Dachflächen 99 kW_p. Zeile West hat einen Hauseingang mehr, das Gebäude ist entsprechend länger. Auf der ost-/ westorientierten Dachfläche werden annähernd 130 kW_p umgesetzt. Durch die rechtliche Neufassung des Gesetzes zum Mieterstrommodell ist die Leistung als solches kein hinderndes Kriterium mehr. In der Zeile West wird die Mainova die PV-Anlage erreichten und das Mieterstrommodell anbieten. Der Bauherr verpachtet die Dachfläche. Das Konstrukt ermöglicht eine Eigenstromnutzung, lässt den Vermieter aber als Energieerzeuger außen vor.

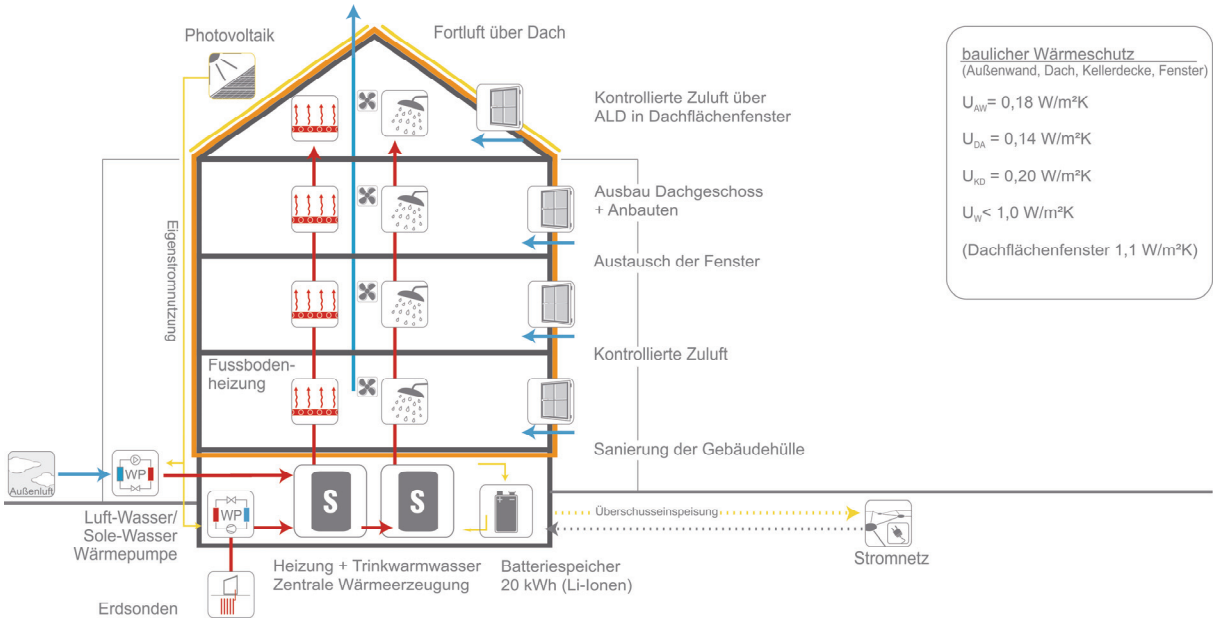


Abbildung 76: Energiekonzept schematisch mit gefordertem baulichen Wärmeschutz, Zeile West; [IGS]

Im Inneren werden die z. T. seit der Entstehungszeit unveränderten Bäder erneuert. In jeder Wohnung wird eine Abluftanlage installiert, die für die notwendige Frischluft sorgt und Schimmelbildung vorbeugt. Über Außenluftdurchlässe an den neuen Fenstern der Wohnräume strömt kontrolliert Außenluft nach, die in Bad und Küche abgesaugt wird.

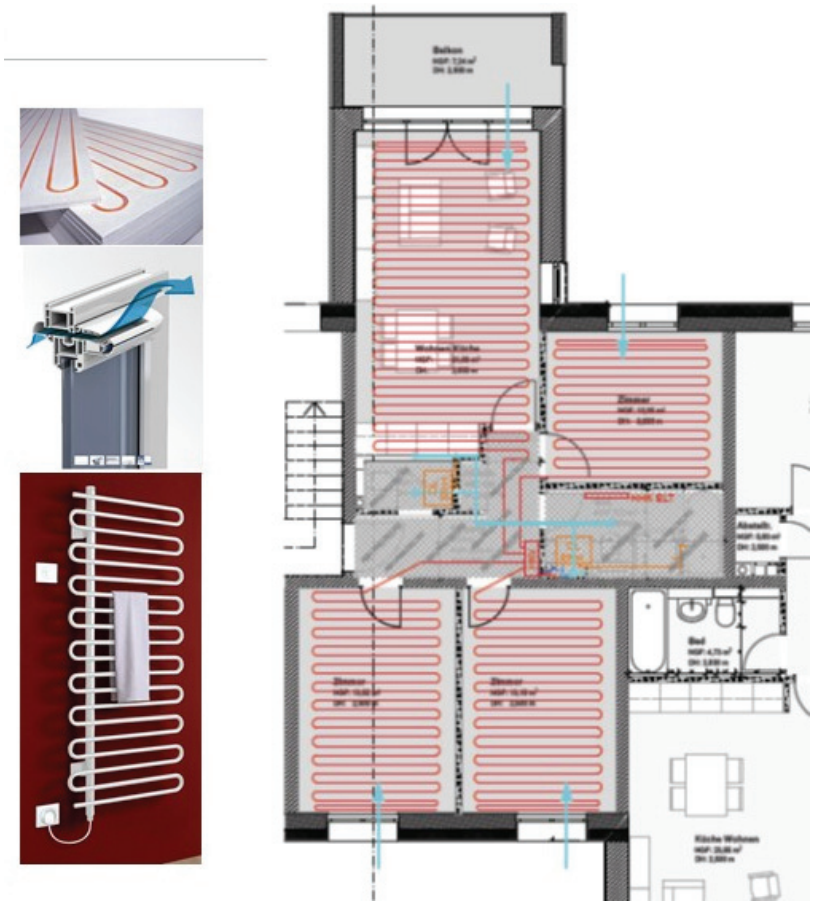


Abbildung 77: Energiekonzept auf Wohnungsebene, Zeile West; [HHS, IGS]

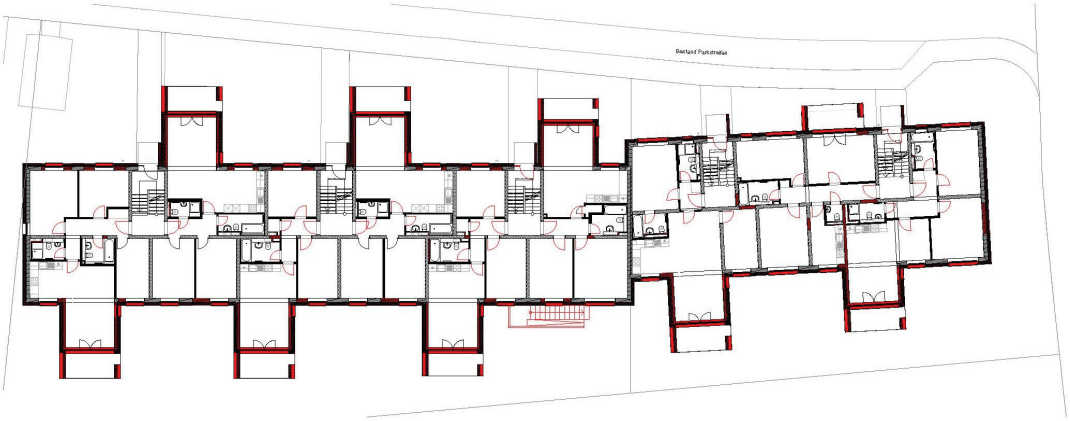


Abbildung 78: Westzeile Regelgrundriss; [HHS]

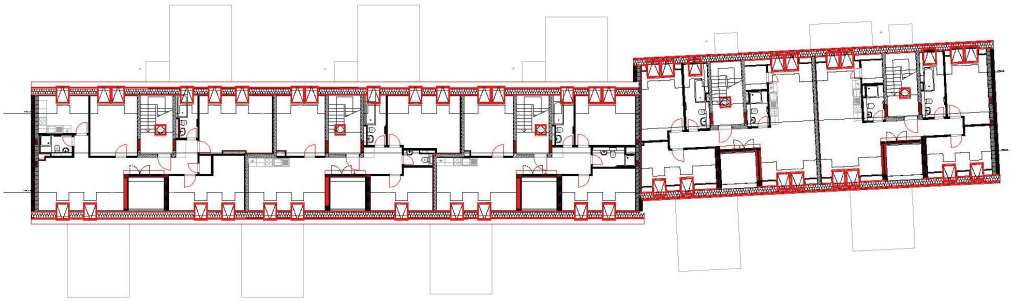


Abbildung 79: Westzeile Grundriss Dachgeschoss; [HHS]

Abbildung 80: Westzeile Ansicht Westfassade; [HHS]

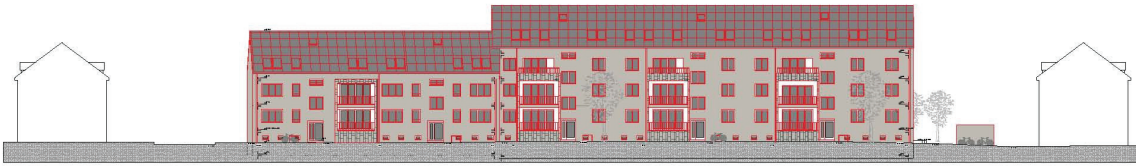


Abbildung 81: Westzeile Ansicht Westfassade; [HHS]

4.7 Aspekte der Nachhaltigkeit, ökologischer und ökonomischer Mehrwert

Die bestehende Bausubstanz wird fast vollständig erhalten und auf das Niveau eines Neubaus nach gültiger EnEV (2016) gebracht. Im Vergleich zu einem Abriss und Neubau ist nur eine geringe Menge an grauer Energie für die Sanierung und Erweiterung einzusetzen. Lediglich der zuvor nicht genutzte Dachstuhl wird erneuert, um eine Photovoltaikanlage tragen zu können, attraktive Wohnungszuschnitte zu ermöglichen und das Erscheinungsbild des Gebäudes aufzufrischen. Hierzu tragen ebenso die Anbauten und Vergrößerung der Fensterflächen bei. Diese Erhöhungen der Wohnfläche sowie die Anzahl der Wohneinheiten stellt sich im Zuge der Sanierung als sehr ökonomische Lösung dar und schafft es, einen Beitrag zur Entlastung des angespannten Wohnungsmarktes in Frankfurt am Main zu leisten. Die durchschnittliche Wohnfläche je Wohneinheit erhöht sich nur gering. Entsprechend wird die Wohnfläche je Bewohner nur leicht steigen und die Effizienzsteigerung des Gesamtgebäudes nicht, durch Zugewinn an Fläche, negativ beeinflussen. Durch das entwickelte Energiekonzept wird im Betrieb die benötigte Energie aus lokal verfügbaren erneuerbaren Quellen gewonnen. Die bisher durch den Betrieb emittierten CO_2-Emissionen werden zukünftig vermieden.

5 ÜBERTRAGBARKEIT

Von den ca. 3 Mio. Mehrfamilienhäusern in Deutschland (mit 3 und mehr Wohnungen) sind rund 1 Mio. aus der Baualtersklasse der 50er bis 60er Jahre. Diese sind überwiegend unsaniert und bieten sich für eine direkte Übertragung der hier entwickelten Sanierungsstrategien an. Allein die Unterschiede von nahezu baugleichen Gebäuden in Zeile Ost und West zeigen, dass bauliche Standards den wirtschaftlichen Rahmen berücksichtigen und trotzdem Plusenergiegebäude realisiert werden. Der Vorteil der Gebäudezeilen im Frankfurter Riederwald ist die Ost-Westorientierung, die gegenüber einer Nord-Südorientierung größere Erträge erwirtschaftet. Gebäude mit Südorientierung weisen in Bezug auf die nutzbare Dachfläche ein niedrigeres Potential auf, was aber die grundsätzliche Sanierungsstrategie und die gezeigten Standardlösungen (kontrollierte Abluft / zentrale bzw. dezentrale Warmwasserbereitung mit Wärmepumpen / Wärmepumpen zur Vermeidung lokaler Emissionen / Eigenstromnutzung mit potentieller Deckung des Haushaltsstrombedarfs bei Mieterstrommodellen) nicht in Frage stellt. Die Gebäudezeilen erreichen eine ausgeglichene Jahresbilanz inkl. des Nutzerstromanteils. Falls die PV Leistung nicht ausreicht, wird trotzdem der Gebäudebetrieb in der Jahresbilanz ausgeglichen. Wärmepumpen vermeiden auch so CO_2-Emissionen vor Ort. Es zeigt sich deutlich, dass die Umsetzung hohe Potentiale bietet, insbesondere dann, wenn die Konzepte auf die lokale Situation angepasst sind. Darüber hinaus wird aber auch deutlich, dass sich die Lücke zu einer 100 %igen Versorgung mit erneuerbarer Energie durch eine grüne Infrastruktur schließt. Sanierungsmaßnahmen dienen in erster Linie zur Verbesserung des Wohnangebots sowie zur Erhöhung der Wohn- und Aufenthaltsqualität. Thermische Behaglichkeit und die Anforderungen an Lufthygiene geben neben den rechtlichen Bedingungen nach EnEV den Rahmen für die Sanierung vor. Durch eine Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes steigt der Wohnkomfort. Die Integration erneuerbarer Energien ist neben der energetischen vor allem auch eine gestalterische Frage, die aber einen wesentlichen Beitrag zur Ressourceneinsparung beiträgt. Der Dogmenwechsel, dass Gebäude sich vom Verbraucher zum Erzeuger entwickeln, ist vollzogen und wirtschaftlich umsetzbar. Selbst die Realisierung von Teilaspekten ist sinnvoll, auch wenn dies unter dem „Standard“ bleibt.

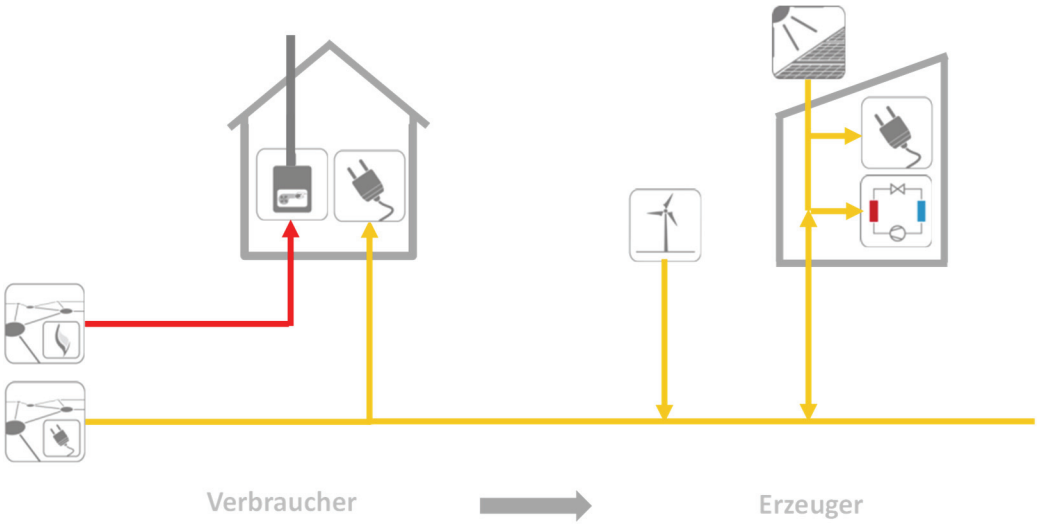


Abbildung 82: Prinzip Plusenergiegebäude; [IGS]

Eine Reduzierung der CO_2-Emissionen in einer Größenordnung von 50 – 90 % ist ein signifikanter Beitrag zur Energiewende. Gegenüber dem Neubau bietet sich vor allem der Vorteil, dass die Gebäudehülle bereits vorhanden ist.

6 ZUSAMMENFASSUNG / KURZBERICHT

Gebäude sind in vielen Ländern der Welt für einen großen Teil des Energieverbrauchs verantwortlich; oft sind es 40 % oder mehr. Entsprechend groß sind die Umweltbelastungen, die aus der Beheizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung und der Elektrizitätsversorgung der Gebäude ausgehen. Während in anderen Lebensbereichen die Kompensation und die Kosten solcher Umweltbeeinträchtigungen dem Verursacher auferlegt wird, bleiben Gebäude und seine Benutzer bislang davon weitgehend ausgenommen.

Die gute Gestaltung energieeffizienter und nachhaltiger Gebäude ist für Architekten und andere Planende die große Herausforderung für die nächsten Jahre. Denn es geht nicht allein um Flächenökonomie und Energieeffizienz. Nur ein von der städtischen Gesellschaft und seinen Nutzern geliebtes Gebäude ist wirklich nachhaltig. Es wird nur dann dauerhaft genutzt. Und nur dann lohnt sich der Aufwand zur Steigerung der Energieeffizienz und zum Einsatz dauerhafter Materialien wirklich, wenn sich Gemeinschaften und Individuen leidenschaftlich mit ihrer gebauten Umwelt identifizieren. Städtebaulich stehen die Gebäude häufig in Arealen, wie das Beispiel Riederwald zeigt, die eine hohe Aufenthaltsqualität und Nutzerakzeptanz zeigen. Vermeintliche Einschränkungen nimmt man in Abschätzung der vorliegenden Qualitäten in Kauf.

Die Perspektiven und Lösungen zeigen, dass die Sanierung der Bestandsgebäude der 50er Jahre ein großes Potential hat und einen entscheidenden Beitrag zum Gelingen der Energiewende leistet. Die Herausforderungen sind in enger Abstimmung aller Beteiligten, der Architekten und Ingenieure, der Immobilienwirtschaft, der Behörden und staatlichen Einrichtungen, der Banken und der Nutzer von Gebäuden zu bewältigen.

Der Gebäudetypus setzt aus energetischer Sicht hervorragend die Ziele der Bundesregierung nach Klimaneutralität um. Kompaktheit, Geschossigkeit und Dachneigung sowie Orientierung bieten gute Möglichkeiten der Integration erneuerbarer Energien. Thermische Belange, wie zum Beispiel die Reduzierung von Wärmebrücken, lösen sich durch die überwiegend gradlinigen Bauten mit überschaubarem Aufwand. Die Herausforderungen liegen bei den Gebäuden im Bereich der Nutzungsflexibilität und der Bauakustik. Die überwiegend sehr schlanken Konstruktionen und Aufbauten sind statisch zumeist ausgereizt und bieten in Bezug auf heutige Anforderungen an den Schallschutz selten die erforderlichen Qualitäten. Mit moderaten Mitteln lassen sich zumindest die gesetzlichen Vorgaben einhalten, allerdings wird das Schallschutz-Niveau eines Neubaus nicht erreicht.

7 SUMMARY

It is well documented: buildings are responsible for a large portion of energy consumption around the world, often 40 % or even more. Operation of buildings which include heating, cooling, ventilation, lighting, and other electricity consumption results in a high environmental impact. Compensation for these environmental costs that result in damage are common in other industries or areas of life, but buildings have been so far largely exempt.

The next years will be a challenge for architects and planners to design energy-efficient and sustainable buildings. A good building looks not only at real estate economics or energy efficiency, but a truly sustainable building is well integrated with its users in an urban society. Only then is a building truly permanent and sustainable. When users passionately identify with their built environment, then the increase of energy-efficiency and the use of durable materials pay off for communities and individuals. Buildings that are integrated in areas with good urban planning can show a high degree of user acceptance and become a fixture in the area. Riederwald is an example of this phenomenon. Restrictions are therefore imposed to take into account and estimate these qualities in buildings.

The shown perspectives and solutions demonstrate that the renovation of existing buildings from the 1950's have a high potential for making a successful contribution to the energy transition. Challenges will need to be addressed in close cooperation with all stakeholders including architects, engineers, the real estate industry, public authorities, government agencies, banks, and building users.

The building type, from an energetic point of view, is excellently suited for implementing the goals of climate neutrality, and by extension the goals of the federal government. Compactness, floor space, and roof pitch provide good opportunities for the integration of renewable energy. Issues such as thermal bridges can be resolved in a straightforward manner. The challenge is in redesigning the building for a flexible use of space and good building acoustics. Slim construction and superstructures do not provide the same quality of sound insulation that are seen today in new construction. The sound insulation requirements laid out in regulations can be met with modest effort, but cannot achieve the levels found in new construction. On the other hand, these buildings can achieve the energy related goals found in new construction.

8 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

Durch Vorträge wurde das Forschungsprojekt der breiten Interessensgemeinschaften vorgestellt. Die Verleihung eines Preises, des *Ideenwettbewerbs „Eneff.-Gebäude-2050“* durch das BMWi schafft eine besonders breite Öffentlichkeit.

Vorträge

07.03.2017	5.Projekttage der Bauforschung, Bonn; Aktiv-Stadthaus im Bestand, Sanierung von Bestandsbauten der 50er/60er Jahre zu klimaneutralen Gebäuden, Johannes Hegger
27.10.2017	Architekturqualität und Klimawandel - Neue Potentiale für die Gestaltung der gebauten Umwelt; AktivPlus e.V. im Deutschen Architekturmuseum in Frankfurt am Main, Gerhard Greiner; Thomas Wilken
07.12.2017	Bundesarchitektenkammer „Besser mit Architekten“ in der Architektenkammer Hessen in Wiesbaden, Johannes Hegger; Thomas Wilken
23.05.2018	Concerted action energy performance of buildings in Frankfurt am Main, Prof. Fisch
12.06.2018	Jahressymposium "Baustelle Zukunft" im Wissenschafts- und Kongresszentrum Darmstadtium in Darmstadt, Johannes Hegger
27.09.2018	Fachkonferenz: Energieeffiziente Sanierung im Gebäudesektor inkl. Photovoltaik im Designmuseum Danmark in Kopenhagen, Johannes Hegger
30.10.2018	2nd German Hawaii Clean Energy Symposium in Honolulu, Johannes Hegger
27.11.2018	1st German-Caribbean Energy Conference in Oranjestad auf Aruba, Johannes Hegger

Preise

06.12.2017	Preis des Ideenwettbewerbs„Eneff.-Gebäude-2050“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi)
23.-24.06.2018	Teilnahme am Tag der Architektur 2018, Architektenkammer Hessen

9 LITERATURVERZEICHNIS

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR): Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Berlin 2017. Abrufbar im Internet. URL: http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/baustoff_gebauededaten/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen_2017-02-24.pdf Stand: 29.05.2017

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Ökobau.dat. 2016. Abrufbar im Internet. URL: http://oekobaudat.de/. Stand: 29.05.2017

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR): eLCA. Abrufbar im Internet. URL: https://www.bauteileditor.de/. Stand 29.05.2017

EnEV. (2014). *Energieeinsparverordnung.*

Hegger, Manfred [u.a.]: Baustoff Atlas. München: Birkhäuser Verlag 2005, S. 98.

Klöpffer, Walter / Grahl, Birgit: Ökobilanz (LCA). Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. Weinheim: WILEY-VCH 2009, S. 30ff.

Stadt Frankfurt am Main - Energiereferat. (2016). *Ideenwettbewerb Klimaschutz 2016.* Frankfurt am Main. Abgerufen am 25. 06 2018 von www.energiereferat.stadt-frankfurt.deFKurzprofil%2520OPV%2520ABG%2520und%2520Partner.pdf&usg=AOvVaw2DhSp-

Statistisches Bundesamt. (2015). *Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung.* Fachserie 3 Reihe 5.1.

Statistisches Bundesamt. (19. 12 2017). *Destatis - Wohnungsbestand in Deutschland*. Von Destatis Statistisches Bundesamt: https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/EinkommenKonsumLebensbedingungen/Wohnen/Tabellen/Wohnungsbestand.html abgerufen

Tichelmann, K. (2015). *Deutschland-Studie 2015 Wohnraumpotentiale durch Aufstockungen.* Darmstadt: Technische Universität Darmstadt.

Westphal, C. (2008). *Dichte und Schrumpfung, Kriterien zur Bestimmung angemessener Dichten in Wohnquartieren schrumpfender Städte aus Sicht der stadttechnischen Infrastruktur.* IÖR Schriften, Band 49.

Zensus. (2011). *„Gebäude und Wohnungen, Ergebnisse des Zensus am 9. Mai 2011, (https://ergebnisse.zensus2011.de), Statistische Ämter des Bundes und der Länder," 2014.*

Zensus 2011, Gebäude- und Wohnungsbestand, Statistisches Ämter des Bundes und der Länder, 2014

10 GLOSSAR

A/V-Verhältnis	Das Verhältnis der ein Gebäude abschließenden Hüllfläche A zum gesamten Gebäudevolumen V. Das AN-Verhältnis stellt die Kompaktheit des Gebäudes dar. Ein A/V-Wert von 1,00 bedeutet, dass jedem Kubikmeter Volumen 1 Quadratmeter Hüllfläche gegenübersteht.
Amortisationszeit [a]	Amortisationszeit ist der Zeitraum der vergehen muss, bis eine getätigte Investition sich durch Einsparungen im Betrieb refinanziert hat.
Arbeitszahl	Die Arbeitszahl (oder Jahresarbeitszahl/J beschreibt die Energieeffizienz von Wärmepumpen. Dividiert man die Wärmeabgabe durch die aufgewendete elektrische Energie, ergibt sich die Jahresarbeitszahl. Sie gibt somit das Verhältnis von Ertrag und Aufwand, also den Wirkungsgrad an.
Endenergie [kWh]	Jede Umwandlung und jeder Transport von Energie geschieht unter Verlusten. Endenergie bezeichnet die Energiemenge inklusive der Anlagen- und Verteilungsverluste oder eben die an die Hausgrenze gelieferte Menge eines Energieträgers vor der Umwandlung.
Energie [J]/[Wh]	Energie ist eine physikalische Zustandsgröße und beschreibt die in einem vorher zu definierenden System gespeicherte Arbeit beziehungsweise die Fähigkeit eben dieses Systems, Arbeit zu verrichten. Gemessen wird Energie im Allgemeinen in Joule [J] oder Wattstunden [Wh].
Energiebedarf [kWh/m²a]	Der Energiebedarf eines Gebäudes ist in Bezug auf die Erstellung eines Energieausweises oder EnEV-Nachweises der unter Normbedingungen berechnete Wert, wie viel Endenergie ein Gebäude benötigt. Er dient dem Vergleich des Dämmstandards und der Anlagentechnik von Gebäuden.
Energiebilanz	Summe aller Energiegewinne und -verluste eines Gebäudes.
Energieeffizienz	Energieeffizienz ist die Bewertung der energetischen Qualität von Gebäuden durch den Vergleich der Energiebedarfskennwerte mit Referenzwerten (z. B. die Anforderungen der EnEV) oder der Energieverbrauchskennwerte mit Vergleichswerten (zum Beispiel Mittelwert der Gebäude gleicher Nutzung).

Energieeinsparverordnung (EnEV)	Verordnung zur Energieeinsparung von beheizten Gebäuden. Die Hauptanforderungsgröße der EnEV ist der Jahresprimärenergiebedarf Qp in Abhängigkeit von der Kompaktheit A/V des Gebäudes. Die Erweiterung des bisherigen Bilanzierungsrahmens erfolgt durch die Zusammenführung von Heizungsanlagenverordnung und Wärmeschutzverordnung.
Energieverbrauch [kWh/a]	Der Energieverbrauch ist eine gemessene Größe, die den realen Verbrauch eines Gebäudes angibt.
Erneuerbare Energien	Erneuerbare Energien sind Energien aus Quellen, die nicht im Laufe der Existenz der Menschheit verbraucht werden. Zu ihnen gehören die Solarenergie in Form von thermischen Kollektoren, Photovoltaik und Tageslichtbeleuchtung sowie Wind-, Wasser und Bioenergie.
EU-Gebäuderichtlinie 2010/31/EU (EPBD)	Vor dem Hintergrund eines 40-prozentigen Gesamtenergiegebrauchs für den Gebäudesektor in der EU und den Verpflichtungen aus dem Kyoto-Protokoll der Vereinten Nationen über Klimaänderungen entstand auf europäischer Ebene die EU-Gebäuderichtlinie zum Erreichen der gesteckten Ziele. Die EU-Gebäuderichtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD 2010, European Directive Energy Performance of Buildings) ist die Novellierung der EU-Gebäuderichtline 2002/91/EG, herausgegeben durch das Europäische Parlament.
Eutrophierungspotenzial (EP)	Eutrophierung oder Überdüngung bezeichnet den übermäßigen Eintrag von Nährstoffen, hauptsächlich Stickstoffe und Phosphor, in ein Ökosystem. Folgen sind Veränderungen der Artenvielfalt durch ein übermäßiges Wachstum von Biomasse in terrestrischen und aquatischen Ökosystemen. In Gewässern führt ein erhöhtes Algenwachstum zu erhöhtem Sauerstoffverbrauch und kann ein „Umkippen“ des Gewässers verursachen. Belastungen mit hohen Stickstoffkonzentrationen können außerdem die Trinkwasserqualität von Oberflächengewässern beeinträchtigen. Das Überdüngungspotenzial fasst Substanzen im Vergleich zur Wirkung von Phosphat (PO43) -Äquivalent zusammen (vgl. Guinée 2004 S.82).

Fossile Energieträger	Fossile Energie entstammt Energieträgern, deren Energiegehalt vor langer Zeit in eine konzentrierte Form überführt wurde und sich nach menschlichen Zeitmaßstäben nicht erneuert. Fossile Energieträger sind durch biologische und physikalische Vorgänge wie Veränderungen des Erdinneren und der Erdoberfläche über große Zeiträume natürlich entstanden. Erdgas, Erdöl, Braun- und Steinkohle basieren auf organischen Kohlenstoffverbindungen. Bei der Verbrennung wird daher nicht nur Energie in Form von Wärme frei, je nach Zusammensetzung und Reinheit des fossilen Brennstoffs werden weitere Verbrennungsprodukte wie Kohlendioxid, Stickoxide, Ruß sowie andere chemische Verbindungen freigesetzt.
Graue Energie	Die graue Energie bezeichnet die Energiemenge, die zur Her- und Bereitstellung eines Produkts oder einer Dienstleistung direkt und indirekt aufgewendet werden muss. Sie bezieht sich auf einen spezifischen Produktions- und Bereitstellungsort. Bei der grauen Energie wird definitionsgemäß nach erneuerbarer und nicht erneuerbarer Energie unterschieden.
Heizenergiebedarf [kWh/m²a]	Nach Definition der Energieeinsparverordnung ist der Jahres-Heizenergiebedarf Q diejenige Energiemenge, die einem Gebäude nach dem EnEV-Berechnungsverfahren zum Zwecke der Beheizung, Lüftung und Warmwasserbereitung jährlich zugeführt werden muss. Er wird in kWh/(m²a) beziehungsweise in kWh/(m³a) angegeben.
Jahresarbeitszahl	Das Verhältnis der über ein Jahr bereitgestellten Wärme in kWh zu dem für den Antrieb des Verdichters, für Hilfsaggregate und für die Erschließung der Wärmequellen eingesetzten Stroms in kWh. Je höher die Jahresarbeitszahl, umso geringer ist der energetische Aufwand für die Nutzung der Umweltenergie und umso wirtschaftlicher ist der Betrieb der Wärmepumpe (siehe auch Arbeitszahl).
Jahresnutzungsgrad	Der Jahresnutzungsgrad gibt an, wie stark eine Heizanlage ausgelastet ist.
Jahres-Heizenergiebedarf [kWh/m²a]	Der Jahres-Heizenergiebedarf ist die Menge an Energie, die dem Gebäude zur Beheizung und zur Bereitstellung von warmem Wasser zugeführt werden muss. Dabei werden auch die Verluste, die durch die Heizanlagentechnik entstehen, beachtet.

Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/m²a]	Der Jahres-Heizwärmebedarf ist die Menge an Wärme, die jährlich zur Beheizung des gesamten Gebäudes (ohne Betrachtung der Wärmemenge für die Warmwasserbereitstellung) benötigt wird.
Jahres-Primärenergiebedarf [kWh/a]	Der Jahres-Primärenergiebedarf Qp [kWh/a] ist die Menge an Primärenergie, die im Laufe eines Jahres zum Heizen, Lüften und zur Bereitstellung von Warmwasser benötigt wird. Es werden alle Energiegewinne und -verluste betrachtet.
Lebenszykluskostenanalyse (LCA)	Das Mittel zur Analyse des Ressourcenverbrauchs und der Umweltauswirkungen eines Materials über den Lebenszyklus ist die Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment - LCA). Sie bilanziert den Lebensweg eines Baustoffs über die Stadien der Rohstoffgewinnung, Herstellung, Verarbeitung; gegebenenfalls werden auch Transport, Nutzung, Nachnutzung und Entsorgung berücksichtigt. Die Bilanzgrenze ist maßgeblich für die Informationen, die aus einer Lebenszyklusanalyse gewonnen werden können.
Leistungszahl (COP)	Die Leistungszahl oder COP (Coefficient of performance) für Wärmepumpen ist der Quotient aus Wärmeabgabe am Verflüssiger in kW zu Stromeinsatz des Kompressorantriebs in kW. Sie gibt somit den Wirkungsgrad an. Mit zunehmender Differenz zwischen den Temperaturniveaus am Verdampfer und Verflüssiger erhöht sich die elektrische Antriebsleistung, da stärker verdichtet werden muss.
Luftwechsel(rate)	Die Luftwechselrate in der Einheit [1/h] ist eine Zahl, welche angibt, wie oft das Raumvolumen/Gebäudevolumen in einer Stunde ausgetauscht wird. Sie spielt bei der Lüftung von Gebäuden eine Rolle.
Mindestluftwechsel	Der Mindestluftwechsel gibt an, welches Zuluftvolumen dem Gebäudenettovolumen hygienisch mindestens zugeführt werden sollte. Der Mindestluftwechsel bei Wohngebäuden ist weiterhin anhand der DIN 1946-6 zu ermitteln. Bei Nichtwohngebäuden wird die DIN EN 13779 zu Rate gezogen.
Nutzenergie [kWh]	Jede Umwandlung und jeder Transport von Energie geschieht unter Verlusten. Nutzenergie bezeichnet die Energiemenge exklusive der Anlagen- und Verteilungsverluste, also die am Ort des Energiebedarfs zur Verfügung stehende Energie, z. B. Raumwärme.

Oberflächennahe Geothermie	Das Erdreich enthält gespeicherte Wärme, die zur Nutzung als Heiz- und Kühlenergie als so genannte Geothermie genutzt werden kann. Die Erdwärme wird hierbei über eine Sole und einen Wärmetauscher einer Wärmepumpe übergeben.
Ökobilanz	Die Ökobilanzierung rechnet auf Basis der Materialaufwendungen die Herstellung und Produktionsprozesse eines Produkts in Auswirkungen (z. B. Emissionen) um.
Ozonabbaupotenzial	Ozonabbau (Ozone Depletion Potential – ODP) bezeichnet die Verringerung der Ozonkonzentration in der Stratosphäre durch anthropogene Emissionen. Dadurch gelangen mehr UV-B Strahlen zur Erdoberfläche. (vgl. Guinée 2004 S.75) Das Ozonabbaupotenzial wird in kg R11 (Trichlorfluormethan) -Äquivalent angegeben. Photochemisches
Oxidantienbildungspotenzial	Das photochemische Oxidantienbildungspotenzial (Photocemical Ozone Creation Potential – POCP) beschreibt die Bildung bestimmter chemischer Verbindungen, z. B. Ozon, unter dem Einfluss von ultravioletter Strahlung (Sonnenlicht) und bestimmten Luftschadstoffen (flüchtige organische Verbindungen, Kohlenmonoxid) unter Beteiligung von Stickstoff. Der Effekt wird auch als „Sommersmog“ bezeichnet. (vgl. Guinée 2004 S.80) Das Ozonbildungspotenzial wird in kg Ethen (C2H4)-Äquivalent angegeben.
Photovoltaik (PV)	Photovoltaik bezeichnet die direkte Umwandlung von Strahlungsenergie- vornehmlich Sonnenenergie - in elektrische Energie, also Strom.
Primärenergie [kWh]	Primärenergie beschreibt die Energie. die mit den natürlich vorkommenden Energieformen oder Energieträgern zur Verfügung steht.

Primärenergiebedarf	Der Primärenergieinhalt eines Baustoffs beschreibt den zur Herstellung, Nutzung und Entsorgung des Materials notwendigen Aufwand an Energieträgern (Ressourcen). Dabei wird zwischen nicht erneuerbarer Primärenergie (PEI n. ern; z. B. Erdöl, Erdgas, Kohle, Uran) und erneuerbarer Primärenergie (PEI ern; z. B. Strom aus Windkraft) unterschieden. (vgl. Hegger 2005, S.99) Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen aus den Emissionen der Materialnutzung resultierenden Umweltwirkungen (Output-bezogen), handelt es sich beim Primärenergieverbrauch um eine Input-bezogene Wirkungskategorie, also eine Umweltwirkung, die durch den Verbrauch von begrenzt vorhandenen Ressourcen (in diesem Fall energetischen Ressourcen) verursacht wird. (vgl. Klöpffer/ Grahl 2009, S. 229ff.)
Primärenergiefaktor	Die durch Gewinnung. Umwandlung und Transport eines Energieträgers entstehenden Verluste werden mittels eines Primärenergiefaktors erfasst und bei einer primärenergetischen Bewertung aufgeschlagen. Die Primärenergiefaktoren sind je nach Bilanzierungssystem und Land unterschiedlich.
Pufferspeicher	Pufferspeicher dienen der kurzzeitigen Zwischenspeicherung von Wärmeenergie zur Überbrückung des ungleichen Tagesgangs des Wärmebedarfs oder der Wärmeerzeugung.
Spezifische Transmissionswärmeverluste	Zur Berechnung des spezifischen Transmissionswärmeverlusts wird die Summe der Wärmedurchgangsverluste aller Bauteile der Gebäudehülle gebildet. Hierfür wird der jeweilige U-Wert des Bauteils mit der am Gebäude verbauten Fläche und dem Temperaturkorrekturfaktor multipliziert. Wird diese Summe wiederum durch die Gesamthüllfläche dividiert, liegt als Ergebnis der durchschnittliche U-Wert des Gebäudes vor. Dieser Wert könnte damit auch als gewichteter U-Wert der gesamten Gebäudehülle bezeichnet werden. Die offizielle Bezeichnung lautet "spezifischer, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogener Transmissionswärmeverlust". Bei Altbauten liegt dieser Wert oft über 1,00 W /m²K. Bei Neubauten muss je nach A/V-Verhältnis ein bestimmter Wert unterschritten werden, dieser liegt im Regelfall zwischen 0,50 und 0,60 W /m²K für frei stehende Häuser und Doppel-/Reihenhäuser.

Suffizienz	Suffizienz bezeichnet ein Maß für den energie- und ressourcenbewussten Konsum, dabei ersetzen einzelne Personen energieintensive Dienstleistungen durch solche mit geringem Energiebedarf und optimieren so ihr Konsumverhalten, zum Beispiel durch Videokonferenzen statt Flugreisen oder die Reduzierung der Wohnfläche pro Person.
Versauerungspotenzial	Der Eintrag saurer Substanzen in Luft, Boden oder Gewässer wird als Versauerung (Acidification Potential – AP) bezeichnet. Hauptverursacher sind Schwefeldioxid (SO2), Stickoxide (NOx) und Ammoniak (NHx). Die Folgen reichen von Waldsterben über Fischsterben in ungepufferten Seen bis hin zu Gebäudeschäden. Das Versauerungspotenzial wird in kg Schwefeldioxid (SO2) -Äquivalent angegeben (vgl. Guinée 2004 S.81).
Wärmedurchgangskoeffizient [W/m²K]	Der Wärmedurchgangskoeffizient ist der U-Wert (früher: k-Wert). Der U-Wert bezeichnet eine stoff- und bauteilspezifische Eigenschaft, er ist das Maß für die Wärmedämmfähigkeit eines Bauteils und gibt an, welche Wärmemenge durch 1 m² Wandfläche strömt, wenn sich die Lufttemperatur auf den beiden Wandseiten um 1 Kelvin unterscheidet. Die Einheit des U-Werts ist demnach W/m²K. Je kleiner der U-Wert, desto niedriger die Wärmeleitung und desto besser der Wärmeschutz. Unterschiedliche Konstruktionen lassen sich so hinsichtlich ihrer Wärmedämmeigenschaften direkt vergleichen. In der EnEV werden Mindest-U-Werte für Außenbauteile von Gebäuden festgesetzt.
Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Die Wärmeleitfähigkeit, auch Wärmeleitzahl, ist eine Stoffeigenschaft. Die Wärmeleitfähigkeit eines Stoffs gibt an, welche Wärmemenge in der Zeit t und bei einem Temperaturunterschied T durch die Fläche A strömt.
Wärmerückgewinnung (WRG)	Wärmerückgewinnung (WRG) ist ein Sammelbegriff für Verfahren zur Wiedernutzbarmachung der thermischen Energie eines den Prozess verlassenden Massenstromes. Grundsätzliches Ziel der Wärmerückgewinnung ist die Minimierung des Primärenergieverbrauchs.

Wärmerückgewinnungsgrad	Der Wärmerückgewinnungsgrad gibt die Effizienz des Wärmetauschers, zum Beispiel in einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung an. Er ist als Wirkungsgrad ein wichtiger Parameter bei der energetischen Betrachtung der gesamten Haustechnik.
Transmissionswärmeverluste Ht´ [kWh/a]	Transmissionswärmeverluste werden auch Wärmedurchgangsverluste genannt. Sie umfassen die Menge an Energie, die durch den Temperaturunterschied von innen nach außen durch die gesamte Gebäudehülle transmittiert. Das Bauteil setzt dabei dem Wärmedurchgang einen Widerstand entgegen. Diese Fähigkeit wird mit dem Wärmedurchgangskoeffizienten oder kurz U-Wert des Bauteils ausgedrückt.
Treibhauspotential (GWP)	Das Treibhauspotential beschreibt die Emission von Gasen, die zum Treibhauseffekt beitragen. Durch sie wird die von der Erde abgestrahlte Infrarotstrahlung reflektiert und teilweise zur Erdoberfläche zurückgestrahlt. Dieser auch natürlich stattfindende Prozess wird durch die Anreicherung dieser Gase in der Troposphäre verstärkt, die für die globale Erwärmung verantwortlich sind. Das Treibhauspotenzial fasst alle Gase im Verhältnis der Wirkung von Kohlendioxid zusammen. Da die Verweildauer der Gase in der Troposphäre je nach Gas unterschiedlich ist, wird der betrachtete Zeithorizont mit angegeben. Dieser ist üblicherweise 100 Jahre, kann aber auch 50 oder 20 Jahre betragen. Das (relative) Treibhauspotenzial (engl.: Global Warming Potential, Greenhouse Warming Potential oder GWP) oder auch (CO_2-Äquivalent (als Vergleichswert dient immer CO_2) gibt an, wie viel eine festgelegte Menge eines Treibhausgases zum Treibhauseffekt beisteuert.
Vorlauftemperatur	Temperatur des warmwasserführenden Rohrs eines Heizkreises.
Wärmebrücken [w/m²K]	Wärmebrücken stellen lokale Schwächungen des Wärmeschutzes des Regelaufbaus eines Bauteils dar und können punktuell, linienförmig oder flächig sein. Man unterscheidet geometrische (Außenecken), konstruktive (Durchdringungen wie eingebundene Balkonkragplatten, Bauteilstöße) und stoffliche Wärmebrücken.

11 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ALD	Außenluftdurchlässe
AP	Versauerungspotential (engl.: Acidification Potential)
BauGB	Baugesetzbuch
BHKW	Blockheizkraftwerk
BGF	Brutto-Grundfläche
BRD	Bundesrepublik Deutschland
COP	Coefficient of performance (Leistungszahl)
DDR	Deutsche Demokratische Republik
EE	Erneuerbare Energien
EEP	Energie-Effizienz-Plan
EnEV	Energieeinsparverordnung
EP	Eutrophierungspotenzial
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GF	Grünfläche
GFZ	Geschossflächenzahl
GWP	Treibhauspotential (engl.: Global Warming Potential)
JAZ	Jahresarbeitszahl
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kWh	Kilowattstunde
LCA	Life Cycle Assessment (Ökobilanz)
LCC	Life Cycle Costing (Lebenszykluskostenrechnung)
m^2	Quadratmeter
m^3	Kubikmeter
MWh	Megawattstunde
NGF	Netto-Grundfläche
OPV	Organische Photovoltaik
PV	Photovoltaik
RLT	Raumlufttechnik
SHK	Sanitär-, Heizung- und Klimatechnik
ST	Solarthermie
WE	Wohneinheit
WF	Wohnfläche
WP	Wärmepumpe
WG	Wohngebäude
WRG	Wärmerückgewinnung
WSVO	Wärmeschutzverordnung

12 BEARBEITUNGSTEAM

HHS PLANER + ARCHITEKTEN AG

Johannes Hegger

IGS Institut für Gebäude- und Solartechnik
Technische Universität Braunschweig

Thomas Wilken

David Sauss

ina Planungsgesellschaft mbH

Prof. Joost Hartwig

13 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Beitrag Wohngebäude zur Energiewende | Relevanz des Bestands; [IGS] 7
Abbildung 2: Zeitstrahl Projektablauf; [HHS] 11
Abbildung 3: Gebäude der 50er Jahre; [HHS] 12
Abbildung 4: Mehrfamilienhäuser der Baujahre 1950 - 1959; [HHS] 13
Abbildung 5: Mehrfamilienhäuser der Baujahre 1960 - 1969; [HHS] 13
Abbildung 6: Stadtraumtypen und ihr Flächenbedarf in ha; [HHS] 15
Abbildung 7: CO_2,äq-Emissionen in Deutschland Entwicklung Bereich Wohngebäude; [IGS] 15
Abbildung 8: $CO_{2,äq}$ - Emissionen im Lebenszyklus (50 Jahre) Neubau Mehrfamilienhaus; [IGS] 16
Abbildung 9: $CO_{2,äq}$ - Emissionen im Lebenszyklus (50 Jahre) Sanierung Mehrfamilienhaus; [IGS] 16
Abbildung 10: Photovoltaik Ertrag und mögliche PV Leistung bei Flachdächern; [IGS] 17
Abbildung 11: Photovoltaik Ertrag und mögliche PV Leistung bei einer Dachneigung von 15°; [IGS] 17
Abbildung 12: Photovoltaik Ertrag und mögliche PV Leistung bei einer Dachneigung von 35°; [IGS] 17
Abbildung 13: Photovoltaik Ertrag und mögliche PV Leistung bei einer Dachneigung von 45°; [IGS] 17
Abbildung 14: Mehrfamilienhäuser der Baujahre bis 1989, nach Anzahl der Wohnungen ab 3 Wohneinheiten; [HHS] 18
Abbildung 15: Abhängigkeit Tageslichtnutzung, Profildicke Fensterrahmen und Wärmedämmung; [HHS] 20
Abbildung 16: Flächenbedarf für ein Mehrfamilienhaus bei 100 % erneuerbarer Deckung in der Jahresbilanz im Vergleich zur zu Verfügung stehenden Dachfläche; [IGS] 20
Abbildung 17: Vergleich von typischen Geschossflächenzahlen; [HHS] 23
Abbildung 18: Energieeffizienter Gebäudebestand; [IGS] 24
Abbildung 19: Gebäudetypologie Mehrfamilienhaus, Bestand und Neubau; [IGS] 25
Abbildung 20: Vereinfachtes Versorgungsschema Variante 1 im Mehrfamilienhaus Neubau; [IGS] 27
Abbildung 21: Vereinfachtes Versorgungsschema Variante 2 im Mehrfamilienhaus Neubau; [IGS] 27
Abbildung 22: Jahresbilanz Endenergie beim Mehrfamilienhaus Neubau (50 und 100 %); [IGS] 28
Abbildung 23: Anteile von Eigenstromnutzung und Netzeinspeisung der PV-Anlagen beim Mehrfamilienhaus (50 und 100 %); [IGS] 28
Abbildung 24: Investitionskosten beim Mehrfamilienhaus (Neubau); [IGS] 29
Abbildung 25: Jahresgesamtkosten beim Mehrfamilienhaus (Neubau); [IGS] 29
Abbildung 26: Senkung der CO_2-Emissionen durch Dekarbonisierung des Netzstroms; [IGS] 30
Abbildung 27: Einflussbereich von Erdsonden; [HLNUG, Hessen] 31
Abbildung 28: Vergleich des Treibhauspotentials (GWP); [ina Planungsgesellschaft] 37
Abbildung 29: Vergleich des Ozonabbaupotentials (ODP); [ina Planungsgesellschaft] 37
Abbildung 30: Vergleich des Ozonbildungspotentials (POCP); [ina Planungsgesellschaft] 38
Abbildung 31: Vergleich des Versauerungspotentials (AP); [ina Planungsgesellschaft] 38
Abbildung 32: Vergleich des Eutrophierungspotentials (EP); [ina Planungsgesellschaft] 39
Abbildung 33: Vergleich des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs; [ina Planungsgesellschaft] 39
Abbildung 34: Vergleich des Treibhauspotentials (GWP) der Gebäudekonstruktion und Aufteilung auf die Kostengruppen der DIN 276; [ina Planungsgesellschaft] 40
Abbildung 35: Vergleich des Versauerungspotentials (AP) der Gebäudekonstruktion und Aufteilung auf die Kostengruppen der DIN 276; [ina Planungsgesellschaft] 41
Abbildung 36: Vergleich des Eutrophierungspotentials (EP) der Gebäudekonstruktion und Aufteilung auf die Kostengruppen der DIN 276; [ina Planungsgesellschaft] 41

Abbildung 37: Vergleich der Investitionskosten von Weiterbetrieb, Modernisierung und Abriss & Neubau; [ina Planungsgesellschaft] 43
Abbildung 38: Vergleich der jährlichen Energiekosten von Weiterbetrieb, Modernisierung und Abriss & Neubau; [ina Planungsgesellschaft] 44
Abbildung 39: Vergleich der Gesamtkosten über 20 Jahre von Weiterbetrieb, Modernisierung und Abriss & Neubau. Dargestellt ist jeweils eine geringe (linke Säule) und eine hohe Preissteigerung (rechte Säule) gemäß den oben beschriebenen angenommenen Preissteigerungen; [ina Planungsgesellschaft] 45
Abbildung 40: Vergleich der Varianten Modernisierung und Abriss & Neubau über 20 Jahre; [ina Planungsgesellschaft] 46
Abbildung 41: Lage in Frankfurt am Main; [HHS] 47
Abbildung 42: Lageplan Bestand; [HHS] 48
Abbildung 43: Luftbild Bestandssituation; [Bing Maps] 48
Abbildung 44: Fensteraufteilungen; [HHS] 49
Abbildung 45: Fensteraufteilung, Sonnenschutz ; [HHS] 49
Abbildung 46: Rollladen, Rollladenkasten integriert; [HHS] 49
Abbildung 47: Holzrollladen, Rollladenkasten integriert; [HHS] 49
Abbildung 48: Vorbau-Rollladen; [HHS] Abbildung 49: Vorbau-Raffstore [HHS] 50
Abbildung 50: Ostzeile Ansicht West; [ABG] 51
Abbildung 51: Ostzeile Ansicht Ost; [ABG] 51
Abbildung 52: Ostzeile Regelgrundriss; [ABG] 51
Abbildung 53: Ostzeile Schnitt; [ABG] 51
Abbildung 54: Westzeile Ansicht West; [ABG] 52
Abbildung 55: Westzeile Ansicht Ost; [ABG] 52
Abbildung 56: Westzeile Regelgrundriss; [ABG] 52
Abbildung 57: Westzeile Schnitt; [ABG] 52
Abbildung 58: Dachfläche West, Schlettweinstraße 45; [IGS] 53
Abbildung 59: Dachfläche Ost, Schlettweinstraße 45; [IGS] 53
Abbildung 60: Sanierungsmaßnahmen innerhalb der bewohnten Wohneinheiten; [HHS] 56
Abbildung 61: Westzeile Anpassung Regelgrundriss; [HHS] 59
Abbildung 62: Ostzeile Regelgrundriss (Ausschnitt); [HHS] 60
Abbildung 63: Bestandssituation ohne Außenbezug - Westfassade Westzeile; [HHS] 60
Abbildung 64: Gestaltungsmöglichkeiten mit OPV; [HHS] 61
Abbildung 65: Bauliche Umsetzung Ostzeile; [HHS] 61
Abbildung 66: Bauliche Umsetzung Ostzeile; [HHS] 62
Abbildung 67: Darstellung untersuchter Verdichtungs- und Aufstockungsvarianten am Beispiel der Westzeile; [HHS] 63
Abbildung 68: Endenergiebilanz Strom spezifisch in kWh/m²a | Zeile Ost; [energydesign braunschweig] 65
Abbildung 69: Energiekonzept schematisch mit gefordertem baulichen Wärmeschutz, Zeile Ost; [IGS] 66
Abbildung 70: Konzept auf Wohnungsebene, Zeile Ost; [HHS, IGS] 66
Abbildung 71: Ostzeile Regelgrundriss; [HHS] 67
Abbildung 72: Ostzeile Grundriss Dachgeschoss; [HHS] 67
Abbildung 73: Ostzeile Ansicht Westfassade; [HHS] 67
Abbildung 74: Ostzeile Ansicht Westfassade; [HHS] 68
Abbildung 75: Ostzeile Schnitte; [HHS] 68
Abbildung 76: Energiekonzept schematisch mit gefordertem baulichen Wärmeschutz, Zeile West; IGS] 69

Abbildung 77: Energiekonzept auf Wohnungsebene, Zeile West; [HHS, IGS] 70
Abbildung 78: Westzeile Regelgrundriss; [HHS]..... 70
Abbildung 79: Westzeile Grundriss Dachgeschoss; [HHS] 71
Abbildung 80: Westzeile Ansicht Westfassade; [HHS]..... 71
Abbildung 81: Westzeile Ansicht Westfassade; [HHS]..... 71
Abbildung 82: Prinzip Plusenergiegebäude; [IGS]..... 72

14 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Gebäudetypologie nach Bauperiode; [HHS] 14
Tabelle 2: Strombedarf Haushalte nach Stromspiegel Deutschland; [Quelle: Broschüre „Stromspiegel für Deutschland 2016“] 18
Tabelle 3: Konstruktive Einschränkungen der Realisierbarkeit von Aufstockungen; [HHS] 21
Tabelle 4: Potential Dachgeschossausbau; [HHS] 22
Tabelle 5: Gegenüberstellung der Anlagenparameter im Neubau; [IGS] 26
Tabelle 6: Angaben zu den Gebäuden vor der Sanierung; [HHS] 50
Tabelle 7: Qualitäten von Gebäudehülle und Anlagentechnik im Bestand; [HHS] 50
Tabelle 8: Übersicht über die Sanierungsvarianten und Standards; [IGS] 53
Tabelle 9: Gegenüberstellung Vor- und Nachteile Sanierung im bewohnten bzw. unbewohnten Zustand 55
Tabelle 10: Bewertungsmatrix möglicher Sanierungsmaßnahmen; [IGS] 58
Tabelle 11: Komponenten Gebäude- und Anlagenkonzept im Vergleich von Zeile Ost und Zeile West; [IGS] 65
Tabelle 12: Qualitäten baulicher Wärmeschutz Zeile West | Förderstandard nach KfW Effizienzhaus 70; [IGS] 68

15 ANHANG

Vorteile einer Bestandssanierung auf EffizienzhausPlus-Niveau für unterschiedliche Akteure

Ziel: Effizienzhaus-Plus im Bestand

Vorteile für den Nutzer

- Steigerung des Wohnkomforts
- geringeres CO2-Deputat durch ganzheitliches Energiekonzept Wärme und Strom
- zukunftsfähige Wohnung in Bezug auf kommende Klimaschutzanforderungen
- geringere Steigerung von Nebenkosten durch Ausrichtung auf erneuerbare Energien
- Vorwegnahme eines klimaneutralen Gebäudes
  --> keine zu erwartendens zusätzlichen Maßnahmen unabhängig von sesetzlichen Änderungen
- CO2 als Benchmark eingeführt umgesetzt
  --> robust gegeüber kokmmenden sesetzlichen Änderungen
- eigene Stromerzeugung
  --> größere Unabhängigkeit

Vorteile für den Bauherren

- attraktives Wohnangebot durch die Mäglichkeit von Warmmiete oder Flatrate-Wohnen
- bessere Vermarktungsargumentation über gereinge zu erwartende Steigerung der Nebenkosten
- Nutzung aktueller Fördermöglichekeiten mit hohem wirtschaftlichen Vorteil im Bestand
- altersgerechtes Umbauen möglich und durch höhere Förderung subventionierbar
- ggf. Wohnraumerweiterungen möglich
- Schaffung eines hochwertigen, zukunftsfähigen Objekts im Gebäudebestand
- Unabhängiger gegenüber zukunftsfähigen Gesetzesänderungen (mögliche CO2-Besteuerung)

Vorteile für Behörden

- Demonstrationsprojekt zur Orientierung von Berechnungen und Maßnahmen
- kein Mehraufwand im Baugenehmigungsverfahren
- durch die Projekte Erlangung von Kenntnissen für örtliche Klimaschutzkonzepte und Nachweis von CO2-Einsparpotenzialen

Bewertungsmatrix möglicher Sanierungsmaßnahmen

	bewohnt [Ostzeile]	**Leerzug** [Westzeile]	**Anmerkungen**
Anlagenkomponenten erneuern			
Einsatz von RLT			
Dezentral (raumweise)	■	■	
Zentral Wohnung / Haus	◪ / □	■ / ■	Bei den eingeschränkten lichten Raumhöhen nur sehr bedingt umsetzbar
Lüftung mit Wärmerückgewinnung	◪	◪	Erhöhter Aufwand aufgrund der Außen- und Fortluftanbindung, unwirtschaftl. hoher Aufwand
SHK / ELT			
Strangsanierung komplett/partiell	■ / ■	■ / ■	Beschränkung durch fehlende Zugänglichkeit der bewohnten Einheiten mgl.
Wärmeerzeugung			
Dezentrale Erneuerung Wohnungsweise	■[2]	□	Ersatz für Gasetagenheizung nur schwer umsetzbar Bei Schornsteinrückbau nicht möglich
Zentrale Erzeugung	■	■	Anschluss im Rahmen einer Strangsanierung gut umsetzbar
Zentrale Warmwasserbereitung	◪	■	Im Rahmen einer Strangsanierung möglich Im bewohnten Zustand nicht umgesetzt da Kombination mit Lüftung gewählt
Messdatenerfassung	■	■	Vorrüstung M-Bus fähiger Zähler empfohlen
Gebäudehülle ertüchtigen			
Dach	■	■	
Oberste Geschossdecke	-	-	Durch Dachausbau nicht mehr vorhanden
Fassade	■	■	
Fenster	■	■	
Keller	◪	■	Eingeschränkte Zugänglichkeit wenn bewohnt
Perimeterdämmung	■	■	
Reduzierung von Wärmebrücken	■	■	Bei frühzeitiger Planung gut möglich Wirtschaftlichkeit beachten

Anpassung			
Fensterformate ändern / Tageslichtversorgung	◩ Bei gleichbleibenden Fensterformaten ist eine Verschlechterung der Tageslichtversorgung durch größere Wandaufbauten zu erwarten.	■	Bei frühzeitiger Berücksichtigung in der Planung kann die Tageslichtversorgung verbessert werden. Putz und Anpassungsarbeiten in der Wohnung lassen sich nicht vermeiden.
Grundrisse ändern	□	■	
Wohnfläche durch Anbauten erhöhen	◩	■	
Dachgeschossausbau/ Aufstockung	■ Aufstockung möglich wenn Dachgeschoss leer steht	■	
Balkone ergänzen/erneuern	■	■	Reduzierung von Wärmebrücken durch Rückschneiden durchstoßender Balkonplatten sinnvoll.
Qualitätsverbesserungen			
Thermische Behaglichkeit	■	■	
Luftqualität	■	■	Lüftungskonzept unvermeidbar.
Hygienische Behaglichkeit	■	■	
Baulicher Schallschutz Trennwände/ Decken	◩/ □	◩/ ◩	Ziel ist das Erreichen des Mindestschallschutzes nach DIN 4109 Bbl. 2 Vorwandinstallationen verbessern die Situation reduzieren aber die Wohnfläche.
Brandschutzanpassung	◩	■	Schutzziel ist bei den Maßnahmen zu hinterfragen.
CO_2-neutraler/ klimaneutraler Betrieb	■	■	In Abhängigkeit vom Konzept zur Eigenstromnutzung umsetzbar.
Betriebskosten senken	■	■	

Legende: □ Nicht möglich

◩ Mit erhöhtem Aufwand möglich (Kosten- und Zeitaufwand)

■ möglich

[1] Erhöhter Aufwand, wenn Dachgeschoss/-boden in Nutzung ist

[2] Bei Änderung des Energieträgers ist von erhöhtem Aufwand auszugehen