ISBN 978-3-7388-0630-4

F 3232

Gefördert mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

Heike Erhorn-Kluttig, Hans Erhorn, Micha Illner,
Johannes Schrade, Linda Lyslow, Astrid Ecker-Brinkmann,
Konstantinos Koutsomarkos

EU-Projekt CoNZEBs – Solution sets for the Cost reduction of new Nearly Zero-Energy Buildings

Lösungsansätze für die Kostenreduzierung von Niedrigstenergiegebäuden

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

Fraunhofer IRB Verlag

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

F 3232

Heike Erhorn-Kluttig, Hans Erhorn, Micha Illner,
Johannes Schrade, Linda Lyslow, Astrid Ecker-Brinkmann,
Konstantinos Koutsomarkos

EU-Projekt CoNZEBs – Solution sets for the Cost reduction of new Nearly Zero-Energy Buildings

Lösungsansätze für die Kostenreduzierung von Niedrigstenergiegebäuden

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

Fraunhofer IRB Verlag

F 3232

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

2021

ISBN 978-3-7388-0630-4

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

Fraunhofer
IBP

IBP-Bericht EER-025/2020/951

EU-Projekt CoNZEBs – Solution sets for the Cost reduction of new Nearly Zero-Energy Buildings

Lösungsansätze für die Kostenreduzierung von Niedrigstenergiegebäuden

Gefördert durch
EU Horizont 2020-Programm
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

Heike Erhorn-Kluttig
Hans Erhorn
Micha Illner
Johannes Schrade
Linda Lyslow
Astrid Ecker-Brinkmann
Konstantinos Koutsomarkos

Fraunhofer
IBP

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Prof. Dr. Philip Leistner
Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer

IBP-Bericht Nr. 025/2020/951

EU-Projekt CoNZEBs – Solution sets for the Cost reduction of new Nearly Zero-Energy Buildings

Lösungsansätze für die Kostenreduzierung von Niedrigstenergiegebäuden

Gefördert durch
EU Horizont 2020-Programm
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

Der Bericht umfasst
41 Seiten Text
18 Abbildungen
4 Tabellen

Auszugsweise Veröffentlichung nur mit schriftlicher Genehmigung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik gestattet.

Heike Erhorn-Kluttig
Hans Erhorn
Micha Illner
Johannes Schrade
Linda Lyslow
Astrid Ecker-Brinkmann
Konstantinos Koutsomarkos

Stuttgart, 25. November 2020

Institutsleiter	Abteilungsleiter	Bearbeiter
Prof. Dr. Philip Leistner	Dr. rer. nat. Harald Will	Dipl.-Ing. Heike Erhorn-Kluttig

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Nobelstraße 12 | 70569 Stuttgart
Telefon +49 711 970-00
Telefax +49 711 970-3395
www.ibp.fraunhofer.de

Standort Holzkirchen
Fraunhoferstr. 10 | 83626 Valley
Telefon +49 8024 643-0
Telefax +49 8024 643-366

Inhalt

1	**Kurzfassung**	**3**
2	**Summary**	**6**
3	**Hintergrund**	**9**
4	**Das CoNZEBs-Projekt**	**9**
4.1	AP1: Management	11
4.2	AP2: Benchmarking	11
4.2.1	Ausgangslage: Investitionskosten für drei unterschiedliche Gebäudeenergieeffizienzniveaus	11
4.3	AP3: Kosteneinsparungen in den Planungs- und Konstruktionsprozessen	13
4.4	AP4: Befragung von Bewohnern und Niedrigstenergiehausbroschüre	17
4.5	AP5: Kosteneinsparungen durch alternative Energie-konzepte	20
4.6	AP7: Lebenszykluskosten und Ökobilanzierung	25
4.7	AP6: Zukunftsfähigkeit der Energiekonzepte	30
4.8	AP8: Kommunikation & Dissemination	33
5	**Ausblick und Empfehlungen**	**36**
6	**Literaturverzeichnis**	**38**

1 Kurzfassung

Im Rahmen des EU H2020-Projekts CoNZEBs (Solution sets for the Cost reduction of new Nearly Zero-Energy Buildings) wurde in vier Teilnehmerländern analysiert, wie die erhöhten Investitionskosten von Niedrigstenergiegebäuden (NZEBs) im Vergleich zu den Gebäuden gemäß den energetischen Mindestanforderungen im Jahr 2017 reduziert werden können. Da die Anforderung an Niedrigstenergiegebäude im Jahr 2017 in Deutschland noch nicht festgeschrieben war, wurde von den deutschen Projektpartnern, basierend auf den Erwartungen der deutschen Repräsentanten in der Länderplattform Concerted Action EPBD, der KfW-Effizienzhaus 55-Standard als erhöhtes energetisches Niveau (anstelle des „Niedrigstenergiegebäudeniveaus") angenommen. Der Fokus des Projekts lag auf neugebauten Mehrfamilienhäusern.

In unterschiedlichen Arbeitspaketen wurden folgende Analysen durchgeführt:

1. Feststellung des Benchmarks: Welche Differenz besteht bei den Investitionskosten zwischen Mehrfamilienhäusern gemäß den energetischen Mindestanforderungen und dem KfW-Effizienzhaus 55-Niveau?

   Hierfür wurde eine Vielzahl von gebauten Mehrfamilienhäusern bezüglich ihrer Investitionskosten ausgewertet. Zusätzlich zu den beiden bereits genannten energetischen Niveaus wurden auch Null- oder Plusenergiegebäude analysiert. Die Bruttokostendifferenz (KG 300 und KG 400) zwischen den energetischen Mindestanforderungen (EnEV) und den KfW-Effizienzhäusern 55 betrug im Mittel 45 €/m²$_{NGF}$ (44 €/m²$_{Wfl.}$).

2. Mögliche Kosteneinsparungen in den Planungs- und Konstruktionsprozessen: Durch welche Prozesse oder Maßnahmen können Investitionskosten eingespart werden?

   Bei den Prozessen wurden vorgefertigtes und serielles Bauen und die Nutzung von BIM (Building Information Modelling) als mögliche kostensparende Einflüsse identifiziert. Die zusammengetragenen Maßnahmen beinhalten u. a. große Mauerwerksblöcke, Monoblock-Fenster, dachintegrierte Photovoltaikpaneele und außenliegende, unbeheizte Treppenhäuser, vorgestellte Balkone und andere Maßnahmen um die (gedämmte) Hüllfläche zu reduzieren.

3. Befragungen von Bewohnern und Niedrigstenergiehausbroschüre: Was ist Bewohnern wichtig bei der Entscheidung für eine Wohnung, welche Kenntnisse und welche Fragen im Bereich energieeffiziente Gebäude haben sie?

   Die Auswertung eines Fragebogens an derzeitige und mögliche zukünftige Bewohner von energetisch hocheffizienten Gebäuden ergab, dass die wichtigsten Gründe für den Bezug einer Wohnung die Lage des Gebäudes, der Gesamteindruck des Gebäudes, der gute thermische Komfort, eine hohe

Luftqualität und die niedrigen Energiekosten sind. In einer 20-seitigen Broschüre in der jeweiligen Landessprache werden die Definition von Niedrigstenergiegebäuden, die gesammelten Erfahrungen bzw. Erwartungen von Bewohnern und Beispielgebäude aus vier Ländern präsentiert sowie einigen Vorurteilen Fakten gegenüberstellt.

4. Kosteneinsparungen durch alternative Energiekonzepte: Welche Kombinationen aus Anlagentechnik und Hüllflächenqualitäten resultieren in günstigeren Investitionskosten als die Standardausführung eines Niedrigstenergiegebäudes (KfW-Effizienzhaus 55)?

   Für diese Studie wurde je Land eine typische Geometrie eines Mehrfamilienhauses bestimmt und mit der üblicherweise verwendeten Anlagentechnik (Mainstream) und den zur Erreichung des Niedrigstenergiestandards (für Deutschland KfW-Effizienzhaus 55-Standard) notwendigen Wärmedurchgangskoeffizienten der Hüllflächen ausgestattet und rechnerisch bewertet. Als „Standardanlagentechnik" wurde für Deutschland der Gas-Brennwertkessel in Kombination mit einer thermischen Solaranlage und einer zentralen Abluftanlage gewählt. Die resultierende thermische Qualität der Gebäudehülle liegt bei einem mittleren U-Wert von 0,22 W/m²K. Danach wurden verschiedene alternative Energiekonzepte bewertet mit dem Ziel, bei gleichem Primärenergieniveau niedrigere Investitionskosten zu erreichen. Für Deutschland wurden folgende vier finanziell interessante alternative Energiekonzepte identifiziert:

   - Solution Set 1: Direkt elektrische Heizung und dezentrale elektrische Warmwasserbereitung in Kombination mit dezentraler Lüftung mit Wärmerückgewinnung und moderates Dämmniveau.

   - Solution Set 2: Lüftungsheizung aus zentralem Zu- und Abluftsystem in Kombination mit einer Luft/Luft-Wärmepumpe, dezentral elektrische Warmwasserbereitung, Photovoltaik und moderates Dämmniveau.

   - Solution Set 3: Fernwärme (Kraft-Wärme-Kopplung fossil) für die Heizung und Warmwasserbereitung, zentrale Abluftanlage und moderates Dämmniveau.

   - Solution Set 4: Hybridheizung aus Abluft-Wasser-Wärmepumpe unterstützt von einem Gas-Brennwertkessel, Frischwasserstationen, Photovoltaik und moderates Dämmniveau.

   Allen vier Konzepten gemein ist, dass sie auf Seiten der Anlagentechnik insgesamt primärenergetisch effizienter als die Standardlösung sind und so Einsparungen auf der Seite der Gebäudehüllflächen ermöglichen. Die Differenz der Investitionskosten beträgt zwischen -44 und -84 €/m²$_{NGF}$. Allerdings resultieren alle Alternativkonzepte in erhöhten Energiekosten.

5. Lebenszykluskosten und Ökobilanzierung: Wie stellen sich das Standardkonzept und die vier alternativen Energiekonzepte dar, wenn man nicht nur die Investitionskosten, sondern die Lebenszykluskosten und die Ökobilanz (Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen inkl. Aufwand für die Erstellung und Umsetzung auf der Baustelle) bewertet?

   Leider erreichte kein deutsches NZEB-Energiekonzept geringere Lebenszykluskosten (einen besseren Kapitalwert) als die energetischen Mindestanforderungen, die hier mitbewertet wurden, obwohl drei Lösungsansätze in einen mit maximal 20 €/m²$_{NGF}$ nur geringfügig höheren Kapitalwert über 30 Jahre resultieren. Dies bedeutet zusätzliche Kosten von 5,5 Cent/m²$_{NGF}$ im Monat oder 3,67 €/Monat für eine durchschnittliche Wohnung.

   Bei der Ökobilanzierung wurde zusätzlich auch ein Gebäudeniveau on Top bewertet: im Fall von Deutschland das Effizienzhaus Plus. Hier ergaben sich im Betrachtungszeitraum von 30 Jahren positive Werte für das typische KfW-Effizienzhaus 55, die alternativen KfW-Effizienzhaus 55-Lösungsansätze und vor allem für das Effizienzhaus Plus, sowohl bei den Treibhausgasemissionen als auch bei der nicht erneuerbaren Primärenergie im Vergleich zum Gebäude, welches die energetischen Mindestanforderungen erfüllt.

6. Zukunftsfähigkeit der Energiekonzepte: Wie verhalten sich die Investitionen für die Energiekonzepte, wenn man sich ändernde Randbedingungen bis zum Jahr 2030 berücksichtigt?

   Für jedes teilnehmende Land wurden die bis 2030 abzusehenden Änderungen im Bereich der Primärenergiefaktoren, der Energiepreise, der Technologiekosten, der Technologieeffizienzen und des Klimas ermittelt und mit zu erwartenden Kennwerten hinterlegt. Die Kombination aller Änderungen (außer dem Klima) zeigte, dass sowohl das direkt elektrische Konzept (Solution Set 1) als auch das hybride Konzept mit Abluft-Wasser-Wärmepumpe und Gas-Brennwertkessel (Solution Set 4) von den abzusehenden Änderungen in den Randbedingungen profitieren und wirtschaftlich noch interessanter werden. Auch das Effizienzhaus-Plus-Konzept wird noch attraktiver.

Begleitet wurden die Auswertungen und Berechnungen von umfangreichen Disseminationsmaßnahmen, so z. B. einer nationalen Veranstaltung für Wohnungsbaugesellschaften und Planer, auf der die Ergebnisse vorgestellt und diskutiert wurden, zahlreichen Veröffentlichungen, einer Projektwebseite (www.conzebs.eu) und Social Media-Aktivitäten. Wichtig für den Erfolg des Projekts war die enge Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Forschern und Wohnungsbaugesellschaften und die Spiegelung der Aktivitäten mit den vier nationalen Advisory Boards, in denen Vertreter von Ministerien und Ämtern, Energieagenturen und weitere Forscher vertreten waren.

2 Summary

Within the EU Horizon 2020 project CoNZEBs (Solution sets for the Cost reduction of new Nearly Zero-Energy Buildings) a project group from four participating countries has analysed how the additional investment costs of nearly zero-energy buildings (NZEBs) compared to buildings fulfilling the minimum energy performance requirements of 2017 can be reduced. In the case of Germany, the energy performance requirements of the national NZEB have not been defined by the time of the project start. Therefore the German project team has defined the KfW-Efficiency House 55 standard as the more advanced ("NZEB") level for the studies in the project. This was based on the expectations of the German representatives in the country platform Concerted Action EPBD. The focus of the project was on new built multi-family houses.

The following analyses have been performed in the different work packages:

1. Determination of the benchmark: What is the difference in investment costs between multi-family houses built according to the national minimum energy performance requirements and the NZEB level (for Germany KfW-Efficiency House 55)?

   Multiple new-built multi-family houses have been studied regarding their investment costs. In addition to the minimum energy performance level and the NZEB level, also a more advanced level (zero energy or plus energy) has been analysed. The gross investment cost difference (cost groups 300 (building components) and 400 (technical building systems)) between the minimum energy performance level and the KfW-Efficiency House 55 level was in average 45 €/m² net floor area (44 €/m² living area).

2. Possible cost savings in the planning and construction processes: Which processes or measures can reduce the investment costs?

   Concerning processes, prefabrication and serial construction as well as the use of BIM (Building Information Modelling) have been identified as possible cost saving impacts. The gathered measures to save investment costs include large autoclaved concrete blocks, monoblock windows, roof-integrated photovoltaic panels and unheated, external staircases as well as straightened facades with for balconies put in front of the façade to reduce the insulated building envelope area.

3. Questionnaire for the residents and nearly zero-energy building brochure: What are the important factors for the apartment choice, what do residents know about energy efficient buildings and which questions remain?

   The evaluation of a questionnaire for current and possible future residents of nearly zero-energy buildings showed that the most important reasons for choosing an apartment are: the location of the building, the overall impression, good thermal comfort, high air quality and low energy costs.

A 20-page brochure in all languages of the participating countries presents the definition of nearly zero-energy buildings, the gathered experiences and expectations of residents, shows exemplary buildings from four countries and gives facts as answers to some existing prejudices against high energy performing buildings.

4. Cost savings because of alternative energy concepts: Which combinations of technical building systems and building envelope qualities result in lower investment costs than the typical way to build nearly zero-energy buildings (KfW-Efficiency Houses 55)?

   For this study typical geometries for multi-family houses in all four countries have been determined and the usually applied building technologies (mainstream) for meeting the nearly zero-energy house level together with correspondent U-values at the building envelope have been assessed with energy performance calculations. As typical building technology for the KfW-Efficiency House 55 in Germany a gas condensing boiler in combination with a solar thermal unit and a centralised mechanical exhaust ventilation system has been chosen. The resulting thermal quality of the building envelope is a mean U-value of 0.22 W/m²K. Then different alternative energy concepts have been assessed with the aim of achieving lower investment costs while still meeting the same primary energy performance level. For Germany the following four financially interesting alternative energy concepts have been identified:

   - Solution set 1: Direct electrical heating and decentralised electrical domestic hot water generation in combination with decentralised mechanical ventilation with heat recovery and moderate building envelope insulation level.

   - Solution set 2: Air heating based on centralised balanced mechanical ventilation in combination with an air-to-air heat pump, decentralised electrical domestic hot water generation, photovoltaics and moderate building envelope insulation level.

   - Solution set 3: District heating (based on combined heat and power with fossil fuel) for the heating and domestic hot water, centralised mechanical exhaust ventilation system and moderate building envelope insulation level.

   - Solution set 4: Hybrid heating system consisting of an exhaust air-to-water heat pump supported by a gas condensing boiler, domestic hot water heat exchange modules, photovoltaics and moderate building envelope insulation level.

   All four energy concepts have in common that they are more primary energy efficient than the typical NZEB solution on the side of the technical building systems and therefore allow to lower the thermal building enve-

lope quality. The differences in investment costs are between -44 and -84 €/m²$_{NFA}$. On the other hand, all alternative energy concepts result in higher energy costs.

5. Life-cycle costs and life-cycle assessment: How do the typical NZEB and the alternative NZEB energy concepts fare, when not only the investment costs, but the life-cycle costs and the primary energy and greenhouse gases including the efforts for production and realisation on the construction side are assessed?

   Unfortunately, none of the German NZEB energy concepts resulted in lower life-cycle costs (net present value) than the energy concept fulfilling the minimum energy performance level which was assessed as well. However three alternative solution sets lead to only slightly higher net present values over 30 years with a delta of 20 €/m²$_{NFA}$ as maximum. This means additional costs 5.5 cent/m²$_{NFA}$ per month or 3.67 euro/month for an average sized apartment.

   The life-cycle assessment included also an energy performance level on top: in the case of Germany the efficiency house plus (an energy surplus building). Within the calculated period of 30 years, the comparison with the minimum energy performance building level showed positive results for the typical NZEB (KfW-Efficiency House 55), the alternative NZEB energy concepts and even more for the Efficiency House Plus for both, greenhouse gas emissions and non-renewable primary energy use.

6. Prospects for the future: What is the impact on the investment costs if changing boundary conditions with regards to the year 2030 are applied?

   For each participating country the foreseeable changes at the impact factors (primary energy factors, energy tariffs, technology costs, technology efficiency, climate change) until 2030 have been evaluated and specific values for each factor determined. The calculations for the combination of all changes (besides the climate change) showed that the direct electrical NZEB energy concept (solution set 1) and the hybrid heating NZEB energy concept (exhaust air-to-water heat pump and gas condensing boiler, solution set 4) both benefit from the foreseeable changes and become economically even more interesting. Also the Efficiency House Plus concept will get economically more interesting.

The evaluations and calculations have been accompanied by extensive dissemination measures such as national events for housing organisations and planners at which the project results have been presented and discussed, numerous publications, a project website (www.conzebs.eu) and Social Media activities. Important for the success of the project was the close collaboration between researchers and housing organisations and the mirroring of the activities with the four national advisory boards consisting of representatives from ministries and authorities, energy agencies and additional researchers.

3 Hintergrund

Mit der EU-Gebäudeenergieeffizienzrichtlinie (Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings (recast) [1]), hat die Europäische Kommission das Energieeffizienzniveau von Gebäuden ab dem Jahr 2019 (neue öffentliche Gebäude) bzw. dem Jahr 2021 (alle neuen Gebäude) auf den Niedrigstenergiestandard (Nearly Zero-Energy Building – NZEB) festgeschrieben. Während die EU-Richtlinie eine grobe internationale Definition enthält (hohe Energieeffizienz, beinahe null oder sehr niedriger Energiebedarf, gedeckt durch einen erheblichen Anteil von erneuerbaren Energien), blieb es den EU-Mitgliedsstaaten überlassen, eine genaue nationale Definition zu erarbeiten.

Pilotprojekte auf Niedrigstenergieniveau in den letzten Jahren führten zu nicht unerheblichen Mehrkosten. So ermittelte z. B. die EU-Länderplattform Concerted Action EPBD basierend auf einer Sammlung von 32 gebauten Beispielen [2] eine mittlere Kostendifferenz zwischen den nationalen Mindestanforderungen und sogenannten High Performance Buildings von 11 % der gesamten Baukosten oder 200 €/m².

4 Das CoNZEBs-Projekt

Das EU-Projekt CoNZEBs (Solution sets for the Cost reduction of new Nearly Zero-Energy Buildings) arbeitete an technischen Lösungsansätzen, mit denen die Investitionskosten von Niedrigstenergiegebäuden näher an die Investitionskosten von konventionellen neuen Gebäuden gebracht werden können. Der Fokus lag dabei auf Mehrfamilienhäusern. In den vier Teilnehmerländern Deutschland, Dänemark, Italien und Slowenien analysierte ein Forscherteam, welche Kombinationen aus marktreifen Technologien für die Gebäudehülle und die Anlagentechnik für das Heizen, die Warmwasserbereitung und die Lüftung sowie Systeme zur Nutzung von erneuerbaren Energien die Niedrigstenergiegebäudeanforderungen erfüllen und gleichzeitig zu niedrigeren investiven Kosten als die Standardlösungen führen. Die identifizierten Kombinationen (Solution Sets) wurden beschrieben und in einem zweiten Schritt bezüglich der Lebenszykluskosten und ihrer Ökobilanz bewertet. Zusätzlich wurde für einige wichtige Einflussfaktoren (z. B. Primärenergiefaktoren, Energiepreise, Technologiekosten und -effizienzen) analysiert, wie diese sich zukünftig entwickeln und auf die Solution Sets im Jahr 2030 auswirken.

In CoNZEBs arbeiteten Forscher und Ingenieurbüros eng mit Wohnungsbaugesellschaften zusammen und erhielten Feedback von sogenannten National Advisory Boards, bestehend aus Repräsentanten von Ministerien und Ämtern sowie Energieagenturen. Ein gesondertes Arbeitspaket beschäftigte sich mit der öffentlichen Akzeptanz von Niedrigstenergiegebäuden. Hier wurden Befragungen von Bewohnern durchgeführt und eine Broschüre über die Vorteile dieses Gebäudestandards entwickelt. Bild 1 zeigt die unterschiedlichen Ansätze in CoNZEBs hin zu kosteneffizienten Niedrigstenergiegebäuden.

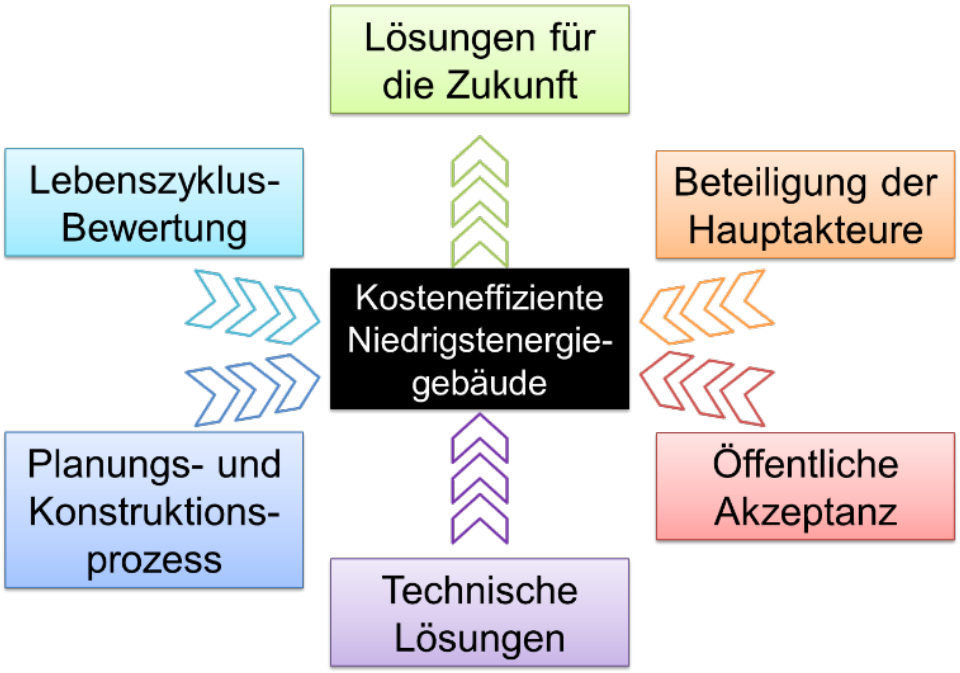


Bild 1:
Unterschiedliche Ansätze auf dem Weg zu kosteneffizienten Niedrigstenergiegebäuden im EU-Projekt CoNZEBs. © CoNZEBs.

Die deutsche Bundesregierung hat sich entschlossen – anders als die meisten anderen EU-Staaten – bis zu den Niedrigstenergiegebäude-Stichtagen (Anfang 2019/2021) keine Verschärfung der energetischen Gebäudeanforderungen für diesen Standard durchzuführen. Damit entspricht das Niedrigstenergiegebäude den derzeit gültigen energetischen Anforderungen im Gebäudebereich. Da dies zu Beginn der Arbeiten im CoNZEBs noch nicht feststand, **wurde, basierend auf den Erwartungen im Länderbericht Deutschlands [3] für Concerted Action EPBD das deutsche Niedrigstenergieniveau als KfW-Effizienzhaus 55 mit den entsprechenden Anforderungen (Primärenergiebedarf und H'_T) festgelegt**.

Neben der Leitung des EU-Projekts war das Fraunhofer IBP in Zusammenarbeit mit dem zweiten deutschen Projektteilnehmer, der Wohnungsbaugesellschaft ABG Frankfurt Holding, verantwortlich für alle deutschen Beiträge im Projekt. Zusätzlich leitete das Fraunhofer IBP die Arbeitspakete „Benchmarking“, „Thinking Ahead“, „Communication & Dissemination“ und „Management“.

Insgesamt bestand das EU-Projekt aus folgenden acht Arbeitspaketen (AP):

- AP1 Management,
- AP2 Benchmarking,
- AP3 Design & Construction: Kosteneinsparungen in den Planungs- und Konstruktionsprozessen,
- AP4 End User and Co-Benefits: Befragung von Bewohnern und Niedrigstenergiehausbroschüre,

- AP5 Solution Sets: Kosteneinsparungen durch alternative Energiekonzepte,
- AP6 Thinking Ahead: Zukunftsfähigkeit der Energiekonzepte,
- AP7 Life Cycle Assessment: Lebenszykluskosten und Ökobilanzierung,
- AP8 Communication & Dissemination.

4.1 AP1: Management

Es fanden in Abständen von ca. sechs Monaten sechs Projektmeetings in Berlin, Rom, Kopenhagen, Ljubljana, Reggio Emilia und Frankfurt statt. In den Meetings wurde der jeweilige Projektstand in allen Arbeitspaketen präsentiert und weitere Arbeitsschritte abgestimmt. Das Berliner Meeting wurde vom Fraunhofer IBP organisiert, bei allen anderen Meetings erfolgte die Organisation in Kooperation mit dem jeweiligen Gastgeber. Ein Zwischenbericht [4] wurde im Januar 2019 an die Europäische Kommission geschickt. Der Abschlussbericht für die Europäische Kommission [5] wurde im März 2020 erarbeitet.

Für das BBSR wurde im Juli 2017 ein Zwischenbericht [6] erstellt. Der vorliegende Abschlussbericht [7] fasst die Arbeiten aus deutscher Sicht zusammen.

4.2 AP2: Benchmarking

4.2.1 Ausgangslage: Investitionskosten für drei unterschiedliche Gebäudeenergieeffizienzniveaus

Um die derzeitigen Kostendifferenzen für Mehrfamilienhäuser in den Teilnehmerländern zu bestimmen, wurden zunächst Informationen zu realisierten Gebäuden gesammelt und einander gegenübergestellt. Dabei wurden folgende energetische Gebäudeniveaus betrachtet:

- Energetische Mindestanforderungen (EnEV),
- Niedrigstenergiegebäude (NZEB): für Deutschland KfW-Effizienzhaus 55, s. o.,
- Hocheffiziente Gebäude (beyond NZEB): Null- und Plusenergiegebäude.

Die gesammelten Daten beinhalten gesamte Baukosten, Kosten für Konstruktion (KG 300) und für Anlagentechnik (KG 400) und jährliche Energiekosten, soweit verfügbar. Bild 2 zeigt die ermittelten Investitionskosten bezogen auf die Wohnfläche von insgesamt 46 deutschen Mehrfamilienhäusern. Die Quellen der Daten sind unterschiedlich, sie umfassen sowohl Mehrfamilienhäuser des Projektpartners ABG Frankfurt Holding als auch Mehrfamilienhäuser aus Forschungsprojekten des Fraunhofer IBP und aus einer Veröffentlichung des BKI-Kosteninformationszentrums [8].

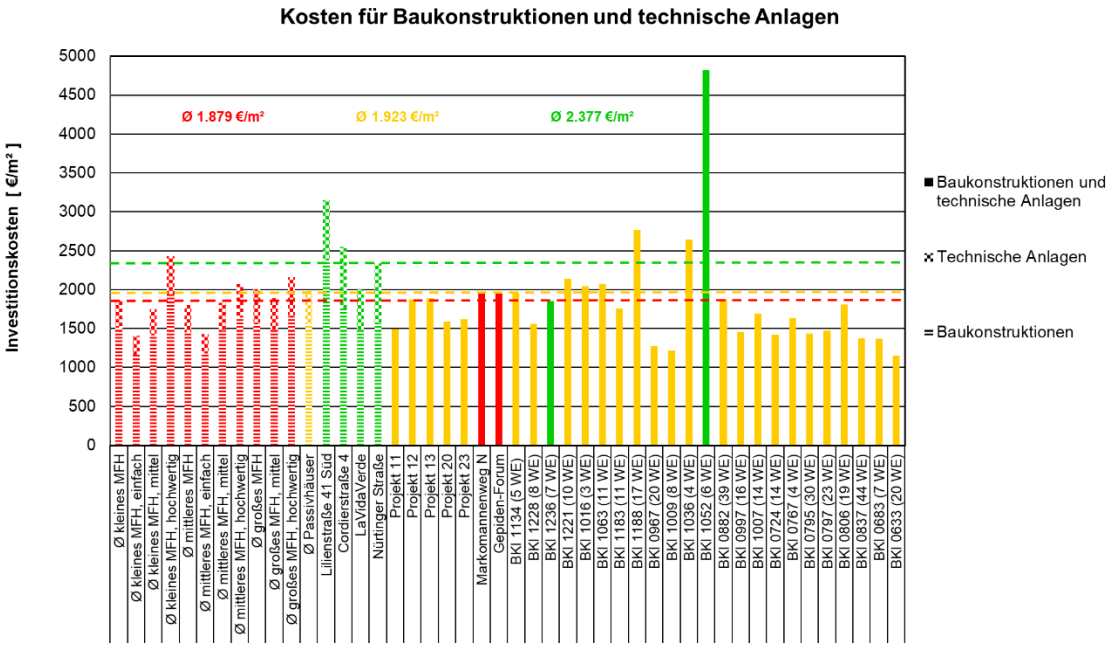


Bild 2:
Investitionskosten (KG 300 und 400) für deutsche Mehrfamilienhäuser in drei unterschiedlichen energetischen Gebäudeniveaus, gebaut in den Jahren 2014, 2015 und 2016 [9]. © CoNZEBs.

Die mittlere Investitionskostendifferenz zwischen energetischen Mindestanforderungen (EnEV) und KfW-Effizienzhaus 55 beträgt 44 €/m²$_{Wfl.}$ (45 €/m²$_{NGF}$). Detaillierte Informationen zu den Gebäuden und den Kostendaten sind dem CoNZEBs-Bericht „Overview of Cost Baselines for three Building Levels“ [9] zu entnehmen. Der Bericht stellt auch die energetischen Anforderungen für den gesetzlichen Mindestgebäudestandard und das Niedrigstenergiegebäudelevel (NZEB) in den vier Ländern des Projektteams zusammen.

Tabelle 1 stellt die ermittelten Investitionskostendifferenzen zwischen den beiden Gebäudeniveaus in den vier Ländern zusammen. Aufgrund unterschiedlicher gesetzlicher Mindestanforderungen, Niedrigstenergiedefinitionen, Baukulturen, Baukosten u. v. a. sind die Kostendifferenzen stark unterschiedlich. Zusätzlich war es interessant zu sehen, dass in den anderen drei Ländern deutlich weniger Kosteninformationen für die insgesamt drei betrachteten energetischen Gebäudeniveaus (Mindestanforderungen, NZEBs und besser als NZEB) zur Verfügung standen.

Tabelle 1:
Durchschnittliche Investitionskostendifferenz für Baukonstruktionen (KG 300) und Technische Anlagen (KG 400) zwischen Niedrigstenergiegebäuden und Gebäuden, die die energetischen Mindestanforderungen erfüllen, in Deutschland, Dänemark, Italien und Slowenien.

Land	Investitionskostendifferenz für Baukonstruktionen und Technische Anlagen von NZEBs und Gebäuden gemäß den gesetzlichen energetischen Mindestanforderungen
Deutschland	44 €/m² Wohnfläche
Dänemark	65 €/m² Bruttogrundfläche
Italien	229 €/m² Nutzfläche
Slowenien	104 €/m² konditionierte Nettogrundfläche

Ein weiterer Arbeitspunkt aus AP2 war der Vergleich der Investitionskostendifferenz mit den in AP5 ermittelten eingesparten Investitionskosten durch intelligente Energiekonzepte, siehe CoNZEBs-Bericht „Comparison of costs for new multi-family houses, NZEBs and beyond“ [10]. Die zugehörigen Ergebnisse werden im Schlusskapitel präsentiert.

4.3 AP3: Kosteneinsparungen in den Planungs- und Konstruktionsprozessen

Literaturrecherchen und ein Fragebogen an Planer und Baufirmen ermöglichten eine Einsicht in die durchschnittliche Verteilung der Kosten von neuen Wohngebäuden. Zusätzlich wurden Maßnahmen identifiziert, die Kosteneinsparungen in den Planungs- und Konstruktionsprozessen ermöglichen, darunter:

- die Verwendung von großen Mauerwerksblöcken,
- sogenannte Monoblock-Fenster, die als Komplettkonstruktion (Fenster, Sims, Rollladen, etc.) geliefert werden,
- dachintegrierte Photovoltaiksysteme,
- kreuzgeschichtete Holzpaneele,
- unbeheizte, außenliegende Treppenhäuser, vorgestellte Balkone und andere Maßnahmen, um die (gedämmte) Hüllfläche zu reduzieren.

Die Maßnahmen wurden aus den Antworten der Fragebogen und den Erfahrungen der am Projekt beteiligten Experten zusammengefügt. Bild 3 und Bild 4 zeigen ausgewählte Ergebnisse des Fragebogens basierend auf den Antworten von deutschen Planern bzw. Mitarbeitern von Baufirmen.

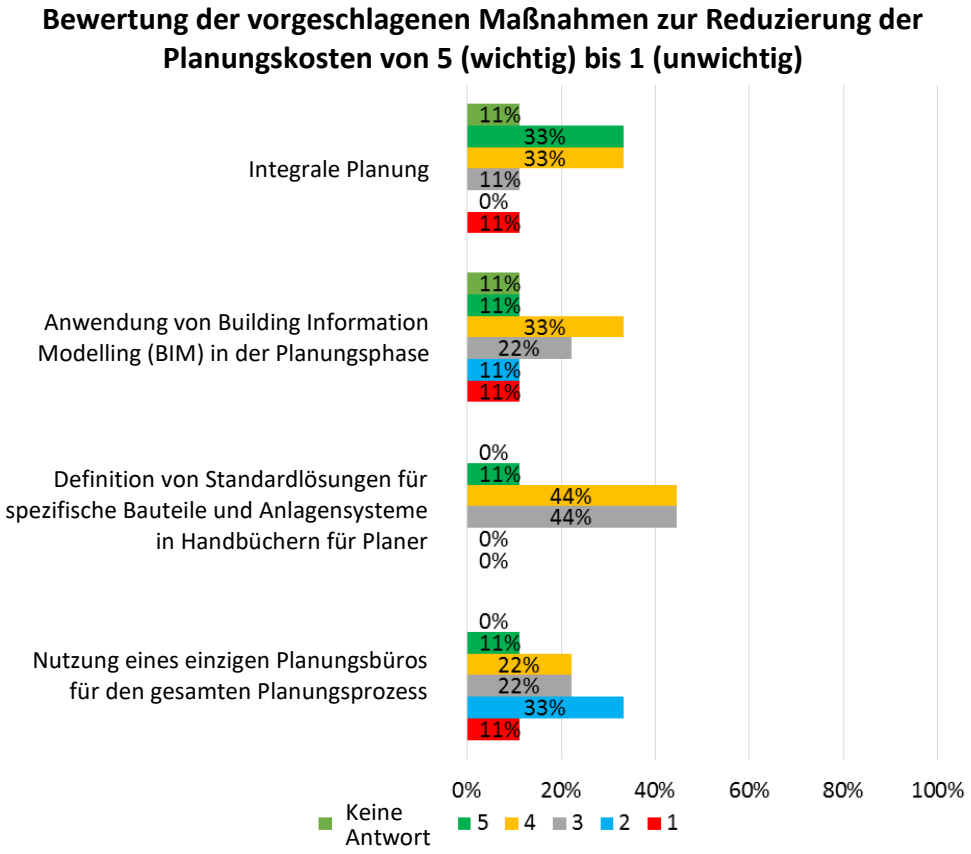


Bild 3:
Bewertung der vorgeschlagenen Maßnahmen zur Reduzierung der Planungskosten durch deutsche Planer auf Basis eines Fragebogens. © CoNZEBs.

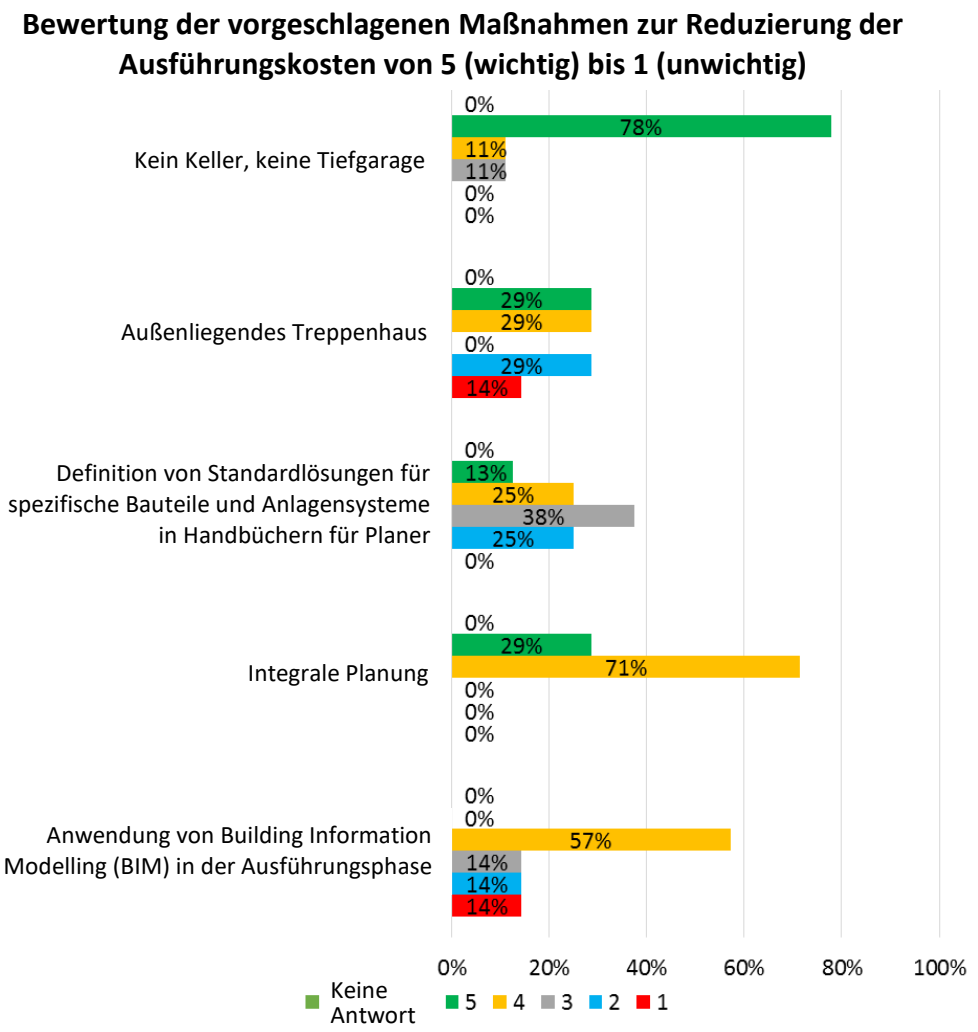


Bild 4:
Bewertung der vorgeschlagenen Maßnahmen zur Reduzierung der Ausführungskosten durch Mitarbeiter deutscher Baufirmen auf Basis eines Fragebogens. © CoNZEBs.

Die meisten identifizierten Maßnahmen führen zunächst zu Zeiteinsparungen und dadurch auch zu Kosteneinsparungen. Bezüglich der Reduzierung der Hüllflächen besteht eine Daumenregel: Eine Verminderung des A/V-Verhältnisses (Verhältnis der Gebäudehüllfläche zum umschlossenen Volumen) um 0,1 m^{-1} resultiert in einen um bis zu 10 kWh/m²a geringeren Heizwärmebedarf und spart gleichzeitig 50 bis 80 €/$m^2_{Wfl.}$ Investitionskosten.

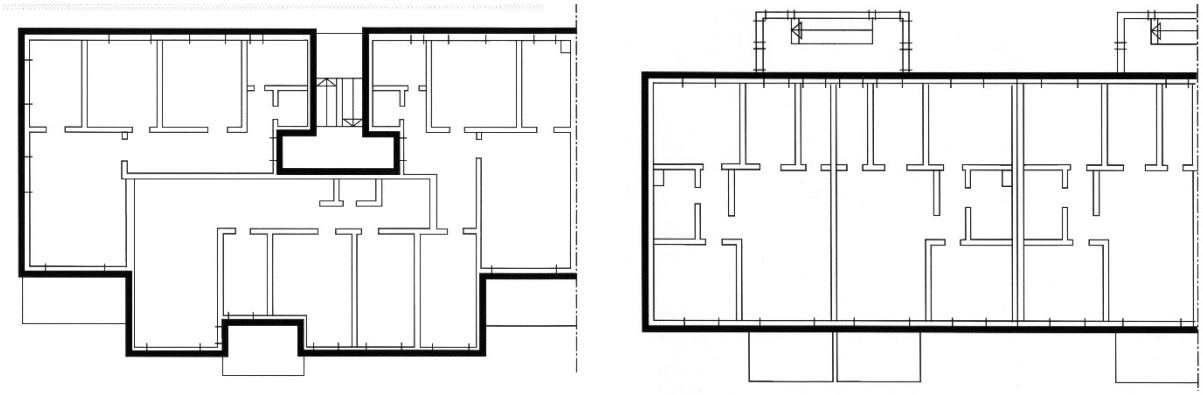


Bild 5:
Grundrisshälften eines Mehrfamilienhauses in Stuttgart-Stammheim als erster (links) und zweiter Entwurf (rechts) als Beispiel für eine kompakte Bauweise [12]. © Fraunhofer IBP.

Bild 6:
Foto eines außenliegenden Treppenhauses am Frankfurter Klimaschutzhaus der ABG Frankfurt. © Jochen Müller.

Bei den Planungs- und Konstruktionsprozessen erwartet man sich Einsparungen durch vorgefertigtes bzw. serielles Bauen. Die CoNZEBs-Partner konnten allerdings keine quantitativen Daten zu den erwarteten Einsparungen ermitteln. Die Nutzung von BIM (Building Information Modelling) erweckt ebenso Hoffnungen für Kosteneinsparungen und weitere Vorteile. Hier konnten einige Studien recherchiert werden, welche mögliche Kosteneinsparungen von 1,9 bis 7 % der Gesamtkosten ausweisen. Erläuterungen zu den gelisteten und weiteren Maßnahmen sowie Prozessen sind im CoNZEBs-Bericht „Assessment and exemplary solutions for cost reduction in the design and construction process“ [11] enthalten.

4.4 AP4: Befragung von Bewohnern und Niedrigstenergiehausbroschüre

Um für das Leben in Niedrigstenergiehäusern zu werben, hat das CoNZEBs-Team die Erwartungen und Erfahrungen von Bewohnern von „normalen“ und Niedrigstenergie-Mehrfamilienhäusern erfragt und basierend darauf eine Niedrigstenergiehausbroschüre mit nützlichen Informationen erarbeitet. Bild 7 zeigt beispielhaft ein Ergebnis der Befragung, die wichtigsten Gründe für den Bezug einer Wohnung in einem Niedrigstenergiegebäude: die Lage, der Gesamteindruck des Gebäudes (schön, neu, modern), der gute thermische Komfort und eine hohe Luftqualität sowie die niedrigen Energiekosten.

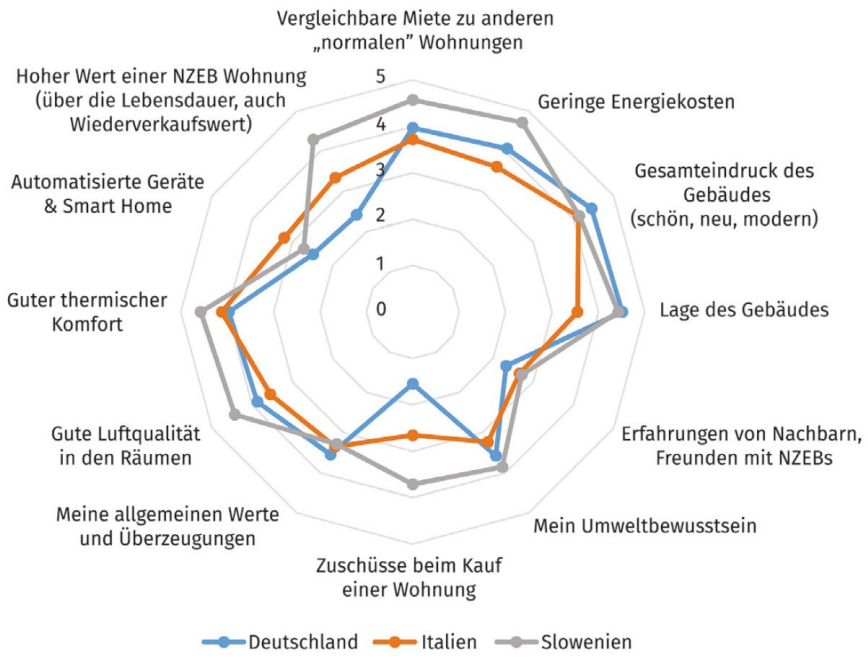


Bild 7:
Entscheidungskriterien für den Bezug einer Wohnung in Niedrigstenergiegebäuden gemäß einer Umfrage unter deutschen, italienischen und slowenischen Bewohnern. © CoNZEBs.

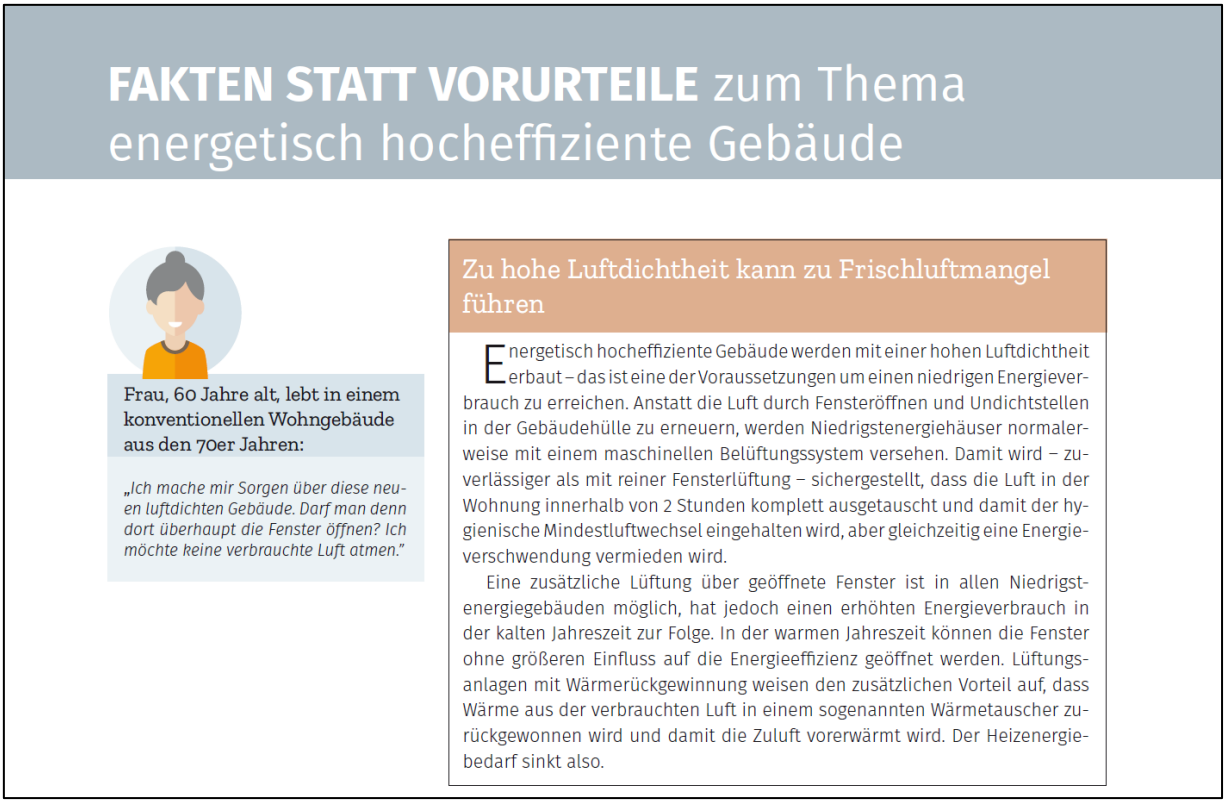
In Bild 8 ist die Titelseite der deutschen Broschüre [13] dargestellt, die die Definition von Niedrigstenergiegebäuden, die gesammelten Erfahrungen bzw. Erwartungen der Bewohner und Beispielgebäude aus vier Ländern präsentiert sowie einigen Vorurteilen Fakten gegenüberstellt.

Bild 8:
Titelseite der deutschen Broschüre „Warum Niedrigstenergiehäuser die richtige Wahl sind“ [13]. © CoNZEBs.

Im Abschnitt „Fakten statt Vorurteile“ werden in der deutschen Broschüre folgende Themen bzw. Vorurteile behandelt, die in Abstimmung mit der Wohnungsgesellschaft ABG Frankfurt Holding als Praxispartner ausgewählt wurden:

- Zu hohe Luftdichtheit kann zu Frischluftmangel führen.
- Trockene Luft in energetisch hocheffizienten Gebäuden im Winter.
- Lüftungsgeräte verursachen störenden Lärm.
- Energetisch hocheffiziente Gebäude sind im Sommer zu heiß.

Bild 9 zeigt einen Ausschnitt aus dem Broschürenteil „Fakten statt Vorurteile“.



FAKTEN STATT VORURTEILE zum Thema energetisch hocheffiziente Gebäude

Frau, 60 Jahre alt, lebt in einem konventionellen Wohngebäude aus den 70er Jahren:

„Ich mache mir Sorgen über diese neuen luftdichten Gebäude. Darf man denn dort überhaupt die Fenster öffnen? Ich möchte keine verbrauchte Luft atmen."

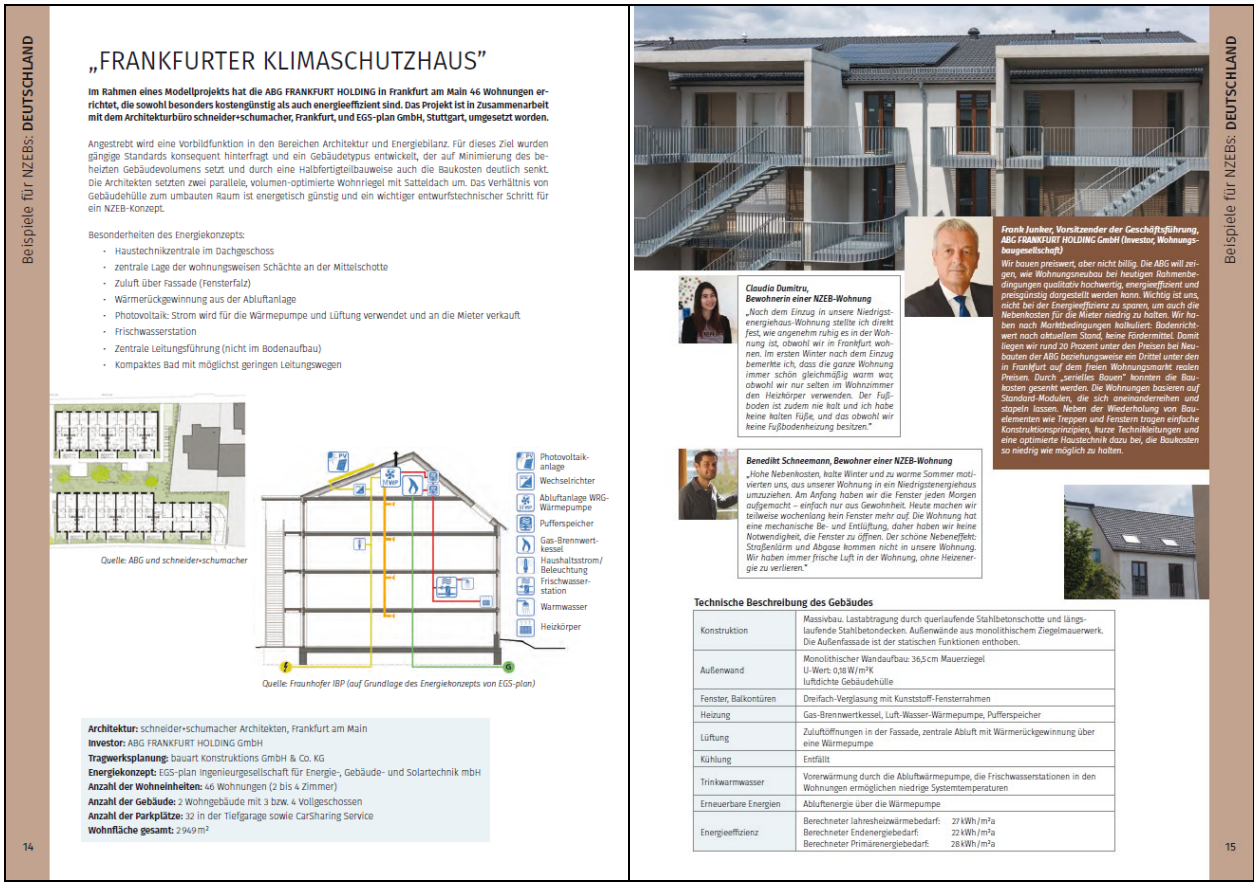
Zu hohe Luftdichtheit kann zu Frischluftmangel führen

Energetisch hocheffiziente Gebäude werden mit einer hohen Luftdichtheit erbaut – das ist eine der Voraussetzungen um einen niedrigen Energieverbrauch zu erreichen. Anstatt die Luft durch Fensteröffnen und Undichtstellen in der Gebäudehülle zu erneuern, werden Niedrigstenergiehäuser normalerweise mit einem maschinellen Belüftungssystem versehen. Damit wird – zuverlässiger als mit reiner Fensterlüftung – sichergestellt, dass die Luft in der Wohnung innerhalb von 2 Stunden komplett ausgetauscht und damit der hygienische Mindestluftwechsel eingehalten wird, aber gleichzeitig eine Energieverschwendung vermieden wird.

Eine zusätzliche Lüftung über geöffnete Fenster ist in allen Niedrigstenergiegebäuden möglich, hat jedoch einen erhöhten Energieverbrauch in der kalten Jahreszeit zur Folge. In der warmen Jahreszeit können die Fenster ohne größeren Einfluss auf die Energieeffizienz geöffnet werden. Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung weisen den zusätzlichen Vorteil auf, dass Wärme aus der verbrauchten Luft in einem sogenannten Wärmetauscher zurückgewonnen wird und damit die Zuluft vorerwärmt wird. Der Heizenergiebedarf sinkt also.

Bild 9:
Auszug aus dem Bereich „Fakten statt Vorurteile" aus der deutschen Broschüre „Warum Niedrigstenergiehäuser die richtige Wahl sind" [13]. © CoNZEBs.

Als deutsche Fallstudie und Best-Practice-Beispiel für Niedrigstenergiewohngebäude wurde das Frankfurter Klimaschutzhaus der ABG Frankfurt Holding verwendet [20]. Bild 10 präsentiert die Broschürendoppelseite zur deutschen Fallstudie. Zu allen Fallstudien wurden Informationen, Fotos und weitere Grafiken zur Architektur, dem Energiekonzept, den beteiligten Akteuren sowie Stellungnahmen des Bauherrn und von Bewohnern zusammengestellt.



Beispiele für NZEBs: DEUTSCHLAND

„FRANKFURTER KLIMASCHUTZHAUS"

Im Rahmen eines Modellprojekts hat die ABG FRANKFURT HOLDING in Frankfurt am Main 46 Wohnungen errichtet, die sowohl besonders kostengünstig als auch energieeffizient sind. Das Projekt ist in Zusammenarbeit mit dem Architekturbüro schneider+schumacher, Frankfurt, und EGS-plan GmbH, Stuttgart, umgesetzt worden.

Angestrebt wird eine Vorbildfunktion in den Bereichen Architektur und Energiebilanz. Für dieses Ziel wurden gängige Standards konsequent hinterfragt und ein Gebäudetypus entwickelt, der auf Minimierung des beheizten Gebäudevolumens setzt und durch eine Halbfertigteilbauweise auch die Baukosten deutlich senkt. Die Architekten setzten zwei parallele, volumen-optimierte Wohnriegel mit Satteldach um. Das Verhältnis von Gebäudehülle zum umbauten Raum ist energetisch günstig und ein wichtiger entwurfstechnischer Schritt für ein NZEB-Konzept.

Besonderheiten des Energiekonzepts:

- Haustechnikzentrale im Dachgeschoss
- zentrale Lage der wohnungsweisen Schächte an der Mittelschotte
- Zuluft über Fassade (Fensterfalz)
- Wärmerückgewinnung aus der Abluftanlage
- Photovoltaik: Strom wird für die Wärmepumpe und Lüftung verwendet und an die Mieter verkauft
- Frischwasserstation
- Zentrale Leitungsführung (nicht im Bodenaufbau)
- Kompaktes Bad mit möglichst geringen Leitungswegen

Quelle: ABG und schneider+schumacher

Photovoltaikanlage
Wechselrichter
Abluftanlage WRG-Wärmepumpe
Pufferspeicher
Gas-Brennwertkessel
Haushaltsstrom/Beleuchtung
Frischwasserstation
Warmwasser
Heizkörper

Quelle: Fraunhofer IBP (auf Grundlage des Energiekonzepts von EGS-plan)

Architektur: schneider+schumacher Architekten, Frankfurt am Main
Investor: ABG FRANKFURT HOLDING GmbH
Tragwerksplanung: bauart Konstruktions GmbH & Co. KG
Energiekonzept: EGS-plan Ingenieurgesellschaft für Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH
Anzahl der Wohneinheiten: 46 Wohnungen (2 bis 4 Zimmer)
Anzahl der Gebäude: 2 Wohngebäude mit 3 bzw. 4 Vollgeschossen
Anzahl der Parkplätze: 32 in der Tiefgarage sowie CarSharing Service
Wohnfläche gesamt: 2949 m²

14

Frank Junker, Vorsitzender der Geschäftsführung, ABG FRANKFURT HOLDING GmbH (Investor, Wohnungsbaugenossenschaft)
Wir bauen preiswert, aber nicht billig. Die ABG will zeigen, wie Wohnungsneubau bei heutigen Rahmenbedingungen qualitativ hochwertig, energieeffizient und preisgünstig dargestellt werden kann. Wichtig ist uns, nicht bei der Energieeffizienz zu sparen, um auch die Nebenkosten für die Mieter niedrig zu halten. Wir haben nach Marktbedingungen kalkuliert: Bodenrichtwert nach aktuellem Stand, keine Fördermittel. Damit liegen wir rund 20 Prozent unter den Preisen bei Neubauten der ABG beziehungsweise ein Drittel unter den in Frankfurt auf dem freien Wohnungsmarkt realen Preisen. Durch „serielles Bauen" konnten die Baukosten gesenkt werden. Die Wohnungen basieren auf Standard-Modulen, die sich aneinanderreihen und stapeln lassen. Neben der Wiederholung von Bauelementen wie Treppen und Fenstern tragen einfache Konstruktionsprinzipien, kurze Technikleitungen und eine optimierte Haustechnik dazu bei, die Baukosten so niedrig wie möglich zu halten.

Claudia Dumitru, Bewohnerin einer NZEB-Wohnung
„Nach dem Einzug in unsere Niedrigstenergiehaus-Wohnung stellte ich direkt fest, wie angenehm ruhig es in der Wohnung ist, obwohl wir in Frankfurt wohnen. Im ersten Winter nach dem Einzug bemerkte ich, dass die ganze Wohnung immer schön gleichmäßig warm war, obwohl wir nur selten im Wohnzimmer den Heizkörper verwenden. Der Fußboden ist zudem nie kalt und ich habe keine kalten Füße, und das obwohl wir keine Fußbodenheizung besitzen."

Benedikt Schneemann, Bewohner einer NZEB-Wohnung
„Hohe Nebenkosten, kalte Winter und zu warme Sommer motivierten uns, aus unserer Wohnung in ein Niedrigstenergiehaus umzuziehen. Am Anfang haben wir die Fenster jeden Morgen aufgemacht – einfach nur aus Gewohnheit. Heute machen wir teilweise wochenlang kein Fenster mehr auf. Die Wohnung hat eine mechanische Be- und Entlüftung, daher haben wir keine Notwendigkeit, die Fenster zu öffnen. Der schöne Nebeneffekt: Straßenlärm und Abgase kommen nicht in unsere Wohnung. Wir haben immer frische Luft in der Wohnung, ohne Heizenergie zu verlieren."

Technische Beschreibung des Gebäudes

Konstruktion	Massivbau. Lastabtragung durch querlaufende Stahlbetonschotte und längslaufende Stahlbetondecken. Außenwände aus monolithischem Ziegelmauerwerk. Die Außenfassade ist der statischen Funktionen enthoben.
Außenwand	Monolithischer Wandaufbau: 36,5 cm Mauerziegel U-Wert: 0,18 W/m²K luftdichte Gebäudehülle
Fenster, Balkontüren	Dreifach-Verglasung mit Kunststoff-Fensterrahmen
Heizung	Gas-Brennwertkessel, Luft-Wasser-Wärmepumpe, Pufferspeicher
Lüftung	Zuluftöffnungen in der Fassade, zentrale Abluft mit Wärmerückgewinnung über eine Wärmepumpe
Kühlung	Entfällt
Trinkwarmwasser	Vorerwärmung durch die Abluftwärmepumpe, die Frischwasserstationen in den Wohnungen ermöglichen niedrige Systemtemperaturen
Erneuerbare Energien	Abluftenergie über die Wärmepumpe
Energieeffizienz	Berechneter Jahresheizwärmebedarf: 27 kWh/m²a Berechneter Endenergiebedarf: 22 kWh/m²a Berechneter Primärenergiebedarf: 28 kWh/m²a

Beispiele für NZEBs: DEUTSCHLAND

15

Bild 10:
Frankfurter Klimaschutzhaus als deutsches Fallbeispiel in der Broschüre „Warum Niedrigstenergiehäuser die richtige Wahl sind" [13]. © CoNZEBs.

4.5 AP5: Kosteneinsparungen durch alternative Energiekonzepte

Die nationalen CoNZEBs-Teams haben detaillierte Berechnungen durchgeführt, die die „normale" Art der Erstellung von Niedrigstenergiegebäuden mit alternativen Energiekonzepten an Gebäudehülle und Anlagentechnik miteinander vergleichen. Das Ziel war es, Konzepte zu identifizieren, die in geringeren Investitionskosten resultieren. Dies geschah in drei Schritten:

1. Definition eines typischen Mehrfamilienhauses,
2. Festlegung des typischen Niedrigstenergiehauskonzepts,
3. Vergleich von alternativen Energiekonzepten und Identifikation der Varianten, die im Bereich der Investitionskosten günstiger sind.

Sowohl die typischen Gebäude als auch die typischen Energiekonzepte sind in den vier Ländern aufgrund Baukultur, Klima, verbreitet eingesetzten Technologien und resultierenden Kosten sowie den nationalen Energieniveaus bzw. den jeweiligen Anforderungen und Berechnungsmethoden unterschiedlich. Für Deutschland wurde als typisches NZEB-Energiekonzept (entspricht einem KfW-Effizienzhaus 55, siehe Kapitel 4) ein zentraler Gas-Brennwertkessel in Kombination mit einer thermischen Solaranlage für die Heizung und Warmwasserbe-

reitung, eine zentrale Abluftanlage und eine hohe thermische Gebäudehüllflächenqualität mit U-Werten von 0,08 W/m²K im Dach, 0,10 W/m²K an der Außenwand und 0,20 W/m²K an der Kellerdecke festgelegt. Die Fenster bestehen aus Dreifachverglasung mit einem U-Wert von 0,82 W/m²K. Weitere Kennwerte sind dem CoNZEBs-Bericht „Solution sets and technologies for NZEBs“ [14] zu entnehmen. Bild 11 zeigt eine Ansicht des gewählten typischen Mehrfamilienhauses für Deutschland und das Anlagenschema des typischen NZEB-Energiekonzepts.

Bild 11:
Gewählter Entwurf des typischen deutschen Mehrfamilienhauses für die Berechnungsstudie in CoNZEBs und Anlagenschema des typischen NZEB-Energiekonzepts (definiert als KfW-Effizienzhaus 55). © CoNZEBs.

Die identifizierten alternativen Energiekonzepte mit günstigeren Investitionskosten sind:

1. Dezentrale direkte elektrische Heizung (elektrische Wandflächenheizung) und dezentrale elektrische Warmwasserbereitung, dezentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, PV-Paneele und dezentrale Wärmerückgewinnung aus dem Duschwasser. Dies ermöglicht ein geringeres thermisches Niveau der Gebäudehülle bei Einhaltung der energetischen Anforderungen.

2. Luftheizung über eine zentrale Lüftungsanlage mit Luft-Luft-Wärmepumpe, dezentrale elektrische Warmwasserbereitung und dezentrale Wärmerückgewinnung aus dem Duschwasser; dafür ein geringeres thermisches Niveau der Gebäudehülle.

3. Zentrale Heizung und Warmwasserbereitung über Fernwärme (erzeugt durch Kraft-Wärme-Kopplung aus fossilen Brennstoffen) und zentrale Abluftanlage; dafür ein geringeres thermisches Niveau der Gebäudehülle.

4. Zentrale Heizung und Warmwasserbereitung mit einer Kombination aus Abluftwärmepumpe (in einer zentralen Abluftanlage) und einem Gas-Brennwertkessel, wohnungsweise Frischwasserstationen für die Warmwasserbereitung und PV-Paneele; dafür ein geringeres thermisches Niveau der Gebäudehülle.

Die unterschiedlichen alternativen Energiekonzepte sind in Bild 12 dargestellt.

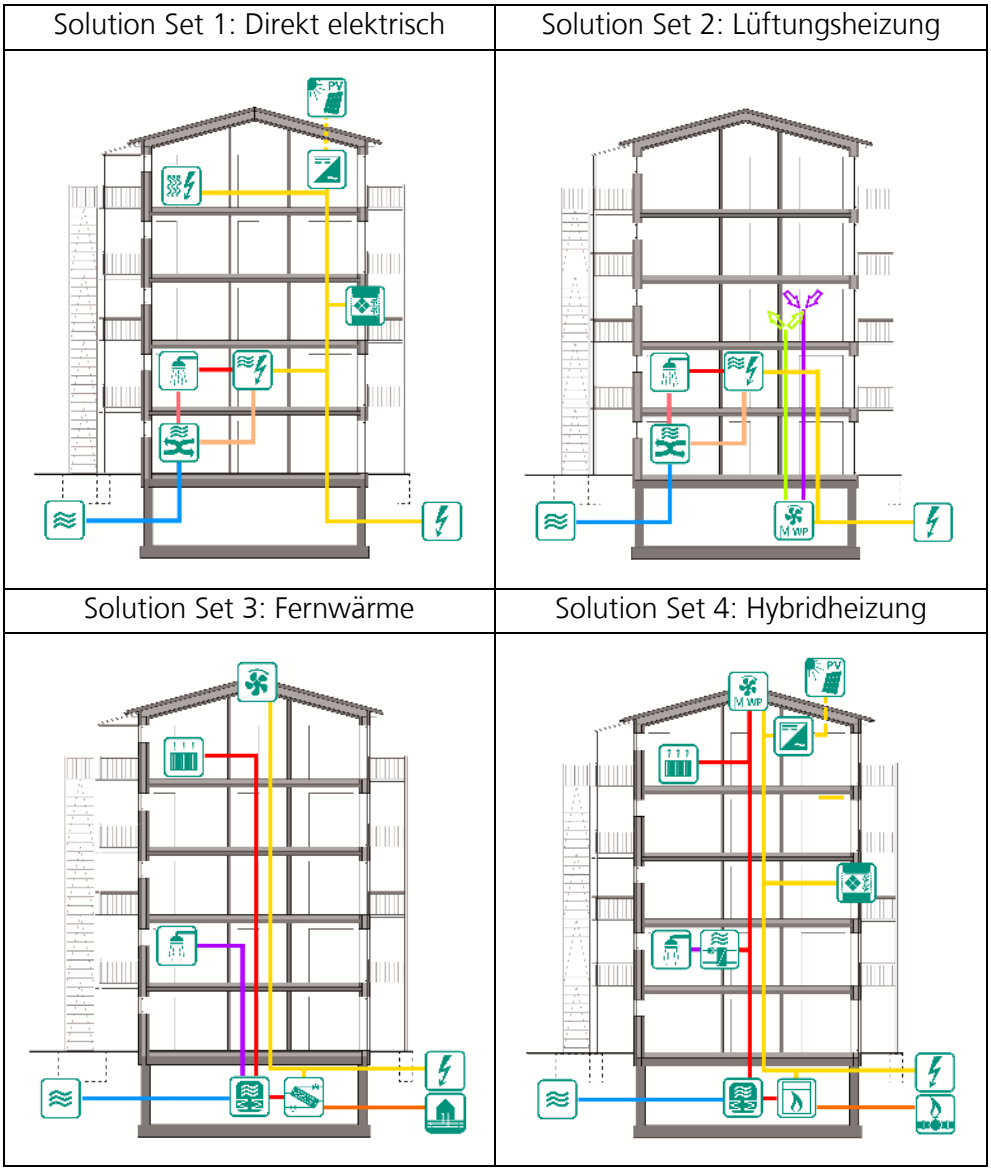


Bild 12:
Schematische Gegenüberstellung der vier alternativen NZEB-Energiekonzepte mit geringeren Investitionskosten. © Fraunhofer IBP.

Für die vier Varianten konnten Investitionskosteneinsparungen gegenüber dem typischen NZEB zwischen 44 €/m²$_{NGF}$ und 84 €/m²$_{NGF}$ ermittelt werden. Die Kostenermittlung basiert auf einer Kostendatenbank [15], die u. a. auch für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen der EnEV-Anforderungen genutzt wird. Im Gegensatz zu den geringeren Investitionskosten ergaben sich für alle Solution

Sets höhere jährliche Energiekosten im Vergleich zum typischen NZEB, siehe Tabelle 2.

Tabelle 2:
Berechnete Energie- und Kostenkennwerte für die Referenzausführung des KfW-Effizienzhaus 55-Gebäudes, die alternativen gleichwertigen Energiekonzepte und das Effizienzhaus Plus.

Zusammenfassung der Solution Sets (alle Werte sind auf die Nettogrundfläche bezogen)			Deutsche Solution Sets					
			Typisches Niedrigstenergiegebäude (Referenz)	Solution Set 1 Direkt elektrisch	Solution Set 2 Lüftungsheizung	Solution Set 3 Fernwärme	Solution Set 4 Hybridheizung	Effizienzhaus Plus
			Zentrale kombinierte Heizungs- und Warmwasserbereitung mit Gas-Brennwertkessel und solarthermischen Kollektoren, Radiatoren, zentrale Abluftanlage, hohes Dämmniveau	Dezentrale direkte elektrische Heizung, dezentrale elektrische Warmwasserbereitung, dezentrale Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, PV auf dem Dach, Wärmerückgewinnung aus dem Duschabwasser, moderates Dämmniveau	Zentrales Zu- und Abluftsystem zur Heizung mit Luft/Luft-Wärmepumpe, dezentrale elektrische Warmwasserbereitung, Wärmerückgewinnung aus dem Duschabwasser, moderates Dämmniveau	Zentrale kombinierte Heizungs- und Warmwasserbereitung mit Fernwärme aus fossiler Kraft-Wärme-Kopplung, Radiatoren, zentrale Abluftanlage, moderates Dämmniveau	Zentrales Heizungssystem mit Abluft/ Wasser-Wärmepumpe unterstützt von einem Gas-Brennwertkessel, zentrale Abluftanlage, Frischwasserstationen, PV auf dem Dach, moderates Dämmniveau	Zentrales Heizungssystem mit Außenluft/Wasser-Wärmepumpe, Fußbodenheizung, Frischwasserstationen, Wärmerückgewinnung aus dem Duschabwasser, dezentrale Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, PV auf dem Dach, etwas moderateres Dämmniveau
Gebäudehüllfläche	Mittlerer U-Wert (inkl. Fenster) Vergleichswerte: $H'_{T,\ Ref.}$ = 0,45 W/m²K $H'_{T,\ KfW\text{-}55}$ = 0,31 W/m²K	W/m²K	0,22	0,31	0,31	0,31	0,31	0,28
Nutzenergie	Gesamt	kWh/(m²a)	35,50	35,42	36,24	41,16	49,39	28,26
Endenergie	Gesamt EPBD	kWh/(m²a)	46,60	22,83	27,00	65,48	38,27	11,09 (-21,40)*
	Gesamt (inkl. Nutzerstrom/Licht)	kWh/(m²a)	71,60	47,83	52,00	90,48	63,27	36,09 (-1,40)*
Primärenergie	Gesamt EPBD	kWh/(m²a)	48,85	41,09	48,60	48,39	47,60	19,96 (-38,25)*
	Gesamt (inkl. Nutzerstrom/Licht)	kWh/(m²a)	93,85	86,09	93,60	93,39	92,60	55,96 (-2,52)*
Energiekosten	Gesamt EPBD	€/(m²a)	3,33	6,43	6,91	7,00	4,22	-1,93
	Gesamt (inkl. Nutzerstrom/Licht)	€/(m²a)	10,69	14,08	14,27	14,91	11,58	3,95*
Investitionskosten	Differenz zum typischen Niedrigstenergiegebäude	€/m²	-	-84	-84	-83	-44	+107

* Für das Effizienzhaus Plus wird ein reduzierter Bedarf für Nutzerstrom/Licht von 20 kWh/m²a angesetzt. Die Zahlen in den Klammern stellen die Kennwerte inklusive Berücksichtigung der Stromeinspeisung dar.

Zusätzlich wurde noch ein Energiekonzept mit noch besserem energetischen Niveau bewertet, ein Effizienzhaus Plus [21]. Die Hauptkomponenten des Energiekonzepts der Effizienzhaus-Plus-Variante sind eine Außenluft/Wasser-Wärmepumpe, Frischwasserstationen, dezentrale Lüftungsanlagen mit Wärme-

rückgewinnung und einer größeren PV-Anlage auf dem Dach. Die opake Gebäudehüllfläche weist ein Niveau zwischen dem typischen NZEB (hohes thermisches Niveau) und den alternativen Solution Sets auf, die Fenster bestehen aus einer Dreifachverglasung.

Die anderen Teilnehmerländer haben ebenfalls Lösungsansätze für reduzierte Investitionskosten entwickelt. Bei der Übertragung dieser Solution Sets müssen die unterschiedlichen Startpunkte (Referenzenergiekonzepte) in Betracht gezogen werden. Deshalb sind z. B. Solution Sets, die auf der Addition von Solarthermie beruhen, nicht attraktiv, weil diese bereits im Referenzfall enthalten ist, u. a. zur Erfüllung des EEWärmeG [22]. Es ist auch schwierig, komplette Lösungsansätze zu übertragen, da die Ausgangssituationen unterschiedlich sind. Ansätze wie effizienteres Dämmmaterial oder Vierfachverglasung (Solution Set aus Dänemark) müssen in Relation zum Referenzfall mit nationalen Kosten bewertet werden. Als interessante Technologien (d. h. Teile von Solution Sets) wurden vom deutschen CoNZEBs-Team identifiziert:

- Energiesparende Armaturen (Dänemark, Slowenien): Zwei Dinge müssen allerdings berücksichtigt werden:
    - Sie führen zu einem leicht geringeren Komfort.
    - Sie haben keine Auswirkung auf den berechneten Energieverbrauch, da die deutsche Bewertungsmethode den Trinkwarmwasserbedarf für Mehrfamilienhäuser zu 15 kWh/m^2_{NGF}a bestimmt, unabhängig von der Art der Armaturen.
- Photovoltaik auf dem Dach (Dänemark): Diese unterstützt die Kosteneffizienz von elektrischen Systemen, z. B. Lüftungssystemen oder direkter elektrischer Heizung und ist bereits Bestandteil von zwei deutschen Solution Sets. Entgegen dem Entwurf des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) kann in der finalen Version des GEG [23] der PV-Strom weiterhin für den Stromverbrauch von direkten elektrischen Heizsystemen gegengerechnet werden.
- Direkte elektrische Heizung (Italien) und feuchteabhängige oder nutzerabhängige Regelung der Lüftung (Slowenien): Diese sind ebenfalls bereits Bestandteile von deutschen Lösungsansätzen.
- Die Optimierung der thermischen Qualität der Hüllflächen, also die Balance zwischen den U-Werten von Fenstern, Wänden, Dach/oberste Geschossdecke und Kellerdecke (Dänemark und Italien): Die deutschen Lösungsansätze haben den Fokus auf alternativen Technologien, d. h. alternativen Energiekonzepten. Es kann jedoch vermutet werden, dass kleinere Investitionskosteneinsparungen auch durch ein feineres Austarieren der Gebäudehüllflächen erreicht werden können. Das wäre dann allerdings sehr stark vom realen Gebäude, dem Standort des Gebäudes und dem Baujahr abhängig und kann sich schnell ändern.

- Verbesserte Luftdichtheit (Slowenien): Der Einfluss einer noch dichteren Gebäudehülle wird durch die deutsche Bewertungsmethode abgebildet und führt dazu, dass bei anderen Komponenten (z. B. bei den U-Werten der Gebäudehülle) Einsparungen möglich sind. Wenn hier nur die Investitionskosten berücksichtigt werden, würde es auch in Deutschland zu Einsparungen führen. Andererseits würde es einen höheren Planungsaufwand und Kosten für einen Luftdichtheitstest bedingen. Letzterer muss jedoch sowieso durchgeführt werden, wenn eine Lüftungsanlage im Energieausweis berücksichtigt werden soll.

Der Bericht [14] enthält zusätzlich noch Beschreibungen von Technologien, die zumindest in einigen Ländern nicht standardmäßig eingesetzt werden: große Gasbetonbausteine, Monoblock-Fenster, hocheffiziente Dämmung, Vierfachverglasung, verbesserte Luftdichtheit, feuchteabhängige Lüftungsregelung, dezentrale Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, Wärmepumpen in Verbindung mit Abluftanlagen oder in Verbindung mit einer Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung, energiesparende Armaturen, Wärmerückgewinnung aus Grauwasser (zentral und dezentral), Frischwasserstationen und elektrische Direktheizung (Infrarotheizung).

4.6 AP7: Lebenszykluskosten und Ökobilanzierung

Das typische NZEB-Energiekonzept und die vier alternativen Solution Sets sowie das Effizienzhaus-Plus-Energiekonzept wurden zusätzlich bezüglich ihrer Lebenszykluskosten und der Ökobilanz (Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen inkl. Aufwand für die Erstellung und die Umsetzung auf der Baustelle) bewertet. Bild 13 zeigt die im Vergleich zum EnEV-Niveau ermittelten Lebenszykluskosten als Kapitalwert des typischen NZEB, der alternativen NZEB Solution Sets (hier dargestellt als Spanne) und des Effizienzhauses Plus (= beyond NZEB).

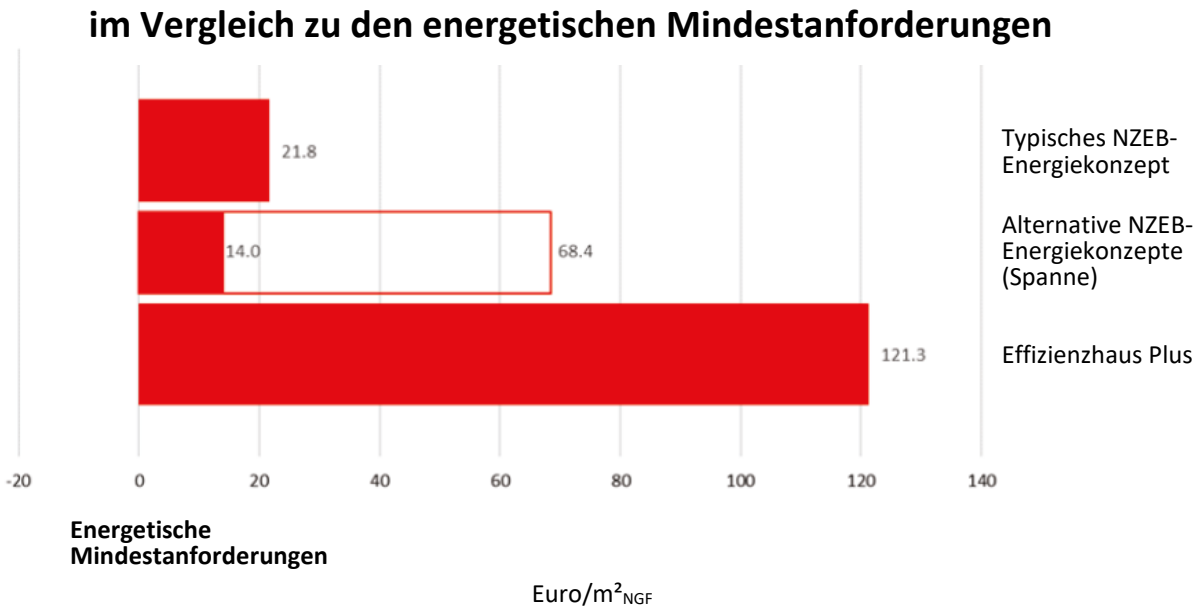


Bild 13:
Lebenszykluskostendifferenz (Kapitalwertdifferenz) über 30 Jahre in €/m²$_{NGF}$ als Vergleich zwischen typischen NZEB (oben), Spanne der alternativen NZEB-Solution-Sets (mittig) und Effizienzhaus Plus (unten). Die Nulllinie stellt ein Gebäude auf dem Niveau der derzeitigen energetischen Mindestanforderungen dar. © CoNZEBs.

Es zeigt sich, dass das Gebäude entsprechend der energetischen Mindestanforderungen (EnEV) über 30 Jahre gerechnet, mit Berücksichtigung der Investitionskosten, der Energiekosten, der Instandhaltungskosten und der Ersatzkosten, die kostengünstigste Variante ist. Alle NZEB-Konzepte und das Effizienzhaus Plus weisen höhere Lebenszykluskosten auf. Im Vergleich zum typischen NZEB führen die alternativen NZEB-Solution-Sets teilweise zu geringeren Lebenszykluskosten (Solution Sets 3 und 4), teilweise zu höheren Lebenszykluskosten (Solution Sets 1 und 2). Das Effizienzhaus Plus weist über 30 Jahre noch die höchsten Lebenszykluskosten auf.

Betrachtet man die Kapitalwerte der alternativen NZEB-Solution-Sets im Vergleich zum typischen NZEB-Energiekonzept detailliert, siehe Bild 14, so erkennt man, dass alle vier Solution Sets geringere Investitionskosten aufweisen (das war ja die Zielvorgabe), aber in den Bereichen Ersatz, Instandhaltung und Energiekosten meist höhere Werte aufweisen. Eine Ausnahme ist hier das Solution Set 3 (Fernwärme), welches bis auf den Anteil der Energiekosten überall bessere Kapitalwerte ergibt.

Lebenszykluskosten über 30 Jahre im Vergleich zum typischen NZEB

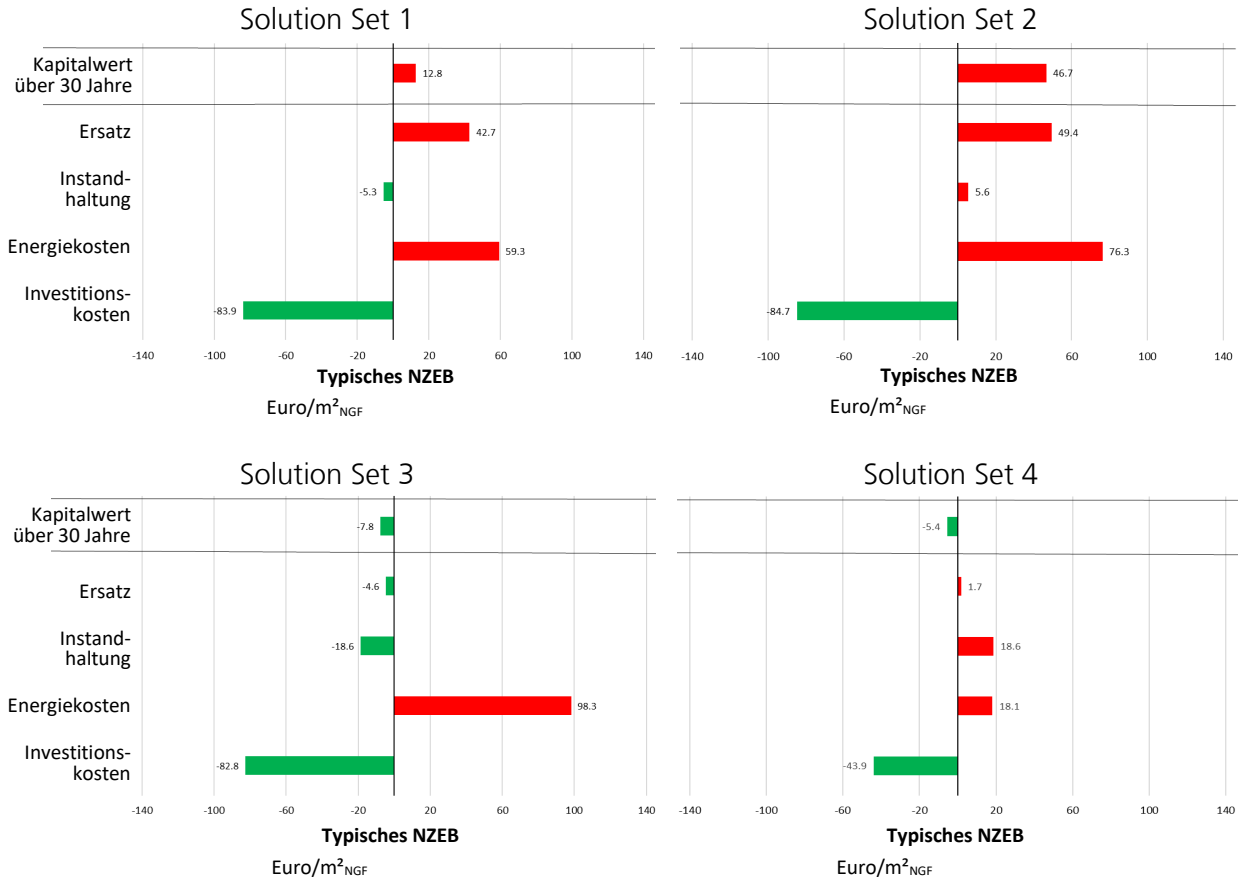


Bild 14:
Lebenszykluskostendifferenz (Kapitalwertdifferenz) der vier alternativen NZEB-Energiekonzepte im Vergleich zum typischen NZEB insgesamt und aufgeteilt auf die Anteile Ersatz, Instandhaltung, Energiekosten und Investitionskosten. © CoNZEBs.

Die Ökobilanz, die die Phasen Herstellung und Gebäudebetrieb beinhaltet, wurde für die Indikatoren Treibhausgasemissionen und nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf berechnet. Bei den Treibhausgasemissionen ergibt sich der deutlich günstigste Wert für das Effizienzhaus Plus gefolgt von den Solution Sets 3 und 1 und dem typischen NZEB sowie dem Solution Set 4. Das Gebäude gemäß energetischen Minimalanforderungen erweist sich als ungünstigste Variante. Bild 15 zeigt den Vergleich der Treibhausgasemissionen der Varianten.

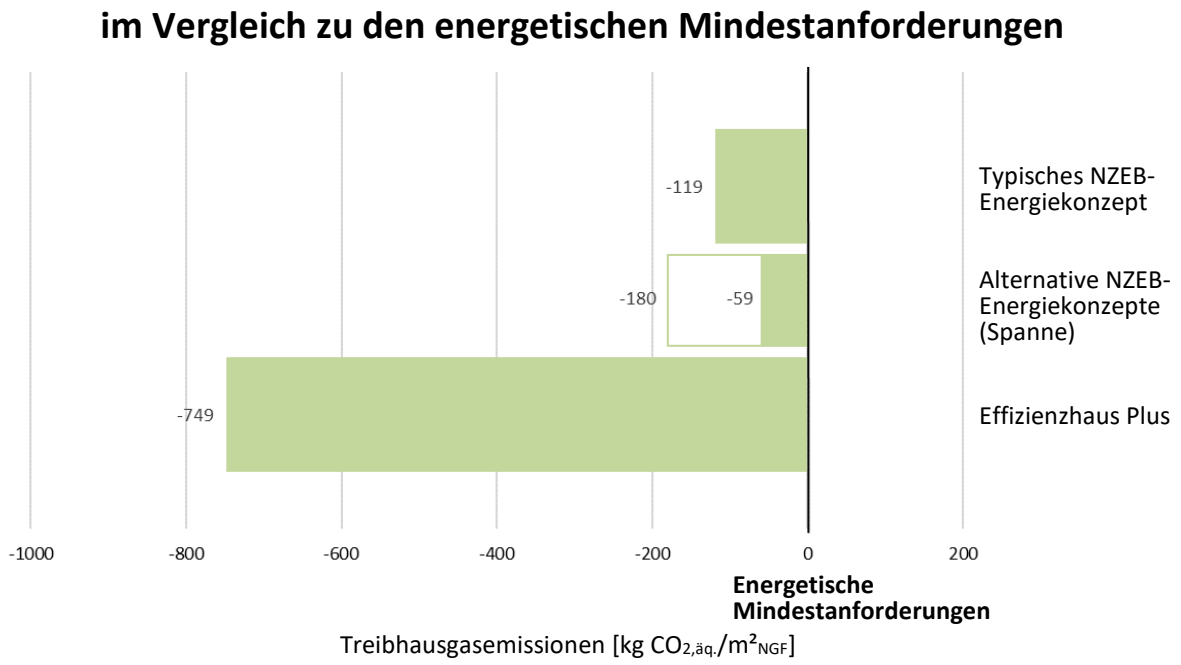


Bild 15:
Ökobilanz über 30 Jahre mit Indikator Treibhausgasemissionsdifferenz in kg $CO_{2,äq.}/m^2_{NGF}$ als Vergleich zwischen typischen NZEB (oben), Spanne der alternativen NZEB Solution Sets (mittig) und Effizienzhaus Plus (unten). Die Nulllinie stellt ein Gebäude auf dem Niveau der derzeitigen energetischen Mindestanforderungen dar. © CoNZEBs.

Beim nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf ergibt sich ebenfalls der deutlich günstigste Wert für das Effizienzhaus Plus, gefolgt von den NZEB Solution Sets 1, 3, 2 und 4 sowie dem typischen NZEB. Das Gebäude gemäß energetischen Minimalanforderungen erweist sich auch hier als ungünstigste Variante. Bild 16 zeigt den Vergleich der Treibhausgasemissionen der Varianten.

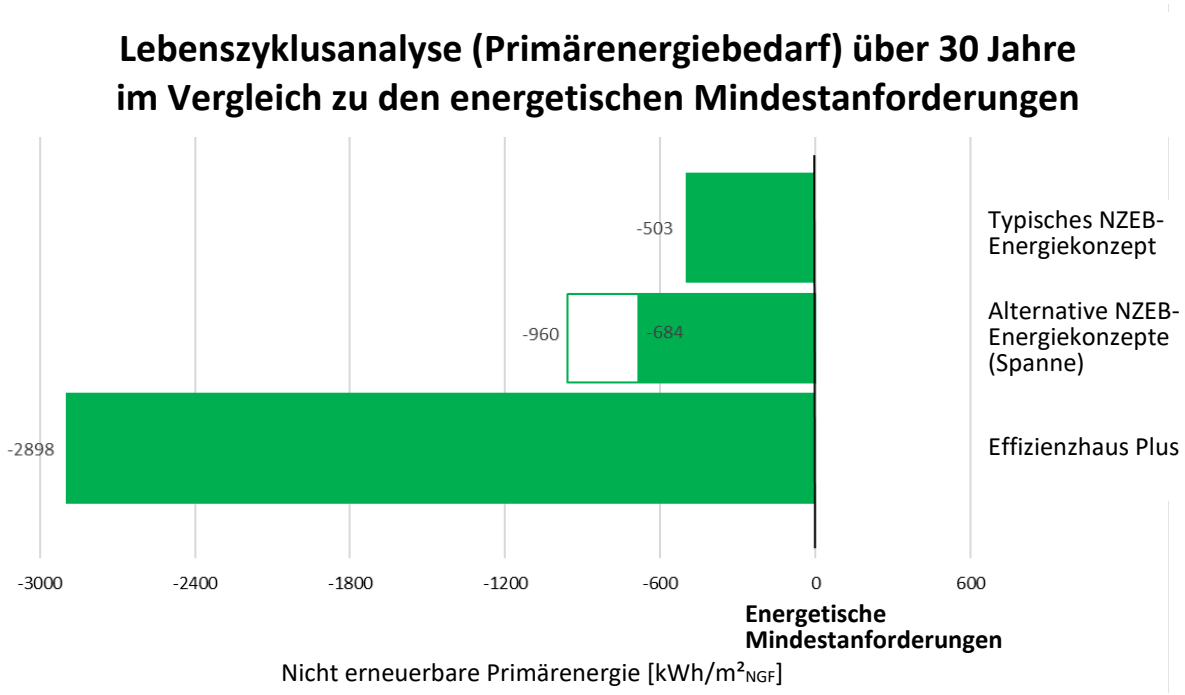


Bild 16:
Ökobilanz über 30 Jahre mit Indikator nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf in kWh/m²$_{NGF}$ als Vergleich zwischen typischen NZEB (oben), Spanne der alternativen NZEB Solution Sets (mittig) und Effizienzhaus Plus (unten). Die Nulllinie stellt ein Gebäude auf dem Niveau der derzeitigen energetischen Mindestanforderungen dar. © CoNZEBs.

Die Datenquellen für die Berechnungen beinhalten unter anderem die VDI 2067 [16] und eine DGNB-Datenbank [17]. Weitere Details zu den Berechnungen, wie das genutzte Tool, die verwendeten Primärenergiefaktoren, die CO_2-Äquivalenzen und die finanziellen Kennwerte, sind dem CoNZEBs-Bericht „Life cycle assessment of typical multi-family houses with different energy performance levels“ [18] zu entnehmen.

Die detaillierten Lebenszyklusberechnungen für die deutsche Situation haben gezeigt, dass es intelligente Energiekonzepte für NZEBs (KfW-Effizienzhäuser 55) gibt, die niedrigere Investitionskosten nicht nur im Vergleich mit dem typischen KfW-Effizienzhaus 55 ergeben, sondern sogar im Vergleich mit den Mindestanforderungen der EnEV. Viele davon gehen in die Richtung, Strom für die Heizung zu nutzen, entweder als Direktstromheizung oder über strombetriebene Wärmepumpen. Die Kosteneinsparungen sind teilweise durch die eingesparten Kosten für Verteilleitungen und Übergabesysteme (Radiatoren) begründet. Andere alternative Energiekonzepte mit niedrigeren Investitionskosten basieren auf Fernwärme mit niedrigem Primärenergiefaktor, z. B. aus Kraft-Wärme-Kopplung. Beide Lösungsansätze führen zu einer Heizenergieerzeugung, die primärenergetisch effizienter ist als das Standardsystem im typischen NZEB und in der Variante, die genau die energetischen Mindestanforderungen erfüllt: den Gas-Brennwertkessel. Dadurch können bei gleichem Energiever-

brauch zum Ausgleich Reduzierungen an der Wärmedämmung der Gebäudehülle erfolgen, die zu Investitionskosteneinsparungen führen.

Leider erreichte kein alternatives NZEB-Energiekonzept geringere Lebenszykluskosten (einen besseren Kapitalwert) als die energetischen Mindestanforderungen, obwohl drei Lösungsansätze in einen mit maximal 20 €/m²$_{NGF}$ nur geringfügig höheren Kapitalwert über 30 Jahre resultieren. Dies bedeutet zusätzliche Kosten von 5,5 Cent/m²$_{NGF}$ im Monat oder 3,67 €/Monat für eine durchschnittliche Wohnung. Dies sind niedrige Zusatzkosten, die beim Bau eines neuen Mehrfamilienhauses akzeptiert werden sollten, umso mehr, wenn möglicherweise bald höhere CO_2-Steuern eingeführt werden. Selbst das Effizienzhaus-Plus-Niveau wird unter Berücksichtigung der KfW-Förderung „KfW-Effizienzhaus 40 Plus“ wirtschaftlich bei der Betrachtung der Lebenszykluskosten über 30 Jahre.

Die Ökobilanz-Ergebnisse sind im Vergleich zum Gebäude, dass die energetischen Mindestanforderungen erfüllt, positiv für das typische NZEB, die alternativen NZEB-Lösungsansätze und sehr positiv für das Effizienzhaus Plus, sowohl bei den Treibhausgasemissionen als auch bei der nicht erneuerbaren Primärenergie bei einer Betrachtungszeit von 30 Jahren.

Der CoNZEBs-Bericht „Life cycle assessment of typical multi-family houses with different energy performance levels“ [18] enthält auch die entsprechenden Berechnungsergebnisse für die anderen drei Länder und vergleicht die Treibhausgaseinsparungen zur Veranschaulichung mit Emissionen aus unterschiedlichen Transportmitteln sowie mit den CO_2-Äquivalenz-Reduktionen durch Bäume.

4.7 AP6: Zukunftsfähigkeit der Energiekonzepte

Um zu ermitteln, welche der NZEB-Varianten unter Berücksichtigung der abzusehenden Änderungen bei unterschiedlichen Einflussparametern auch im Jahre 2030 noch attraktiv sind und wie sich dann das Effizienzhaus Plus im Vergleich dazu darstellt, wurden in diesem weiteren Arbeitspaket einzelne Parameter variiert und die Berechnungsergebnisse mit den Resultaten aus den Berechnungen zum Stand 2018 (Kapitel 4.5 und CoNZEBs-Bericht [14]) verglichen. Dabei wurde davon ausgegangen, dass sich folgende Kenngrößen bis zum Jahr 2030 in Deutschland verändern:

1. Primärenergiefaktoren: Starke Reduktion beim Strom und geringere Reduktion bei der Fernwärme.

2. Energiepreise: Anstieg bei allen Energieträgern, besonders, wenn eine höhere CO_2-Bepreisung gegenüber den derzeitigen Beschlüssen berücksichtigt wird.

3. Technologiekosten: Genereller Anstieg, aber PV-Anlagen und elektrische Wärmepumpen werden im Vergleich günstiger.

4. Technologieeffizienzen: Höhere Effizienzen bei Luft-Wasser-Wärmepumpen, PV-Anlagen und dreifachverglasten Fenstern.

5. Klima: Temperaturanstieg im Mittel von 1,3 K.

Zusätzlich wurden Ergebnisse für die Kombination der Faktoren 1 bis 4 ermittelt. Diese werden in Tabelle 4 präsentiert. Die zugrundeliegenden unterschiedlichen Randbedingungen für die Betrachtungsjahre 2018 und 2030 sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3:
Vergleich der unterschiedlichen Randbedingungen für die Betrachtungsjahre 2018 und 2030.

Kennwert				2018	2030
Primär-energie-faktoren	Netzstrom			1,8	0,65
	PV-Strom eingespeist ins Netz (Auswirkung auf den Primärenergie-bedarf wird nur beim Effizienzhaus Plus berücksichtigt)			1,8	0,65
	Fernwärme			0,7	0,5
	Erdgas			1,1	1,1
Energie-kosten	Netz-strom	Normal		0,29 €/kWh	0,38 €/kWh
		Wärmepumpe		0,22 €/kWh	0,31 €/kWh
	PV-Strom eingespeist ins Netz			0,10 €/kWh	0 €/kWh
	Fernwärme			0,10 €/kWh	0,13 €/kWh
	Erdgas			0,05 €/kWh	0,11 €/kWh
Techno-logie-kosten	PV-System			200 €/m²	200 €/m² * 0,55 = 110 €/m²
	Wärme-pumpen	Solution Set 2: 34 kW		26.520 €	0,9 * 26.520 € = 23.868 €
		Solution Set 4: 9 kW		12.033 €	0,9 * 12.033 € = 10.830 €
		Effizienzhaus Plus: 63 kW		55.377 €	0,9 * 55.377 € = 49.839 €
Techno-logieeffi-zienzen	Luft-Wasser-Wärme-pumpe	Solution Set 4	Heizung (JAZ)	3,74	3,74 * 1,1 = 4,11
			TWW (JAZ)	3,33	3,33 * 1,1 = 3,66
		Effizienz-haus Plus	Heizung (JAZ)	2,95	2,95 * 1,1 = 3,25
			TWW (JAZ)	1,82	1,82 * 1,1 = 2,00
	PV-System: Wirkungsgrad			16 %	16 * 1,1 = 17,6 %
	Dreifachverglaste Fenster: U-Wert			0,82 W/m²K	0,72 W/m²K
Klima-verän-derung	Mittlerer Temperaturanstieg (DWD-Wetterdaten, TRY)			-	+ 1,3 K

Tabelle 4:
Vergleich der berechneten Energie- und Kostenkennwerte für die Referenzausführung des KfW-Effizienzhaus 55-Gebäudes, die alternativen gleichwertigen Energiekonzepte und das Effizienzhaus Plus mit den Randbedingungen für 2018 und 2030 (grüne Werte).

Zusammenfassung der Solution Sets (alle Werte sind auf die Nettogrundfläche bezogen)			Deutsche Solution Sets					
			Typisches Niedrigstenergiegebäude (Referenz)	Solution Set 1 Direkt elektrisch	Solution Set 2 Lüftungsheizung	Solution Set 3 Fernwärme	Solution Set 4 Hybridheizung	Effizienzhaus Plus
			Zentrale kombinierte Heizungs- und Warmwasserbereitung mit Gas-Brennwertkessel und solar thermischen Kollektoren, Radiatoren, zentrale Abluftanlage, hohes Dämmniveau	Dezentrale direkte elektrische Heizung, dezentrale elektrische Warmwasserbereitung, dezentrale Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, PV auf dem Dach, Wärmerückgewinnung aus dem Duschabwasser, moderates Dämmniveau	Zentrales Zu- und Abluftsystem zur Heizung mit Luft/Luft-Wärmepumpe, dezentrale elektrische Warmwasserbereitung, Wärmerückgewinnung aus dem Duschabwasser, moderates Dämmniveau	Zentrale kombinierte Heizungs- und Warmwasserbereitung mit Fernwärme aus fossiler Kraft-Wärme-Kopplung, Radiatoren, zentrale Abluftanlage, moderates Dämmniveau	Zentrales Heizungssystem mit Abluft/ Wasser-Wärmepumpe unterstützt von einem Gas-Brennwertkessel, zentrale Abluftanlage, Frischwasserstationen, PV auf dem Dach, moderates Dämmniveau	Zentrales Heizungssystem mit Außenluft/ Wasser-Wärmepumpe, Fußbodenheizung, Frischwasserstationen, Wärmerückgewinnung aus dem Duschabwasser, dezentrale Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, PV auf dem Dach, etwas moderateres Dämmniveau
Gebäudehüllfläche	Mittlerer U-Wert (inkl. Fenster) Vergleichswerte: $H'_{T,\,Ref.}$ = 0,45 W/m²K $H'_{T,KfW\,55}$ = 0,31 W/m²K	W/m²K	0,22	0,31	0,31	0,31	0,31	0,28
Nutzenergie	Gesamt	kWh/(m²a)	35,50	35,42	36,24	41,16	49,39	28,26
Endenergie	Gesamt EPBD	kWh/(m²a)	46,60 -> 45,39	22,83 -> 21,49	27,00	65,48	38,27 -> 37,39	11,09 (-21,40)* 10,43 (-26,29)*
	Gesamt (inkl. Nutzerstrom/Licht)	kWh/(m²a)	71,60 -> 70,39	47,83 -> 46,49	52,00	90,48	63,27 -> 62,39	36,09 (-1,40)* 30,43 (-6,29)*
Primärenergie	Gesamt EPBD	kWh/(m²a)	48,85 -> 43,71	41,09 -> 13,97	48,60 -> 17,55	48,39 -> 33,09	47,60 -> 33,28	19,96 (-38,25)* 6,78 (-14,34)*
	Gesamt (inkl. Nutzerstrom/Licht)	kWh/(m²a)	93,85 -> 59,96	86,09 -> 30,22	93,60 -> 33,80	93,39 -> 49,34	92,60 -> 49,53	55,96 (-2,52)* 19,78 (-1,34)*
Energiekosten	Gesamt EPBD	€/(m²a)	3,33 -> 5,89	6,43 -> 8,17	6,91 -> 8,31	7,00 -> 9,09	4,22 -> 6,48	-1,93 -> 0,52
	Gesamt (inkl. Nutzerstrom/Licht)	€/(m²a)	10,69 -> 15,39	14,08 -> 17,67	14,27 -> 17,81	14,91 -> 18,59	11,58 -> 15,99	3,95* -> 8,12*
Investitionskosten	Differenz zum typischen Niedrigstenergiegebäude	€/m²	-	-84 -> -96	-84 -> -87	-83	-44 -> -46	+107 -> +74

* Für das Effizienzhaus Plus wird ein reduzierter Bedarf für Nutzerstrom/Licht von 20 kWh/m²a angesetzt. Die Zahlen in den Klammern stellen die Kennwerte inklusive Berücksichtigung der Stromeinspeisung dar.

Die Ergebnisse der kombinierten Faktoren zeigen, dass folgende Solution Sets im Jahr 2030 noch attraktiver werden:

- Solution Set 1 mit der dezentralen elektrischen Heizung und Warmwasserbereitung und der PV-Anlage. Dieses System profitiert von den niedrigeren Primärenergiefaktoren für Strom, der höheren Effizienz und den vergleichsweise günstigeren Kosten der PV-Anlage in 2030.

- Solution Set 4 mit der Kombination aus Luft-Wasser-Wärmepumpe und Gas-Brennwertkessel und der kleinen PV-Anlage. Hier bleiben die Energiekosten vergleichsweise günstig und die Lösung wird durch die effizientere Wärmepumpe und PV-Anlage noch attraktiver.

- Effizienzhaus Plus (als beyond NZEB) mit der Luft-Wasser-Wärmepumpe und der großen PV-Anlage. Es profitiert von den günstigeren Primärenergiefaktoren, den besseren Effizienzen der Wärmepumpe, der PV-Anlage und der Dreifachverglasung und den relativ günstiger werdenden Kosten für PV und Wärmepumpe. Im Vergleich zum typischen NZEB beträgt die statische Rückzahldauer nur noch sechs bis sieben Jahre.

Wie schon in anderen Kapiteln erläutert sind die Ergebnisse aus den vier beteiligten Ländern nicht einfach miteinander vergleichbar, u. a. sind bereits die typischen Niedrigstenergiekonzepte stark abweichend und darauf basierend auch die nationalen Solution Sets sehr verschieden. Trotzdem können zwei generelle Schlussfolgerungen getroffen werden:

1. Das „Beyond NZEB"-Gebäudeniveau (für Deutschland das Effizienzhaus Plus) wird finanziell attraktiver, wenn man die Randbedingungen für 2030 berücksichtigt. Die Rückzahldauern der erhöhten Investitionen werden im Vergleich zum typischen Niedrigstenergiegebäude (für Deutschland KfW-Effizienzhaus 55) kürzer, weil unter anderem die Wärmepumpen und die PV-Systeme im Verhältnis günstiger werden und die Technologieeffizienzen sich weiter verbessern.

2. Alternative Energiekonzepte mit elektrischen Wärmepumpen oder (wo zulässig) direkter elektrischer Heizung, jeweils in Kombination mit PV-Systemen, profitieren im Vergleich mit dem typischen Niedrigstenergiegebäude von den Änderungen an den Randbedingungen für das Jahr 2030.

Die Hintergründe und Quellen der Kennwerte für die Einflussfaktoren in 2030 sowie die Einzelbetrachtungen und die Ergebnisse für alle vier beteiligten Länder sind im CoNZEBs-Bericht „Solution sets for NZEB multi-family houses and beyond assessed for 2030" [19] aufgeschlüsselt.

4.8 AP8: Kommunikation & Dissemination

Die Kommunikation und Dissemination der Projektergebnisse umfasste folgende Aktionen und Maßnahmen:

- Nationale Veranstaltungen zur Präsentation der Projektergebnisse und Diskussion mit Wohnbaugesellschaften und Planern: Der deutsche Event fand am 13. Juni 2019 in Frankfurt statt und wurde von der ABG Frankfurt Holding in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IBP organisiert. Unter dem Titel „Maßnahmen zur Kostensenkung von Niedrigstenergiegebäuden im Geschosswohnungsbau“ erlebten 126 Teilnehmer sieben Präsentationen und neben Diskussionen auch eine elektronische Frage- und Antwortrunde mit dem Tool Slido. Der Event wurde von den Teilnehmern durchschnittlich mit 4,4 Punkten von maximal 5 Punkten bewertet. Je nach Teilnehmeranzahl wurden die Diskussionen in den insgesamt vier Veranstaltungen in Deutschland, Dänemark, Italien und Slowenien unterschiedlich durchgeführt. So enthielt die dänische Veranstaltung zum Beispiel Gruppenarbeiten an runden Tischen. Alle Veranstaltungen wurden jedoch von den Teilnehmern als hochwertig bewertet und vom Projektteam als sehr erfolgreich eingeschätzt.

Bild 17:
Präsentation der CoNZEBs-Ergebnisse auf dem Workshop „Maßnahmen zur Kostensenkung von Niedrigstenergiegebäuden im Geschosswohnungsbau“ in Frankfurt. © ABG Frankfurt.

- Beiträge zu Newslettern: Abgesehen von der Projektwebseite, die einen eigenen Newsbereich und einen Extra-Bereich für Social Media-Veröffentlichungen beinhaltet, war es das Ziel, im Projekt Beiträge in bereits existierende Newsletter, vor allem die der beteiligten Wohnungsbaugesellschaften, unterzubringen, um so ein größeres Publikum zu erreichen. Insgesamt wurden 22 Newsletterbeiträge über Projektinhalte veröffentlicht.

- Projektwebseite: Die Projektwebseite www.conzebs.eu [24], siehe Bild 18, war seit dem 6. Projektmonat aktiv und wurde kontinuierlich mit Projektergebnissen und Projektnews gefüllt.

Bild 18:
Screenshot der Projektwebseite www.conzebs.eu [24] zum Zeitpunkt des Projektendes. © CoNZEBs.

- Open-Access-Konferenzbeiträge (Paper) und Policy Paper: Insgesamt wurden 10 Open-Access-Konferenzbeiträge mit Projektergebnissen veröffentlicht. Zusätzlich wurden das Projekt bzw. Projektinhalte in externen nationalen und internationalen Veröffentlichungen erwähnt, z. B. in [25] und [26]. Das Fraunhofer IBP schrieb zwei internationale Konferenzbeiträge ([27] und [28]).

- Präsentationen auf Konferenzen, Workshops und Messen: Die Projektpartner haben insgesamt 23 Präsentationen auf internationalen Konferenzen, Workshops und Messen gehalten. Das Fraunhofer IBP präsentierte da-

bei neunmal Projektergebnisse, darunter auf der Concerted-Action-Plattform, auf der BAU 2019, auf den Berliner Energietagen 2019, auf der CLIMA 2019 Konferenz, auf der IAQVEC 2019 Konferenz und auf den 13. Projekttagen der Bauforschung 2019.

- Beiträge für das EU-BUILD-UP-Portal: Das Fraunhofer IBP hat im Namen des Projekts insgesamt 18 Beiträge auf dem EU BUILD UP Portal [29] eingestellt. Die Beiträge umfassten u. a. Ankündigungen der nationalen Veranstaltungen und Veröffentlichungen zu den Projektergebnissen.

- Artikel in Fachzeitschriften: Die Projektpartner haben insgesamt 18 Artikel über die Projektergebnisse in Fachzeitschriften veröffentlicht. Das Fraunhofer IBP trug dazu drei Veröffentlichungen bei, darunter zwei in der Fachzeitschrift Gebäude Energieberater ([30] und [31]).

- Social Media: Das Projektteam nützte 31 Mal die Sozialen Medien, um das Projekt und die Projektergebnisse zu disseminieren. Dabei kamen sowohl Facebook, LinkedIn als auch Twitter zum Einsatz. Das Fraunhofer IBP nutzte achtmal die Sozialen Medien. Viele der Social Media-Beiträge sind auf der Projektwebseite eingespeist.

- Advisory Boards: In allen vier Ländern wurde eine Beratungsgruppe etabliert, die Input und Feedback zu den Arbeiten einbrachte, bei einzelnen Projektmeetings teilnahm und auch bei den nationalen Events auftrat. Das deutsche Advisory Board bestand aus Mitgliedern des Bauministeriums und des Bundesinstituts für Bau-, Stadt und Raumforschung.

5 Ausblick und Empfehlungen

Die Analysen und Berechnungen im CoNZEBs-Projekt für die deutsche Situation haben gezeigt, dass die anhand realisierter Mehrfamilienhäuser ermittelte Investitionskostendifferenz zwischen einer Umsetzung gemäß der energetischen Mindestanforderungen (EnEV 2014/2016) und KfW-Effizienzhaus 55 von im Mittel 45 €/m²$_{NGF}$ (Bruttokosten) durch ein intelligentes Energiekonzept für das KfW-Effizienzhaus 55 nicht nur ausgeglichen werden, sondern sogar das KfW-Effizienzhaus 55 kostengünstiger errichtet werden kann als das Gebäude mit EnEV-Standard. Dabei erwiesen sich folgende Energiekonzepte kostengünstiger als die „typische" KfW-Effizienzhaus 55-Ausführung mit Gas-Brennwertkessel und solarthermischer Unterstützung und Abluftanlage:

1. Dezentrale direkte elektrische Heizung (elektrische Wandflächenheizung) und dezentrale elektrische Warmwasserbereitung, dezentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, PV-Paneele und dezentrale Wärmerückgewinnung aus dem Duschwasser. Dies ermöglicht ein geringeres thermisches Niveau der Gebäudehülle bei Einhaltung der energetischen Anforderungen.

2. Luftheizung über eine zentrale Lüftungsanlage mit Luft-Luft-Wärmepumpe, dezentrale elektrische Warmwasserbereitung und dezentrale Wärmerückgewinnung aus dem Duschwasser. Dafür ein geringeres thermisches Niveau der Gebäudehülle.

3. Zentrale Heizung und Warmwasserbereitung über Fernwärme (erzeugt durch Kraft-Wärme-Kopplung aus fossilen Brennstoffen) und zentrale Abluftanlage. Dafür ein geringeres thermisches Niveau der Gebäudehülle.

4. Zentrale Heizung und Warmwasserbereitung mit einer Kombination aus Abluftwärmepumpe (in einer zentralen Abluftanlage) und einem Gas-Brennwertkessel, wohnungsweise Frischwasserstationen für die Warmwasserbereitung und PV-Paneelen. Dafür ein geringeres thermisches Niveau der Gebäudehülle.

Bei gleichartigem Energiekonzept ergeben sich natürlich weiterhin investive Mehrkosten für die energetisch hochwertigere KfW-Effizienzhaus 55-Ausführung.

Die Betrachtung der Lebenszykluskosten zeigte, dass das Gebäude entsprechend der energetischen Mindestanforderungen (EnEV) über 30 Jahre gerechnet, mit Berücksichtigung der Investitionskosten, der Energiekosten, der Instandhaltungskosten und der Ersatzkosten, die kostengünstigste Variante ist. Alle KfW-Effizienzhaus 55-Konzepte und das ebenfalls bewertete Effizienzhaus Plus weisen höhere Lebenszykluskosten auf. Im Vergleich zum typischen KfW-Effizienzhaus 55 führen die alternativen KfW-Effizienzhaus 55 Energiekonzepte jedoch teilweise zu geringeren Lebenszykluskosten. Das Effizienzhaus Plus weist über 30 Jahre noch die höchsten Lebenszykluskosten auf.

Bei den Treibhausgasemissionen über 30 Jahre Betrachtungszeit inklusive Erstellung und Umsetzung auf der Baustelle ergibt sich der deutlich günstigste Wert für das Effizienzhaus Plus, gefolgt von den alternativen KfW-Effizienzhaus 55-Varianten 3 und 1 und dem typischen KfW-Effizienzhaus 55 sowie der alternativen Variante 4. Das Gebäude gemäß energetischen Minimalanforderungen erweist sich als ungünstigste Variante.

Unter Betrachtung von sich ändernden Randbedingungen bis zum Jahr 2030 (Primärenergiefaktoren, Energiekosten, Technologiekosten, Technologieeffizienzen und Klima) erweisen sich die alternativen Konzepte für das KfW-Effizienzhaus 55 als wirtschaftlich noch interessanter: vor allem die Konzepte 4 und 1 sowie das Effizienzhaus Plus profitieren von den angepassten Einflussfaktoren. Dies zeigt, dass diese Konzepte auch in der Zukunft wirtschaftlich interessant bleiben.

Bei der Analyse der Planungs- und Umsetzungsprozesse auf der Baustelle wurden von den internationalen Partnern kostensparende Prozesse und Maßnahmen zusammengetragen. Neben den international als kostensparend bewerteten Bauprozessen Vorfertigung und Serielles Bauen werden auch an BIM (Buil-

ding Information Modelling) Erwartungen an die Reduzierung von Baukosten gestellt. Allerdings fehlt es zu allen drei Prozessen derzeit noch an einer genügenden Anzahl von detaillierten Studien. Bei den konkreten Maßnahmen für kostengünstige Umsetzungsprozesse auf der Baustelle fiel auf, dass in den südeuropäischen Ländern derzeit Themen wie großformatige Bausteine, vorgefertigte Fenster inklusive Anschlussdetails, Rollladen und Sims sowie bedarfsgeführte Lüftungen im Mittelpunkt stehen. In Dänemark wurde u. a. dachintegrierte Photovoltaik als kostensparend gegenüber einer Dachhaut plus darauf angebrachter Photovoltaik vorgeschlagen. Auf der Planungsseite führt die Reduzierung der wärmetauschenden Gebäudehüllfläche weiterhin zu geringeren Investitionskosten und gleichzeitig zu Energieeinsparung.

Insgesamt war es interessant zu sehen, dass die kostensparenden alternativen Niedrigstenergiekonzepte (für Deutschland KfW-Effizienzhaus 55) in den Ländern mit bestehenden Anforderungen an den Einsatz von erneuerbaren Energien (Deutschland, Italien, Slowenien) eher in die Richtung von direkten elektrischen Heizungen und Trinkwarmwasserbereitungen oder elektrischen Wärmepumpen in Kombination mit Photovoltaik ging. Die dänischen Konzepte (in Dänemark gibt es keine gesonderten Gebäudeanforderungen an den Einsatz von erneuerbaren Energien, hier erfolgt die Einbindung von erneuerbaren Energien über die Strom- und Fernwärmeerzeugung) zeigten auf, dass über die derzeitigen Mindestanforderungen hinaus eine gebäudeweise Nutzung von Solarthermie und PV wirtschaftlicher ist als die weitere Verschärfung von Anforderungen an die Gebäudehülle und Effizienz der Anlagentechnik.

6 Literaturverzeichnis

[1] Europäisches Parlament und Rat: Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings (recast), 2010. Verfügbar unter eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=EN.

[2] Erhorn, H.; Erhorn-Kluttig, H.: Selected examples of nearly zero-energy buildings. Detailed Report of the Concerted Action Energy Performance of Buildings, 2014. Verfügbar unter epbd-ca.eu/wp-content/uploads/2011/05/CT5_Report_Selected_examples_of_NZEBs-final.pdf.

[3] Schettler-Köhler, H.: Implementation of the EPBD in Germany. Status in December 2014. Verfügbar unter https://www.dropbox.com/s/vaq0h8if64ypmlh/CA3-BOOK-2016-web.pdf?dl=0.

[4] CoNZEBs: Periodic Report. Interner Projektzwischenbericht für die EU-Kommission. 2019. Unveröffentlicht.

[5] CoNZEBs: Periodic and Final Report. Interner Abschlussbericht für die EU-Kommission. 2020. Unveröffentlicht.

[6] Erhorn-Kluttig, H. et al.: Solution sets for the cost reduction of new nearly zero-energy buildings (Zufinanzierung des EU-Projekts CoNZEBs). Zwischenbericht für das BBSR. 2018.

Unveröffentlicht.

[7] Erhorn-Kluttig, H. et al.: EU-Projekt CoNZEBs – Solution sets for the cost reduction of new nearly zero-energy buildings. Lösungsansätze für die Kostenreduzierung von Niedrigstenergiegebäuden. Schlussbericht. IBP-Bericht 025/2020/951. 2020.

[8] BKI Kosteninformationszentrum (ed.): Baukosten – Gebäude – Neubau: Statistische Kostenkennwerte. Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH (2016). ISBN 978-3-945-649-13-8.

[9] Erhorn-Kluttig, H. et al.: Overview of cost baselines for three building levels. Bericht des EU Horizont 2020-Projekts CoNZEBs. Deliverable D2.1. 2017. Verfügbar unter: https://www.conzebs.eu/index.php/facts.

[10] Erhorn-Kluttig, H. et al.: Comparison of costs for new multi-family houses, NZEBs and beyond. Bericht des EU Horizont 2020-Projekts CoNZEBs. Deliverable D2.2. 2019. Verfügbar unter: https://www.conzebs.eu/index.php/facts.

[11] Zinzi, M. et al: Assessment and exemplary solutions for cost reduction in the design and construction process. Bericht des EU Horizont 2020-Projekts CoNZEBs. Deliverable D3.1. 2017. Verfügbar unter: https://www.conzebs.eu/index.php/design-construction.

[12] Erhorn, H.; Kluttig, H.; Reiß, J.: Kosten- und flächensparendes Konzept für ein Mehrfamilien-Niedrigenergiewohnhaus im sozialen Wohnungsbau. IBP-Mitteilung 312 (1997). Verfügbar unter: https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/de/documents/Publikationen/IBP-Mitteilungen-optimiert/312.pdf.

[13] Šijanec-Zavrl, M. et al.: Why Nearly Zero-Energy Buildings are the Right Choice. Broschüre des EU Horizont 2020-Projekts CoNZEBs. Deliverable D4.2. 2019. Verfügbar in englischer, deutscher, dänischer, italienischer und slowenischer Sprache unter https://www.conzebs.eu/index.php/end-user-benefits.

[14] Wittchen, K. et al.: Solution Sets and Technologies for NZEBs. Bericht des EU Horizont 2020-Projekts CoNZEBs. Deliverable D5.1. 2018. Verfügbar unter: https://www.conzebs.eu/index.php/nzeb-solution-sets.

[15] Maas, T. et al.: EnEV 2017 – Vorbereitende Untersuchungen. Endbericht vom 29. Februar 2016. Bericht des Ingenieurbüros Prof. Dr. Hauser. 2016. Verfügbar unter: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2017/bbsr-online-16-2017-dl.pdf;jsessionid=F8E8F7AA9825A24BC81F245C4907C8A6.live21302?__blob=publicationFile&v=2.

[16] Verein Deutscher Ingenieure (VDI): VDI 2067 – Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen. Verfügbar unter https://www.vdi.de.

[17] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB): International DGNB manual. Appendix_criterion1-5,10,11_01: Global Reference Buildings. Verfügbar unter: https://www.dgnb-system.de/en/system/international/index.php.

[18] Sanchez Mayoral Gutierrez, M. et al.: Life cycle assessment of typical multi-family houses with different energy performance levels. Bericht des EU Horizont 2020-Projekts CoNZEBs. Deliverable D7.1. 2019. Verfügbar unter: https://www.conzebs.eu/index.php/life-cycle-assessment.

[19] Erhorn-Kluttig, H. et al.: Solution Sets for NZEB Multi-family Houses and Beyond Assessed for 2030. Bericht des EU Horizont 2020-Projekts CoNZEBs. Deliverable D6.1. 2019. Verfügbar unter: https://www.conzebs.eu/index.php/thinking-ahead.

[20] Schumacher, M.; Bergmann, J.: Typenbau in Frankfurt – Qualitätsvoll und kostengünstig. Veröffentlichung in QUARTIER 02/2020. Verfügbar unter https://www.magazin-quartier.de/qualitaetsvoll-und-kostenguenstig.

[21] Rose, A.; Wöffen, D.; Erhorn, H.; Bergmann, A.: Wege zum Effizienzhaus Plus – Grundlagen und Beispiele für energieerzeugende Gebäude. Broschüre des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat. 2018. Verfügbar unter: https://www.zukunftbau.de/effizienzhaus-plus/forschung/forschung-netzwerk/broschuere/

[22] Bundestag: Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG) vom 20. Oktober 2015. Bundesgesetzblatt (BGBl.) Teil I, S. 1722. 2015.

[23] Bundestag: Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude und zur Änderung weiterer Gesetze vom 8. August 2020. Artikel 1: Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG). Bundesgesetzblatt (BGBl.) Teil I, S. 1728. 2020.

[24] CoNZEBs: Projektwebseite mit Projektergebnissen und Projektnews. Erhältlich unter www.conzebs.eu.

[25] Moseley, P.; Bruhin, A.: High energy performing buildings. Support for innovation and market uptake under Horizon 2020 Energy Efficiency. Veröffentlichung der Europäischen Union. 2018. ISBN 978-92-9202-376-8.

[26] Rose, A.; Wöffen, D. et al.: What makes an Efficiency House Plus? Principles and examples of energy-generating buildings. Broschüre des BMI/BBSR. 2018.

[27] Erhorn-Kluttig, H.; Erhorn, H.; Illner, M.: Cost-efficient Nearly Zero-Energy Buildings. Proceedings der CLIMA 2019 Konferenz. 2019. Veröffentlicht durch E3S als Open Access Paper. Verfügbar unter https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/37/e3sconf_clima2019_03075.pdf.

[28] Erhorn-Kluttig, H.; Erhorn, H.; Illner, M.: Cost-efficient Nearly Zero-Energy Buildings. Proceedings der IAQVEC Konferenz 2019. Veröffentlicht durch IOP Science. 2020. Verfügbar

unter: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/609/6/062002/pdf.

[29] EU-Kommission: EU BUILD UP – The European Portal for Energy Efficiency in Buildings. Internetportal der Europäischen Kommission. Verfügbar unter www.buildup.eu.

[30] Erhorn-Kluttig, H.; Erhorn, H.; Illner, M.; Utesch, B.: Kostengünstig und energieeffizient. Kostenreduzierung bei hocheffizienten Wohngebäuden (Teil 1). Gebäude Energieberater 03/2020. Seiten 36 – 39. 2020.

[31] Erhorn-Kluttig, H.; Erhorn, H.; Illner, M.; Utesch, B.: Kostengünstig und energieeffizient. Kostenreduzierung bei hocheffizienten Wohngebäuden (Teil 2). Gebäude Energieberater 04/2020. Seiten 20 – 23. 2020.

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert. (Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-17.33).

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.