

Energieeinsparpotenziale und Handlungsoptionen auf dem Weg zur Gebäudeklimateutralität

Untertitel

Wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des Grades
B.Sc. Bauingenieurwesen
an der TUM School of Engineering and Design der
Technischen Universität München

Betreut von Markus Kleeberger, M.Sc.
Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen

Eingereicht von Tobias Stührk
Hagenauerstraße 14
81479 München
+49 15739334927

Eingereicht am München, den 27.04.2022

Vereinbarung

zwischen

der Technischen Universität München, vertreten durch ihren Präsidenten,
Arcisstraße 21, 80290 München

hier handelnd der Lehrstuhl für Energieeffizientes und Nachhaltiges Planen und
Bauen (Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Lang), Arcisstr. 21, 80333 München

– nachfolgend TUM –

und

Herrn Tobias Stührk
Hagenauerstraße 14, 81479 München

– nachfolgend Autorin/Autor –

Die Autorin / der Autor wünscht, dass die von ihm an der TUM erstellte Ba-
chelorarbeit mit dem Titel

Energieeinsparpotenziale und Handlungsoptionen auf dem Weg zur Gebäude-
klimaneutralität

auf mediaTUM und der Webseite des Lehrstuhls für Energieeffizientes und
Nachhaltiges Planen und Bauen mit dem Namen der/des Verfasserin/s, dem
Titel der Arbeit, den Betreuer/innen und dem Erscheinungsjahr genannt werden
darf.

in Bibliotheken der TUM, einschließlich mediaTUM und die Präsenzbiblio-
thek des Lehrstuhls für Energieeffizientes und Nachhaltiges Planen und Bauen,
Studenten und Besuchern zugänglich gemacht und veröffentlicht werden darf.
Dies schließt auch Inhalte von Abschlusspräsentationen ein.

mit einem Sperrvermerk versehen und nicht an Dritte weitergegeben wird.

Zu diesem Zweck überträgt die Autorin / der Autor der TUM zeitlich und örtlich unbefristet das nichtausschließliche Nutzungs- und Veröffentlichungsrecht an der Bachelorarbeit.

Die Autorin / der Autor versichert, dass sie/er alleinige(r) Inhaber(in) aller Rechte an der Bachelorarbeit ist und der weltweiten Veröffentlichung keine Rechte Dritter entgegenstehen, bspw. an Abbildungen, beschränkende Absprachen mit Verlagen, Arbeitgebern oder Unterstützern der Bachelorarbeit. Die Autorin / der Autor stellt die TUM und deren Beschäftigte insofern von Ansprüchen und Forderungen Dritter sowie den damit verbundenen Kosten frei.

Eine elektronische Fassung der Bachelorarbeit als pdf-Datei hat die Autorin / der Autor dieser Vereinbarung beigefügt. Die TUM ist berechtigt, ggf. notwendig werdende Konvertierungen der Datei in andere Formate vorzunehmen.

Vergütungen werden nicht gewährt.

Eine Verpflichtung der TUM zur Veröffentlichung für eine bestimmte Dauer besteht nicht.

Die Autorin / der Autor hat jederzeit das Recht, die mit dieser Vereinbarung eingeräumten Rechte schriftlich zu widerrufen. Die TUM wird die Veröffentlichung nach dem Widerruf in einer angemessenen Frist und auf etwaige Kosten der Autorin / des Autors rückgängig machen, soweit rechtlich und tatsächlich möglich und zumutbar.

Die TUM haftet nur für vorsätzlich oder grob fahrlässig verursachte Schäden. Im Falle grober Fahrlässigkeit ist die Haftung auf den vorhersehbaren Schaden begrenzt; für mittelbare Schäden, Folgeschäden sowie unbefugte nachträgliche Veränderungen der veröffentlichten Bachelorarbeit ist die Haftung bei grober Fahrlässigkeit ausgeschlossen.

Die vorstehenden Haftungsbeschränkungen gelten nicht für Verletzungen des Lebens, des Körpers oder der Gesundheit.

Meinungsverschiedenheiten im Zusammenhang mit dieser Vereinbarung bemühen sich die TUM und die Autorin / der Autor einvernehmlich zu klären. Auf diese Vereinbarung findet deutsches Recht unter Ausschluss kollisionsrechtlicher Regelungen Anwendung. Ausschließlicher Gerichtsstand ist München.

München, den

.....

(TUM)

(Autorin/Autor)

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die von mir eingereichte Abschlussarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Ort, Datum, Unterschrift

Kurzzusammenfassung

Energieeinsparpotenziale und Handlungsoptionen auf dem Weg zur Gebäudeklimateutralität

Die Arbeit befasst sich mit dem Thema der Gebäudeklimateutralität. Ziel der Arbeit ist es potenzielle Energieeinsparpotenziale zu lokalisieren, zu bewerten und Handlungsoptionen herauszuarbeiten, die das Erreichen der Gebäudeklimateutralität beschleunigen können.

Tatsächliche Gebäudeklimateutralität bedeutet, die Betriebszeit eines Gebäudes klimaneutral zu gestalten und diese wiederum als Teil eines nachhaltigen Produktionskreislaufes zu verstehen. In der folgenden Arbeit wird hauptsächlich auf die Gebäudeklimateutralität während der Betriebszeit eingegangen um damit den Fokus besonders auf die unmittelbar umsetzbaren Handlungsoptionen zu lenken. Anhand einer beispielhaften Planung eines Passivhauses werden verschiedene Handlungsoptionen und tatsächliche Energieeffizienz aufgezeigt. Durch anschließendes Vergleichen der Energiebilanz mit anderen Neu- und Altbauten werden zudem mögliche Energieeinsparpotenziale sichtbar. Für die Bewertung von Handlungsoptionen wird dabei auch ganz bewusst immer wieder auf die Wirtschaftlichkeit eingegangen um die zukünftige Umsetzbarkeit möglichst realitätsnah abbilden zu können.

Denn Maßnahmen, die zwar in der Theorie eine bestimmte Effizienz versprechen, sich jedoch als unwirtschaftlich herausstellen, sodass sie mittel- bis langfristig keine Akzeptanz in der Bauwirtschaft finden werden, sind nutzlos. Da es aus solchen Gründen oft zu Fehlkalkulationen kommt, wird die Bewertung auf rein theoretischer Basis vermieden und immer wieder ein praktischer Bezug zugrunde gelegt.

Summary

Energy saving potentials and opportunities on the way to building climate neutrality

This paper deals with the topic of building climate neutrality. The aim of the work is to localise and evaluate potential energy savings and to work out options that can accelerate the achievement of building climate neutrality.

Actual building climate neutrality means making the operating time of a building climate neutral and understanding this in turn as part of a sustainable production cycle. In the following paper, the focus is mainly on climate neutrality during the operating period in order to direct the attention to the immediately realisable actions. By means of an exemplary planning of a passive house, different options and actual energy efficiency are shown. By subsequently comparing the energy balance with other new and old buildings, potential energy savings are also made visible. For the evaluation of potentials, the economic viability is also deliberately considered again and again in order to be able to depict the future feasibility as realistically as possible. Because measures that promise a certain efficiency in theory but turn out to be uneconomical, so that they will not find acceptance in the building industry in the medium to long term, are useless. Since miscalculations often occur for such reasons, evaluation on a purely theoretical basis is avoided and a practical reference is always taken as a basis.

Inhaltsverzeichnis

1.	Anforderungen und Gesetze	1
1.1.	Anforderung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
1.2.	Gebäudeklimaneutralität	2
1.3.	Gesetze.....	5
1.2.	EnerCalC und GEG-Berechnung	5
2.	Planungsbeispiel	6
2.1.	Objektübersicht	7
2.1.1.	Objektbeschreibung	7
2.1.2.	Grundlegende Konzeption des Passivhauses	12
2.1.3.	Konstruktionsmerkmale	14
2.1.4.	Gebäudehülle.....	14
2.1.5.	Wärmebrücken.....	14
2.1.6.	Fenster.....	15
2.1.7.	Kühlung.....	16
2.1.8.	Lüftung	16
2.1.9.	Solar- und Photovoltaikanlage	17
2.1.10.	Wärmepumpe	18
2.1.	Ökonomie.....	19
2.1.1.	Berechnung mit Förderprogrammen	19
2.1.2.	Berechnung ohne Förderprogramme.....	22
3.	Energieeinsparpotenziale.....	30
2.1.1.	Neubau	30
2.1.2.	Bestandsgebäude	32
2.1.1.	Photovoltaik	35
4.	Ausblick.....	39
5.	Literaturverzeichnis	41
6.	Abbildungsverzeichnis	44
	Anhang A.....	45

Abkürzungsverzeichnis

GEG = Gebäudeenergiegesetz

EnEV = Energieeinsparverordnung

EnEG = Energieeinsparungsgesetz

EEWärmeG = Erneuerbare-Energien-Gesetz

WNFL = Wohnnutzfläche

üNN = Über Normal Null

U-Wert = Wärmedurchgangskoeffizient

COP-Wert = Coefficient of performance

Pa = Pascal

1. Anforderungen und Gesetze

Heutzutage wird großer Wert auf ökologisches Bauen gelegt. Die Politik legt regelmäßig neue Grenzwerte und Maßnahmen fest, die während der Planung beachtet werden müssen. Als 1973 das Erdöl in Deutschland knapp und Öl dadurch sehr teuer wurde, rückte erstmals das Thema Energieeinsparung in den Fokus der Interessen. Zunächst wurde damit begonnen die Gebäudehülle zu optimieren. Ende der 70er-Jahre wurde die erste Wärmeschutzverordnung erlassen. Sie war bundesweit gültig und rechtskräftig. Erstmals wurde ein Standard gesetzt. Über die Jahre hinweg wurden stetig neue Versionen veröffentlicht bis schließlich 2020 das GEG in Kraft trat und damit die vorherig geltenden Bestimmungen ablöste. Es bildet die heutige rechtliche Grundlage zum Erreichen der Klimaschutzziele der Bundesregierung. Im folgenden Kapitel wird der wesentliche Inhalt des GEG abgesteckt und Grundbegriffe der Gebäudeklimaneutralität definiert. Dies ist notwendig um die noch nicht erkannten Energieeinsparpotenziale und Handlungsoptionen zielorientierter herausarbeiten zu können.

1.1. Anforderung

Mit der Gesetzesnovelle „Klimaschutzgesetz 2021“, die am 31. August 2021 in Kraft getreten ist, hat die Bundesregierung nach Aufforderung des Bundesverfassungsgerichts die nationalen Klimaschutzziele weiter verschärft. So gilt es fortan eine Treibhausgasminderung im Jahr 2030 von 65 Prozent und im Jahr 2040 von 88 Prozent gegenüber dem Referenzjahr 1990 zu erreichen. Die tatsächliche Treibhausgasneutralität soll letztlich im Jahr 2045 realisiert werden. Um das zu erreichen, müssen für die einzelnen Sektoren wie Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft und Gebäude, die einen maßgeblichen Anteil zur CO₂-Emission beitragen, einzelne Minderungsziele festgelegt werden. In Anbetracht der Tatsache, dass rund ein Drittel der gesamten Treibhausgasemissionen allein auf den Gebäudesektor, bestehend aus Wohn- und Nichtwohngebäuden, entfallen, wird die Notwendigkeit der Gebäudeklimaneutralität schnell deutlich (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015).

Die folgende Arbeit knüpft an genau diesem Punkt an, sodass im Folgenden die Energieeinsparpotenziale im Gebäudesektor herausgearbeitet und die verschiedenen Handlungsoptionen zur Zielerreichung der Gebäudeklimateutralität analysiert werden.

1.2. Gebäudeklimateutralität

Wenn man Publikationen der Bundesregierung wie beispielsweise das Eckpunktepapier Energieeffizienz als Grundlage für die Definition der Gebäudeklimateutralität heranzieht, heißt es, dass Gebäude dann klimaneutral sind, wenn sie einerseits nur noch einen sehr geringen Energiebedarf aufweisen und gleichzeitig der verbleibende Bedarf überwiegend durch erneuerbare Energien abgedeckt wird (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015). Prinzipiell ist diese Definition auch richtig, jedoch bezieht sich hier die Klimateutralität ausschließlich auf die Betriebszeit des Gebäudes. Die ressourcenintensive Herstellung und der Rückbau eines Gebäudes bleiben hierbei gänzlich unbeachtet. Bei einer vollumfänglichen Betrachtung müsste deshalb zwingend der gesamte Gebäudelebenszyklus, von der Herstellung, über den Betrieb bis hin zum Rückbau in der Energiebilanz berücksichtigt werden. Da unsere heutigen Produktionsprozesse noch vom damaligen Industrialisierungscharakter geprägt sind, weisen sie eine starke Linearität auf (Dornack, 2021). Das heißt es handelt sich hierbei um das sogenannte „cradle to grave“-Prinzip, ein ressourcenintensives System, in dem produzierte Güter nach der Verwendung entweder der Verbrennung zugeführt oder deponiert werden. Rohstoffe die am Anfang für eine Produktion zur Verfügung stehen, sind also am Ende des Prozesses verbraucht und nicht wiederverwendbar. Als idealer Produktionsprozess steht im Gegensatz dazu das „cradle to cradle“-Prinzip, welches eine Kreislaufwirtschaft darstellt. Hier dienen Güter am Ende ihres Lebenszyklus wiederum dem nächsten Produktionsprozess. Sie können also bestenfalls ohne Qualitätsverlust recycelt werden und so die gewünschte Nachhaltigkeit sicherstellen. Langfristig gilt es nun natürlich unsere bestehenden linearen Produktionsprozesse sukzessive auf genau dieses Prinzip umzustellen und in der Breite zu etablieren. Da diese Umstellung jedoch einen elementaren Eingriff in die Systemstruktur erfordert und man hierfür quasi die aktuelle „DNA“ des Wirtschaftssystems umgestalten muss, bedarf es hierbei natürlich extrem viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Unternehmen müssen beispielsweise Mittel und Wege finden, so intelligent und vorausschauend wie möglich zu bauen, um

**Anforderungen und
Gesetze**

einen späteren möglichst zerstörungsfreien Rückbau zu ermöglichen und im Anschluss den Großteil der verbauten Materialien qualitätssichernd recyceln zu können. Höchstwahrscheinlich müssten dafür zunächst einmal Anreize durch staatliche Flankierungen geschaffen werden, welche zusätzliche Zeit kosten. Und nicht zuletzt müssen die entwickelten Lösungswege in der Praxis Bewährungsproben bestehen um sie langfristig erfolgreich im Wirtschaftssystem implementieren zu können. Diese fundamentale Transformation ist ein langwieriger und schleichender Prozess, der mittel- bis langfristig begleitend stattfinden muss. Ganz anders ist es bei Maßnahmen, die die Klimaneutralität ausschließlich im Gebäudebetrieb betreffen. Wenn Sie heute eine Fassade dämmen, haben Sie bereits morgen eine Erhöhung der Energieeffizienz und damit auch eine unmittelbare positive Auswirkung auf die Energiebilanz des Gebäudes. Zusammenfassend ist festzuhalten: Um tatsächliche Gebäudeklimaneutralität zu schaffen, muss die Betriebszeit klimaneutral gestaltet werden, und diese wiederum in einen nachhaltigen Produktionskreislauf integriert werden.

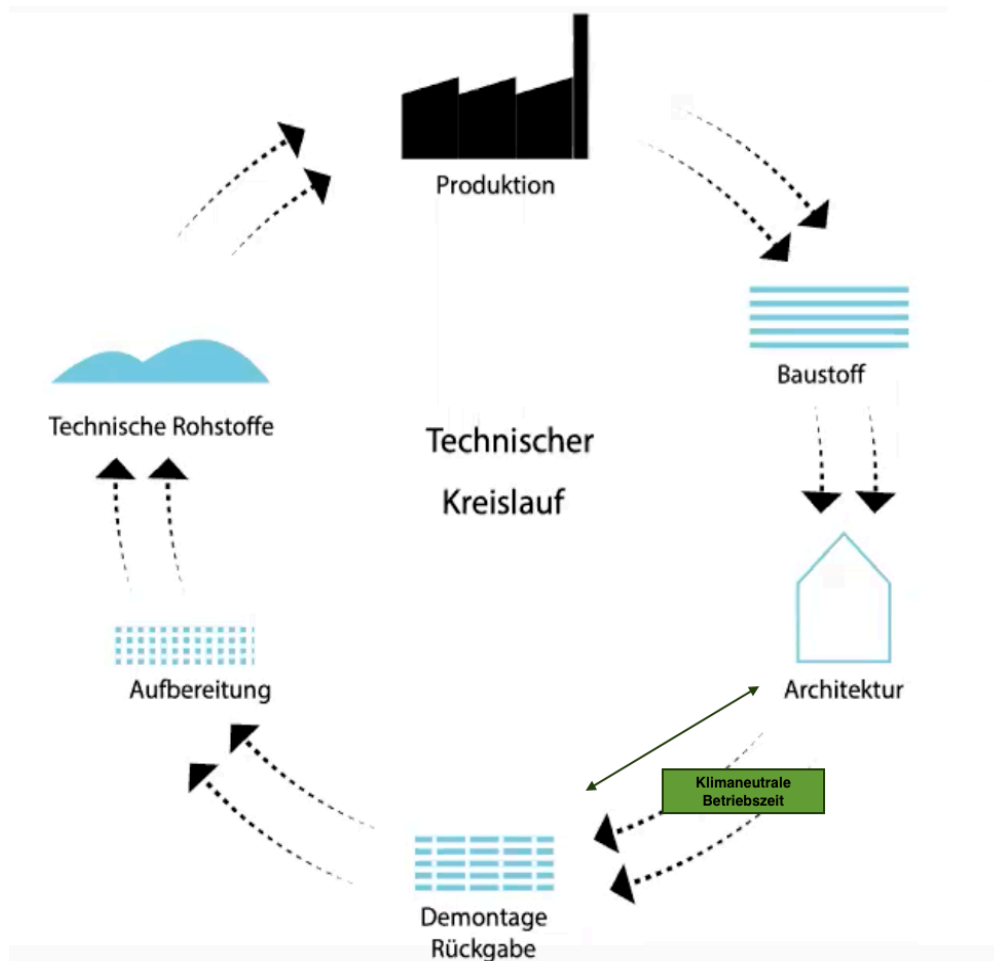


Abbildung 1: Produktionskreislauf, Düllmann / Ph. Lüffe

Gelingt hierbei eine ausgewogene Kombination aus beidem, so kann der Gebäudebereich einen zentralen Beitrag zur Klimaneutralität beitragen. Im Folgenden wird jedoch hauptsächlich auf die Gebäudeklimaneutralität während der Betriebszeit eingegangen und damit der Fokus besonders auf die unmittelbar umsetzbaren Handlungsoptionen gelenkt. Um konkrete Maßnahmen überhaupt benennen zu können, müssen zudem zwingend Energieeinsparpotenziale lokalisiert werden. Erst wenn bekannt ist wie groß die Potenziale sind und wo sie genau liegen, ist es sinnvoll über mögliche Handlungsoptionen zu diskutieren.

1.3. Gesetze

Seit dem 01. November 2020 gilt das neue Gebäudeenergiegesetz, kurz auch „GEG 2020“ und verbindet die Inhalte der bis dahin geltenden EnEV 2014/2016, EnEG 2013 und EEWärmeG 2011. Das GEG hat den Zweck den Vorrat fossiler Brennstoffe zu schonen, Abhängigkeiten von Energieimporten zu verhindern und eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen. Das Anforderungsniveau an Neubauten und Sanierung bleibt dabei im Wesentlichen unverändert (Verbraucherzentrale, 2020). Der Bauherr ist weiterhin verpflichtet einen gewissen Teil des Energiebedarfs mit erneuerbaren Energiequellen abzudecken. Bezogen auf den Endenergieeinsatz beträgt der Anteil mindestens 15% und der spezifische Primärenergieverbrauch darf den Wert von rund $60 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ nicht übersteigen. Es ist dabei ihm überlassen, ob er dafür beispielsweise Solarthermie, Photovoltaik, Wärmepumpen, Fernwärme oder Biomasse einsetzt (immowelt Group, 2020) (Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V., 2021).

1.4. EnerCalc und GEG-Berechnung

Das GEG gibt ein Berechnungsverfahren vor, anhand dessen der Primärenergiebedarf ermittelt werden kann. Die Berechnung muss nach DIN V 18599 erfolgen, wobei bei Wohngebäuden bis Ende 2023 auch das Verfahren nach DIN V 4108-6 / 4701-10 angewendet werden kann (ZUB Systems, kein Datum). Neben der Gebäudetechnik konzentriert sich das GEG hauptsächlich auf den Wärmedämmstandard um den Primär- und Endenergiebedarf zu senken. Die Mindestanforderungen beziehen sich auf ein Referenzgebäude und sind normiert. So wird die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Bauwerken gewährleistet. Allerdings wird dem Planer nicht vorgeschrieben wie er die gesetzlichen Anforderungen zu erfüllen hat und so ist es ihm überlassen welche Maßnahmen er trifft um die Grenzwerte einzuhalten. EnerCalc ist ein vom „Institut für Gebäudeenergieforschung“ entwickeltes Tool um energetische Charakterisierungen eines Gebäudes in der frühen Planungsphase vornehmen zu können. So bietet es die perfekte Möglichkeit das folgende Planungsbeispiel einer energetischen Prüfung zu unterziehen.

2. Planungsbeispiel

Im Folgenden wird eine beispielhafte Planung eines Einfamilienhauses in Passivhausvariante vorgenommen. Der Vorteil, dass bei Neubauten bereits zu Beginn der Planung die Voraussetzungen für Energieeinsparungen geschaffen werden können und somit kaum bauliche Einschränkungen vorliegen, wird hierbei voll ausgenutzt. Das ermöglicht die verschiedenen Handlungsoptionen uneingeschränkt darzustellen und tatsächliche Energieeffizienz aufzuzeigen. Die einzelnen technischen Maßnahmen werden zunächst in ihrer Wirkungsweise erläutert, die Effizienz beurteilt und abschließend unter Einbringung wirtschaftlicher Aspekte auf die zukünftige Umsetzbarkeit bewertet. Grundlage bildet ein reales Bauprojekt. Es handelt sich um ein geplantes Einfamilienhaus, dessen Grundrisse, Ansichten und Schnitte der TUM Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion zur Verfügung gestellt hat. Die energetische Berechnung erfolgt mit dem Programm EnerCalc. Die Rechnung und Auswertung in dem auf Excel basierenden Programm erfolgt auf folgenden Blättern: Eingabe, Anforderungen, Sankey und Gesamtbilanz. Im Eingabeblatt erfolgt die Eingabe von Gebäudeparametern, die die Berechnungsgrundlage darstellt. Es werden alle Einstellungen gemacht, die zentral für das Gebäude festgelegt werden. Dazu zählen Daten zur Gebäudehüllfläche wie Fassadenlängen, Dachtyp etc. (Verweis), gebäudebezogene Parameter wie Luftdichtheit, U-Werte von Bauteilen, Verschattung etc., sowie zonenbezogene Parameter und Angaben zur Anlagentechnik. Es ist darauf hinzuweisen, dass trotz der Komplexität der Berechnung nur relativ wenige Eingaben erforderlich sind. Das kommt daher, dass das Programm in der Entwurfsphase eines Projektes Anwendung finden sollte und somit ohnehin viele Details noch nicht bekannt sind. Aus diesem Grund sind einige Standardannahmen für die Berechnung hinterlegt. Alle Datenblätter des Projektes sind im Anhang beigefügt und vollständig einsehbar.

2.1. Objektübersicht

2.1.1. Objektbeschreibung

Das Bauobjekt ist ein doppelstöckiges Einfamilienhaus mit Doppelgarage. Es gibt kein Untergeschoss. Die Abmessungen betragen 11,00m auf 11,00m. Das Bauvorhaben befindet sich im bayerischen Regierungsbezirk Schwaben, in der Umgebung der Stadt Memmingen (601 üNN). Als Dachtyp liegt ein Flachdach vor. Es handelt sich um ein Einfamilienhaus, welches früher in EnEV Bauweise gebaut wurde. Nun erfolgt auf Basis der Architekturpläne eine alternative beispielhafte Planung in Passivhausvariante. Das Erdgeschoss hat eine Wohnnutzfläche von 95,43m², wobei hier aus Vereinfachungsgründen, wie auch in der weiteren Planung, der Erker im EG nicht mitberücksichtigt wird.

Das Obergeschoss hat eine WNFL von 92,35m². Zusammen ergibt sich eine Gesamtwohnnutzfläche von 187,78m². In den folgenden Abbildungen (Abbildung 2-8) sind die Grundrisse, Ansichten und Schnitte zu sehen.

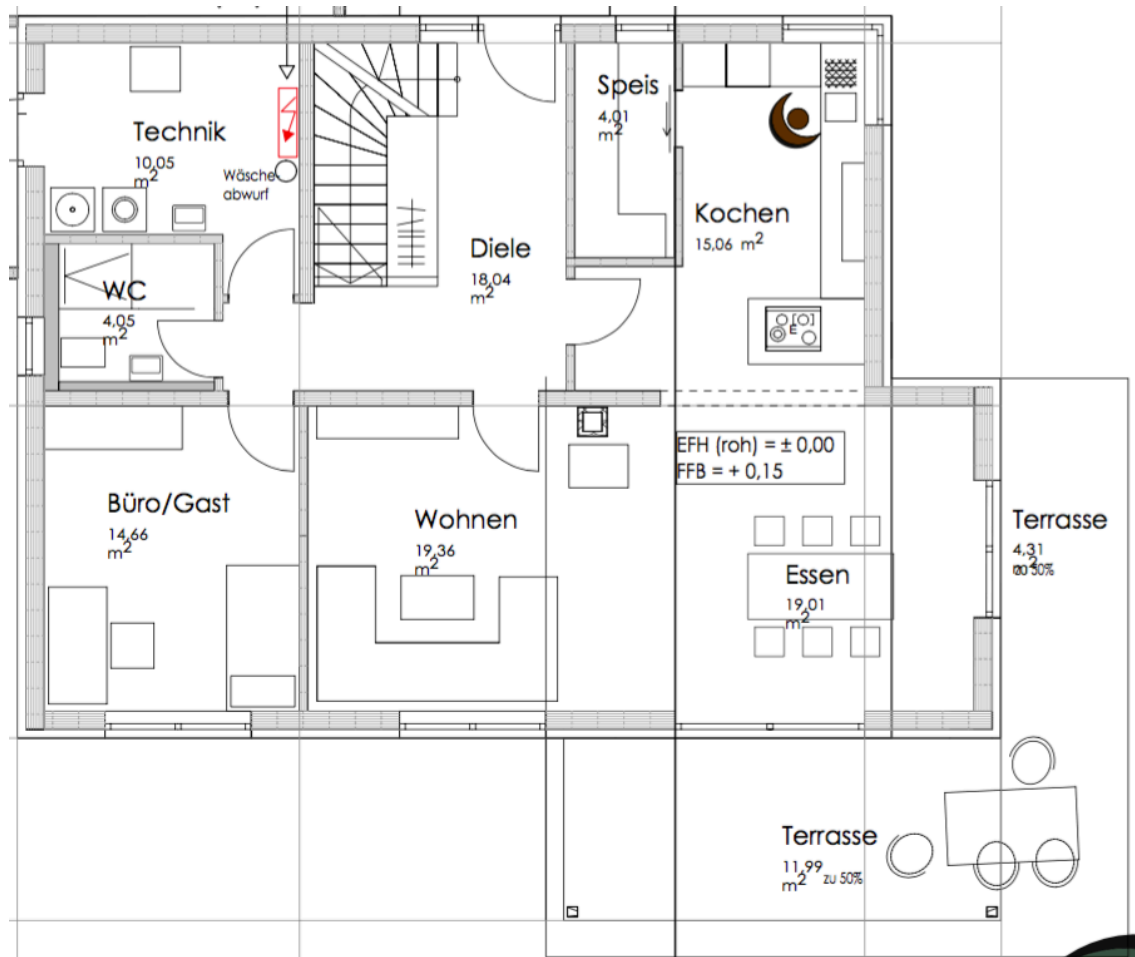


Abbildung 2: Grundriss Erdgeschoss

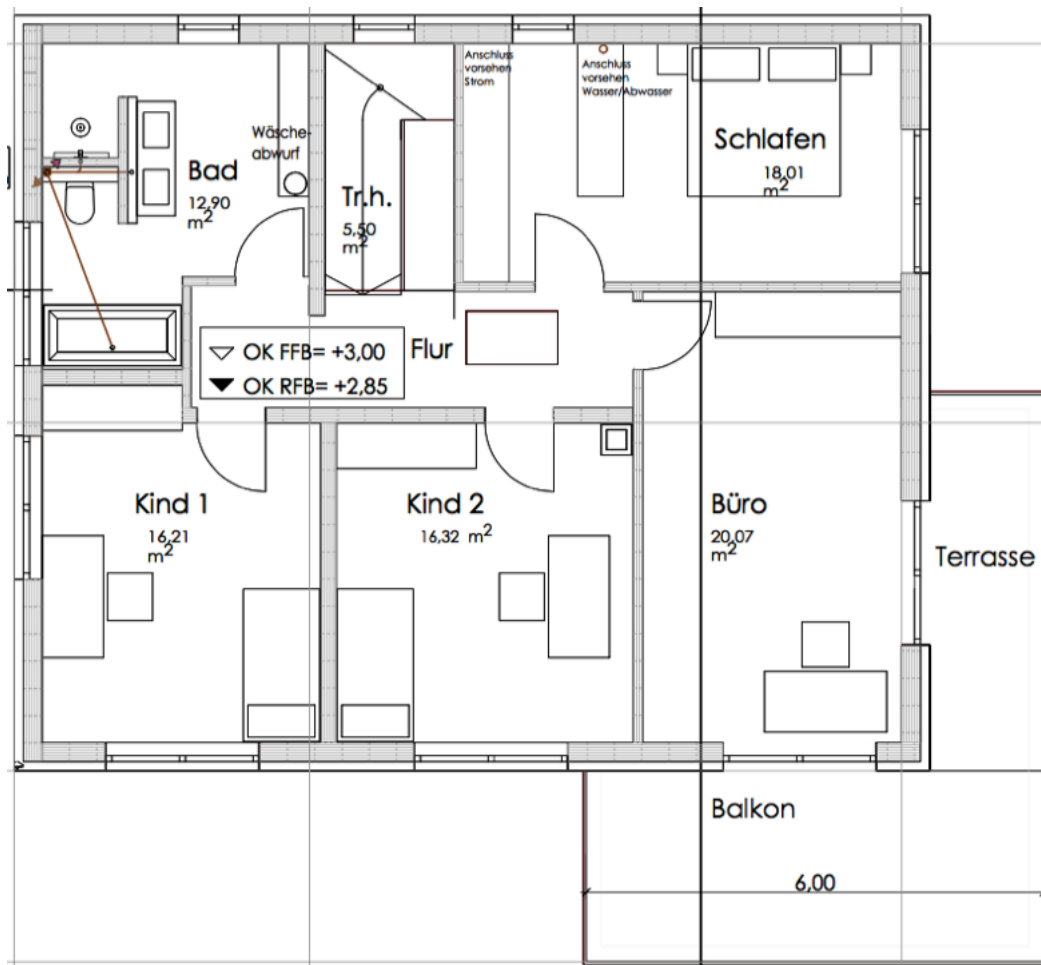


Abbildung 3: Grundriss 1. Obergeschoss

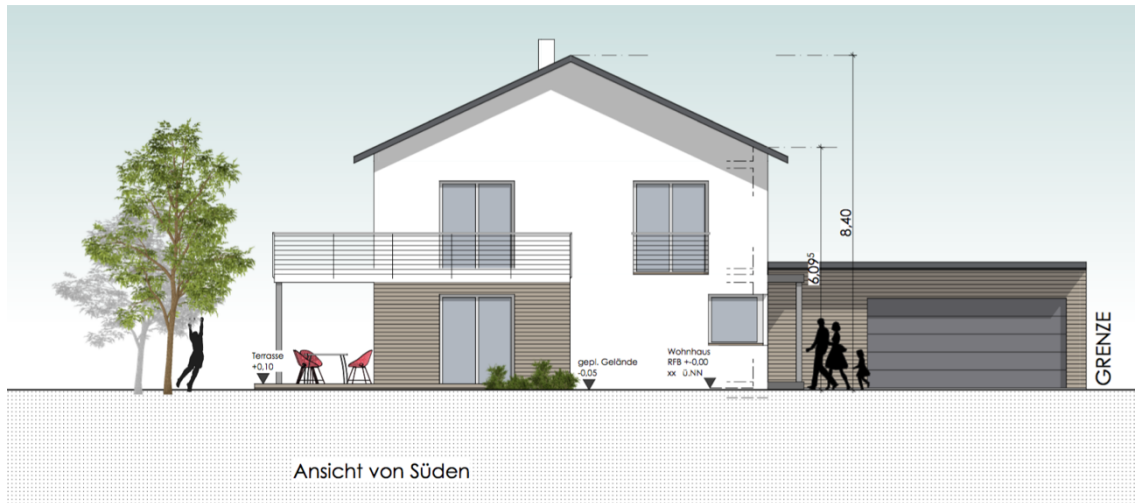


Abbildung 4: Ansicht Süd

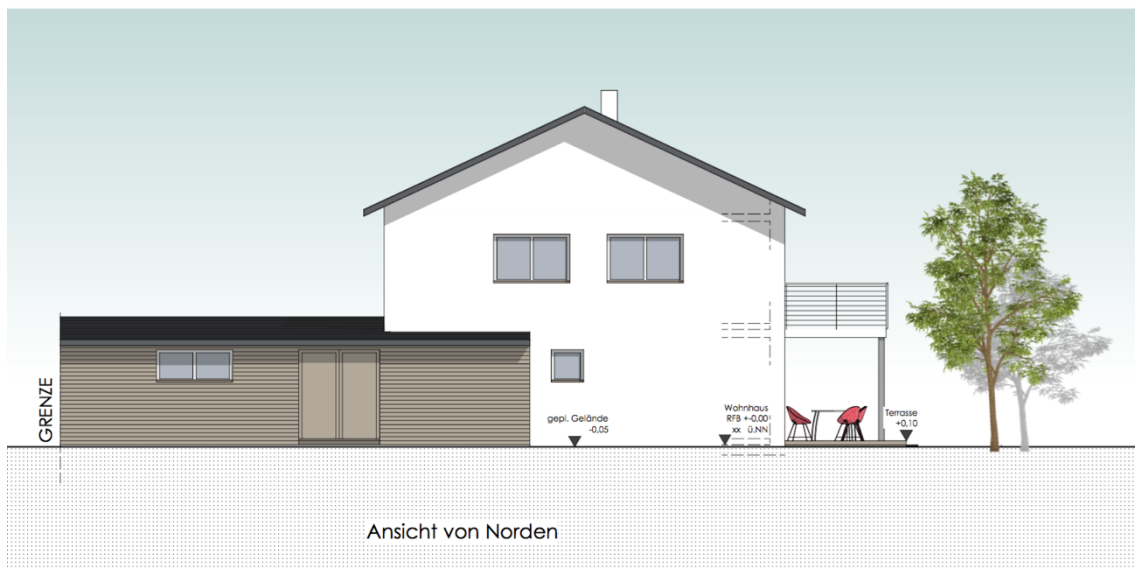


Abbildung 5: Ansicht Nord

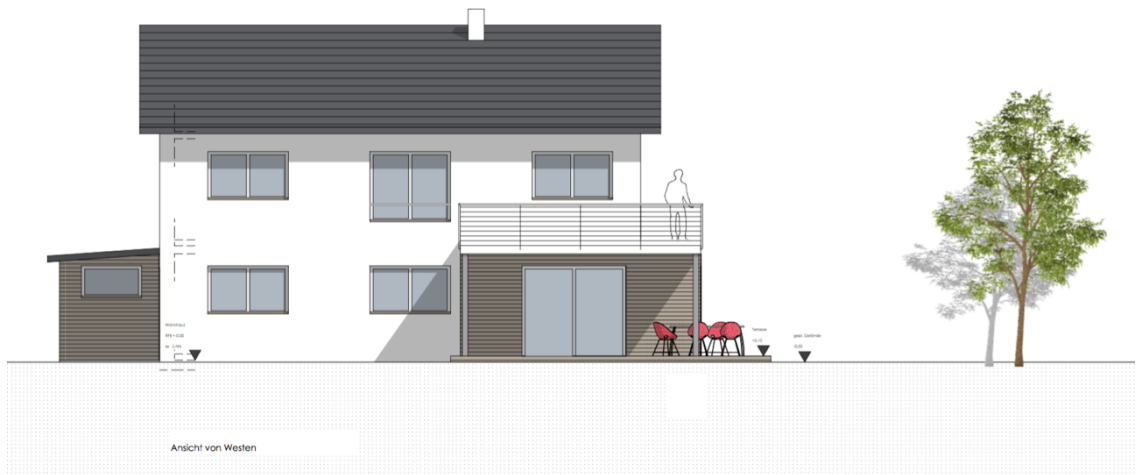


Abbildung 6: Ansicht West



Abbildung 7: Ansicht Ost

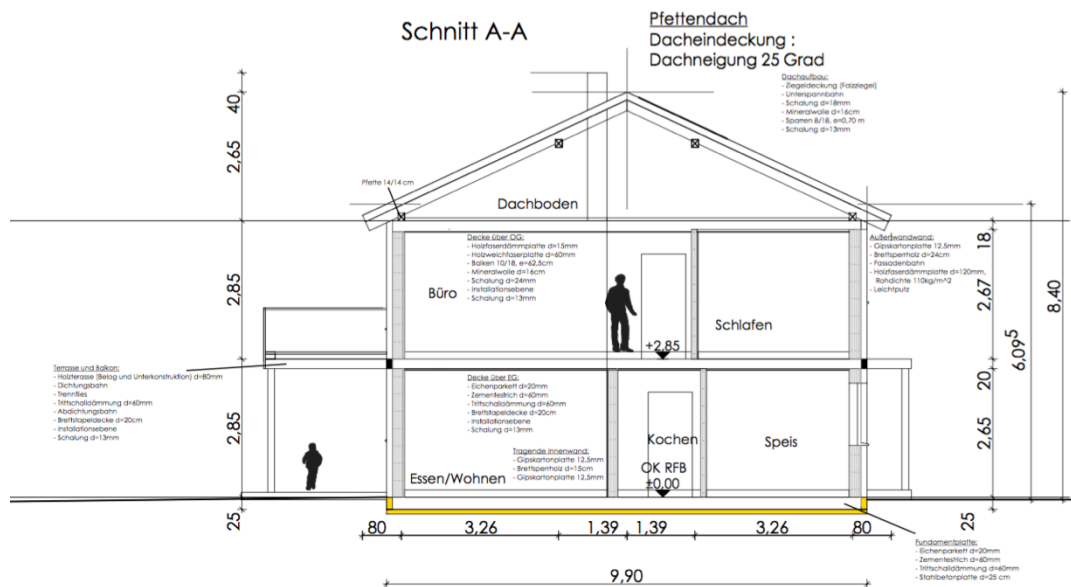


Abbildung 8: Schnitt A-A

2.1.2. Grundlegende Konzeption des Passivhauses

Das Passivhaus zeichnet aus, dass es ohne aktives Heizsystem auskommt und trotzdem alle Aspekte der Behaglichkeit für die Nutzer erfüllt (Passivhaus Institut, kein Datum). Die Idee ist den Heizwärmebedarf so weit zu reduzieren, sodass dieser möglichst nur mit passiven Wärmequellen, wie die Abwärme von Personen und technischen Anlagen, gedeckt werden kann. Um das zu gewährleisten müssen jedoch besondere Anforderungen an die Gebäudehülle gestellt werden. Komplett ohne Heizsystem wird in der Praxis dennoch selten gebaut, da auch an besonders kalten und bewölkten Tagen die Behaglichkeit gesichert sein soll. Als Musterbeispiel für ein solches Konzept gilt das Passivhaus. Die Anfänge lassen sich bis 1903 auf das norwegische Polarschiff „Fram“ zurückführen, an dem, aufgrund der polaren Außentemperaturen, extrem wärmedämmende Maßnahmen ergriffen werden mussten. Die Wände und Decke um den Innenraum herum wurden 40 cm dick ausgebildet und mit natürlichen Dämmstoffen wie Kork und Tannenholz gefüllt. Die wärmedämmenden Maßnahmen funktionierten so gut, dass sogar bei -30°C Außentemperatur kaum geheizt werden musste (Müller, 2020). Nach rund achtzigjähriger Weiterentwicklungs- und Forschungszeit wurde 1991 schließlich das erste Passivhaus in Darmstadt-Kranichstein fertiggestellt. Um ein Passivhaus zu

realisieren sind die fünf Eckpfeiler, Wärmedämmung, Passivhaus-Fenster, Lüftungswärmerückgewinnung, Luftdichtheit und Wärmebrückenfreiheit die Grundlage jeder Planung (Passivhaus Institut, kein Datum).

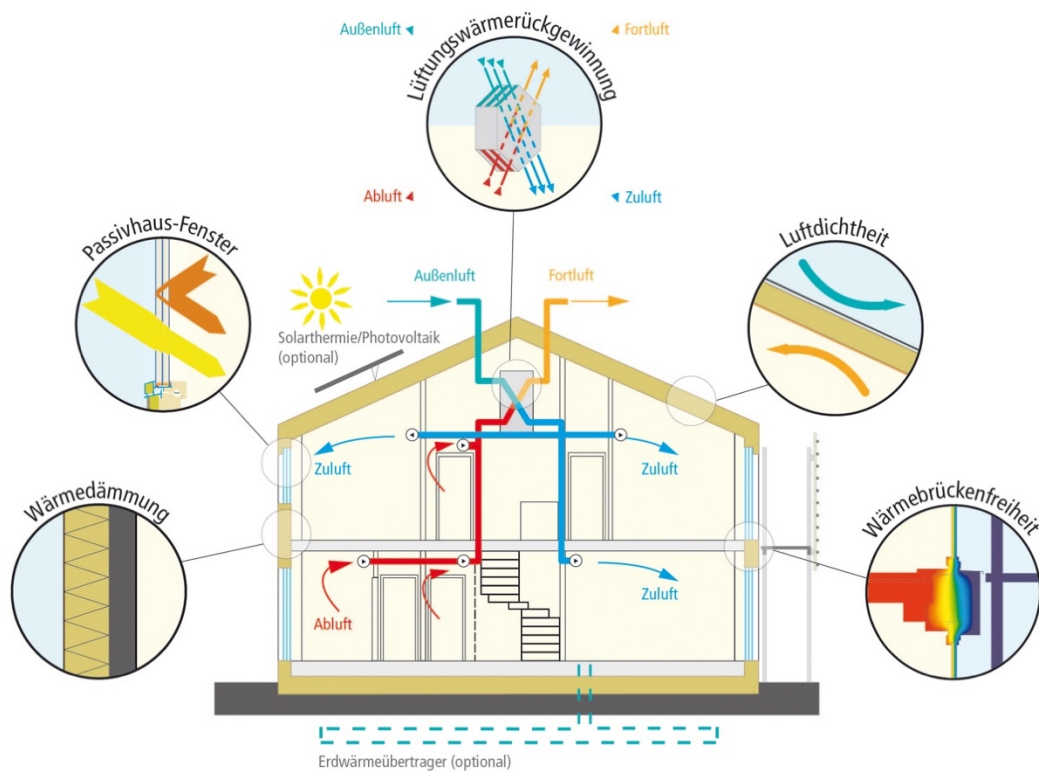


Abbildung 9: Eckpfeiler Passivhaus (Passivhaus Institut, kein Datum)

Zusammen wird so die Trennung vom thermischen Inneren und Äußeren erschaffen. Innere Wärmequellen sollen so optimal ausgenutzt werden, dass sie ausreichen um das Gebäude auf angenehme Temperatur zu heizen. Zu den inneren Wärmequellen zählen alle Geräte und Lebewesen im Haushalt, die Abwärme produzieren. Neben dem aktiven Umweltschutz sind weitere resultierende Vorteile unter Anderem:

- Unabhängigkeit von Energiepreissteigerungen
- Geringe laufende Gebäudebetriebskosten
- Höhere Behaglichkeit (Luftqualität, Keine Zugluft, viel Lichteinfall, Schallschutz durch Dämmung)

2.1.3. Konstruktionsmerkmale

In der Konstruktionsplanung des Gebäudes wurden bereits zu Beginn der Planung wichtige Schwerpunkte formuliert um den Grundstein für eine spätere optimale Energiebilanz zu legen. So wurde auf große Kompaktheit Wert gelegt, sodass das „A/V-Verhältnis“, also das Verhältnis von Fläche zu Volumen, kleiner 0,8 1/m liegt. Die südliche Gebäudeausrichtung ermöglicht sowohl die optimale Ausnutzung des Tageslichts für die Innenraumbeleuchtung, als auch die Gewinnung solarer Energie. Außerdem wurde sich auf die Wärmedämmung und Luftdichtheit konzentriert. Sie beträgt 0,6 Hausvolumen pro Stunde bei 50 Pa Unterdruck. Die Wärmedämmung schützt im Sommer vor Überhitzung und im Winter verhindert sie das Entweichen von Wärme.

2.1.4. Gebäudehülle

In dem vorliegenden Projekt wurde sich für eine Massivbauweise mit außenliegender Wärmedämmung und einem Putz entschieden, was zusammen ein Wärmedämmverbundsystem (WDVS) darstellt. Vorteilhaft ist die hohe Wärmespeicherkapazität, die dieses System bietet. Außerdem werden dabei fast alle Wärmebrücken abgedeckt. Der U-Wert der opaken Bauteile beträgt 0,07 W/m²K. Der U-Wert der Fensterflächen liegt bei 0,60 W/m²K. Beide Werte bewegen sich damit auf Passivhausniveau.

2.1.5. Wärmebrücken

Wärmebrücken treten an verschiedenen Stellen eines Hauses auf und können unterschiedliche Gründe haben. Sie können geometrisch und stoffbedingt sein. Als geometrische Wärmebrücken werden Stellen bezeichnet, die durch ihre Lage einen größeren Wärmedurchlass ermöglichen als sonstige Bauteile (baunetzwissen, kein Datum). Ein klassisches Beispiel ist die Gebäudeecke, bei der die wärmeaufnehmende Innenoberfläche kleiner als die wärmeabgebende Außenoberfläche ist. Stoff- bzw. materialbedingte Wärmebrücken werden durch Wärmeleitfähigkeitsunterschiede innerhalb eines oder mehrerer Bauteile verursacht. Zum Beispiel bei Fensterstürzen, Holzsparren in der Dämmebene oder bei Befestigungsdübeln von Wärmedämmverbundsystemen (DieEnergieexperten, 2021). Deshalb wurden folgende kritische Stellen in der Planung

besonders beachtet: Ortgang, Gebäudeecken, Wand- und Bodenanschlüsse sowie Fenster- und Türanschlüsse. Grafisch gibt Abbildung 3 Aufschluss.

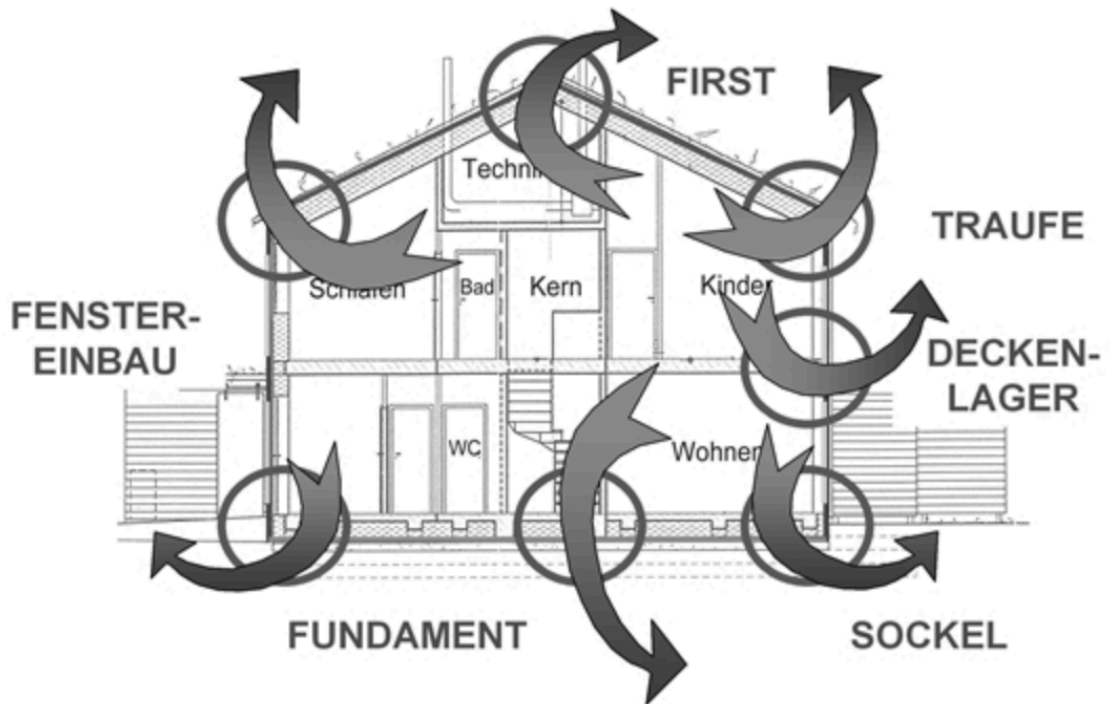


Abbildung 10: Wärmebrücken (Passivhaus Institut, kein Datum)

2.1.6. Fenster

Bei der Fassadenplanung kommt den Fenstern eine Schlüsselrolle zu. Sie sind nicht nur maßgeblicher Einflussfaktor für die Tageslichtversorgung, sondern machen zusätzlich die Nutzung solarer Energie möglich. Um die von Nutzern gewünschte Behaglichkeit zu gewährleisten wurde darauf geachtet, dass der Fensterwärmedurchgangskoeffizient $\leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und der g-Wert $\geq 50\%$ ist. Mit dem vorliegenden U-Wert von $0,625$ und einem g-Wert von $0,50$ sind somit beide Werte passivhauskonform. Da Fensterflächen einen großen Anteil der Fassadenfläche einnehmen und generell der U-Wert von Fenstern schlechter ist als der von Außenwänden, beeinflussen sie die Energieeffizienz des Gebäudes entscheidend (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015). Im Zuge der Planung wurden die Fensterflächen sogar weiter auf einen Wert von 30% erhöht. Zum Einsatz gekommen sind dreifachverglaste Isolierfenster (U-Wert Verglasung = $0,5 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$; g-Wert = $0,50$; U-Wert Rahmen = $0,65 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$). Daraus resultiert der Fenster U-Wert von $0,625 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. Unnötige Wärmebrücken werden vermieden, indem die

Planungsbeispiel

Fenster in der Dämmebene und nicht wie sonst üblich in der Mauerwerksebene eingesetzt werden. Um die solaren Energiegewinne möglichst hoch zu halten wird insbesondere die Südfassade großzügig mit einem Fensterflächenanteil von 75% ausgestattet (Vollverglasung). Die Ost- und Westfassade haben einen Fensterflächenanteil von 10% um die Tageslichtversorgung zu erhöhen. Bei großen Fensterflächen Richtung Süden besteht die Gefahr der sommerlichen Überhitzung, weshalb hier zusätzlich außenliegende weiße Rollläden als Sonnenschutz geplant sind. Im Winter steht die Sonne tiefer, sodass eine verstärkte Blendproblematik auftritt. Innenliegender Behang schützt vor Blendung, lässt aber trotzdem solare Einstrahlung für eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs zu. Der Sonnenschutz wurde deshalb bewusst getrennt vom Blendschutz ausgeführt, sodass im Winterzeitraum ein Großteil der solaren Einstrahlung genutzt werden kann.

2.1.7. Kühlung

Es wird kein Kühlsystem geplant, jedoch muss darauf geachtet werden, dass es zu keiner Überhitzung des Gebäudes kommt. Weiße Rollläden vor den Fenstern sorgen für Sonnenschutz und halten solare Einstrahlung an heißen Tagen fern. Zudem wurde das Gebäude in Massivbauweise geplant. Auch das trägt, aufgrund der erhöhten Wärmekapazität zur Vermeidung von Überhitzung bei.

2.1.8. Lüftung

Für eine ausreichende Frischluftversorgung in Wohngebäuden zu sorgen ist essentiell. Insbesondere bei Passivhäusern, bei denen extrem auf die Luftdichtigkeit ($\leq 0,6/h$ bei 50 Pa) geachtet wird, entstehen besondere Anforderungen an die Gebäudebelüftung. Gleichzeitig stellen Lüftungsanlagen auch ein wertvolles Mittel zur Minimierung von Wärmeverlusten dar. Denn Lüftungswärmeverluste können unter Umständen bis zu 25% der Gesamtverluste ausmachen. Bei modernen Anlagen mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von bis zu 95% lassen sich diese Verluste nahezu vollständig eliminieren (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015). Im vorliegenden Planungsbeispiel wurde sich für eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung entschieden um erforderliche Energiekennwerte einzuhalten und Lüftungswärmeverluste gering zu halten. Der hier vorliegende Wärmerückgewinnungsgrad beträgt 96%. Aus der verbrauchten

Luft wird Wärme zurückgewonnen und wird zum Vorwärmen der von außen frisch angesaugten Luft genutzt. Zudem kann über eine solche Anlage die Luftfeuchtigkeit reguliert und gegebenenfalls Schadstoffe abgeführt werden.

2.1.9. Solar- und Photovoltaikanlage

Die sonst ungenutzte Dachfläche bietet sich an um sie für Solarthermie oder für eine Photovoltaikanlage zu nutzen. Bei beiden Systemen wird die Sonneneinstrahlung genutzt um Energie zu gewinnen. Solarthermie gewinnt Wärme, die beispielsweise für die Trinkwassererwärmung genutzt werden kann. Eine Photovoltaikanlage hingegen produziert Strom der vorzugsweise für den Eigenbedarf genutzt wird. Zwar können Überschüsse in das gemeine Netz eingespeist werden, jedoch sind die Vergütungen dafür in den letzten Jahren stark rückläufig, sodass es finanziell nicht attraktiv ist. Eine selbst produzierte kWh Strom ist hingegen derzeit deutlich günstiger als eine Fremdbezogene. Laut einer aktuellen Studie des Fraunhofer-Institutes für Solare Energiesysteme aus dem Jahr 2021 liegen die Kosten für die Erzeugung einer kWh Solarstrom bei Kleinanlagen unter 30 kW_p zwischen 5,81 und 8,04 Cent im Süden Deutschlands und zwischen 7,96 und 11,01 Cent im sonnenärmeren Norden (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, 2021).

Die geplante PV-Anlage hat 8,6 kW_p Leistung (siehe Anhang S.58) und liegt im Süden Deutschlands. Somit ist von Eigenerzeugungsstromkosten von etwa 7ct/kWh auszugehen. Aktuell beträgt der Preis für fremdbezogenen Strom 36,19 Cent pro kWh (Stand Januar 2022) (co2online, kein Datum). Dies hat eine Einsparung von 29,19 ct zur Folge. Fremdbezogener Strom ist also rund fünf Mal so teuer wie Eigenproduzierter. Je teurer der Netzstrom ist, desto schneller amortisieren sich die Kosten für eine PV-Anlage. Bei den aktuellen Preisen und bei der erwarteten Preisentwicklung ist hier ein großes Energieeinsparpotenzial zu erwarten, welches immer mehr aktiviert wird.

In dem vorliegenden Projekt wurde sich dazu entschieden die Trinkwassererwärmung mittels E-Durchlauferhitzern bereitzustellen. Dabei handelt es sich um Module, die fest an der Wand montiert und an das Wassernetz des Hauses angeschlossen sind. Bei Warmwasserbedarf fließt Leitungswasser durch den Erhitzer und wird mithilfe von elektrisch betriebenen Heizdrähten erwärmt. Die Photovoltaikanlage eignet sich deshalb perfekt um die Durchlauferhitzer mit eigenem Strom zu versorgen. Um den selbst produzierten Strom auch optimal nutzen zu können, wird die Anlage kombiniert mit ei-

Planungsbeispiel

nem Speicher verbaut. Da Stromerzeugung und Strombedarf oft nicht zeitgleich stattfindet, wird der Eigenstromanteil erhöht, indem der Akku den Strom speichert und ihn dann zur Verfügung, wenn er gebraucht wird. Die PV-Anlage ist zur 100%igen Deckung des Gesamtstrombedarfs ausgelegt. Daraus ergibt sich eine Leistung von 8,6 kW_p. Die benötigte Modulfläche beträgt 46m² was auf der 100m² großen Dachfläche problemlos realisierbar ist. Im Zuge der Planung wurde das Satteldach durch ein Flachdach ausgetauscht, da so eine optimale Neigung und Südorientierung der Anlage gewährleistet wird. Die Speicherkapazität der Batterie liegt bei 9,0 kWh. Die Speicherkapazität sollte etwa dem 0,9 bis 1,7-fachen der PV-Leistung entsprechen. Die vorliegende Anlage weist 8,6 kW_p auf. Deshalb ist der Akku auf einen Wert zwischen 7,5 und 14,5 kWh zu dimensionieren. Sinn und Zweck eines Batteriespeichers ist es, den Solarstrom tagsüber für den Abend und die Nacht zu speichern. Richtig dimensioniert ist die Batterie, wenn sie den durchschnittlichen Stromverbrauch zwischen abends und morgens abdeckt. In der vorliegenden Gebäudeplanung ergab sich ein Stromverbrauch von 6.640 Kilowattstunden (41,5 kWh/m²a Strombedarf multipliziert mit 160m² WNFL). Gemäß folgender Rechnung: 6.640 kWh / 365 / 2, liegt somit der durchschnittliche Stromverbrauch bei rund 9 kWh. Da dies genau dem Wert des geplanten Batteriespeichers beträgt, ist dieser optimal ausgelegt. Bei kleinen Photovoltaikanlagen sollte außerdem die Speicherkapazität der Batterie in Kilowattstunden nicht viel größer sein als die Leistung der Photovoltaikanlage in Kilowatt. Zudem sollte dabei darauf geachtet werden, dass kein zu großer Speicher installiert wird, da sonst der Ladezustand zwischen halb voll und voll schwankt. Dieser dauerhaft zu hohe Ladezustand beschleunigt die Alterung der Batterie. Die ungenutzte Kapazität kostet unnötig Geld und verschwendet Ressourcen, die bei der Produktion des Speichers aufgewendet werden (Verbraucherzentrale NRW, 2021).

2.1.10. Wärmepumpe

In dem vorliegenden Projekt ist der Heizwärmebedarf mit 4,5 kWh/m²a so gering, dass sich gegen eine Wärmepumpe entschieden wurde. Eine Wärmepumpe macht in dieser Situation keinen Sinn, da der geringe Bedarf ausreichend mit solarem Energieeintrag, Abwärme der Bewohner und der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ausgeglichen wird. Jedoch selbst wenn Passivhäuser eigentlich kein aktives Heizsystem vorsehen, wird sich nach wie vor manchmal für eine zusätzliche Fußbodenheizung entscheiden. Denn am Ende hat für die Bewohner die ganzjährige maximale Behaglichkeit

Planungsbeispiel

oberste Priorität. Damit also auch an besonders kalten und bewölkten Tagen ausreichend Wärme zur Verfügung steht, kann eine wärmepumpenbetriebene Fußbodenheizung eine Option sein. Allerdings gilt es sich dabei im Klaren darüber zu sein, dass dieser zusätzliche Wunsch nach Komfort mit einigen Kosten verbunden ist. Die teure Anschaffung, Installation und die Stromkosten für den Betrieb der Wärmepumpe, sowie jährliche Wartungskosten und der Einbau der Fußbodenheizung müssen es einem dieser Luxus Wert sein. Ganz anders ist es bei konventionellen Neubauten oder Sanierungsfällen. Wenn ein tatsächlich zu deckender Heizwärmebedarf existiert, ist die Wärmepumpe eine sinnvolle Möglichkeit den Bedarf mit verhältnismäßig geringen Investitionskosten zu decken. Optimaler Weise wird dann die Erdreichwärmepumpe mit dem Strom aus der eigenen PV-Anlagen gespeist. Theoretisch könnte das System auch mit Solarenergie ergänzt werden um bei solarer Einstrahlung die Wärmepumpe zu entlasten und Energie bei der Trinkwassererwärmung einzusparen. Oftmals ist es jedoch sinnvoller sich dagegen zu entscheiden um die komplette Dachfläche für eine Photovoltaikanlage nutzen zu können, die wiederum den Großteil des Strombedarfs der Pumpe deckt. Mittlerweile bewegen sich gängige COP-Werte zwischen 3,5 und 5,5. Der COP-Wert ist eine wichtige Kennzahl, die das Verhältnis von Wärmeleistung und der dazu erforderlichen Antriebsenergie (Strom) angibt (Bundesverband Geothermie, 2021). Ein Wert von 5 bedeutet also, dass 1 kW Strom 5 kW Heizleistung liefert. In Kombination mit der eigenen PV-Anlage auf dem Dach, welches den nötigen Antriebsstrom bereitstellt, bildet das ein hocheffizientes und nachhaltiges Heizungssystem. In den sonnenärmeren Wintermonaten, in denen der Strombedarf nicht vollständig gedeckt werden kann, wird der restliche Bedarf aus dem Stromnetz bezogen werden. Da für Wärmepumpen spezielle Stromtarife genutzt werden können, greift hier ein weiterer attraktiver Vorteil finanzieller Natur. Durchschnittlich sind diese 22% günstiger als der normale Marktpreis (Finanztip, 2022).

2.2. Ökonomie

2.2.1. Berechnung mit Förderprogrammen

Das Passivhausinstitut hat 2006 unter damaligen Realbedingungen eine exemplarische dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung für ein Passivhaus angefertigt und die Ergebnisse in der folgenden Abbildung dargestellt.

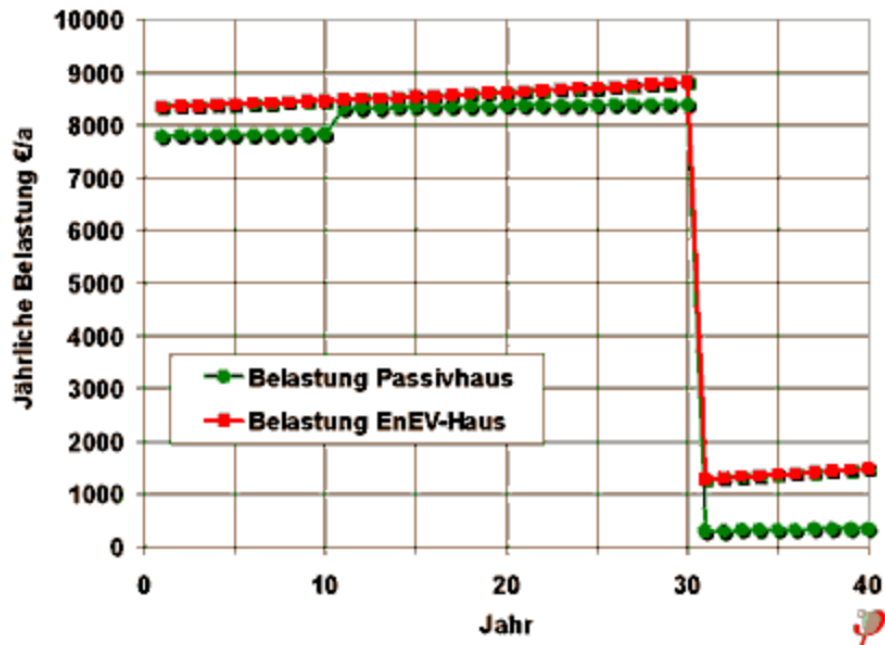


Abbildung 11: Vergleich Kostenbelastung (Passivhaus Institut, kein Datum)

Untersucht wurde, wie sich die jährliche Kostenbelastung eines Passivhauses zu einem konventionell gebauten Haus verhält (damals noch nach EnEV-Standard). Berücksichtigt wurden hierbei die unterschiedlichen Anfangsinvestitionskosten, Zinskosten, Staatliche Förderungen, Heizenergiekosteneinsparungen, sowie Stromkosten. Wartungs- und Instandhaltungskosten wurden dabei nicht berücksichtigt. Auffallend ist, dass trotz der anfänglich deutlich höheren Investitionskosten bei Passivhäusern die jährliche Kostenbelastung von Anfang an beim Passivhaus geringer ist. Dafür sorgen die in die Rechnung mitaufgenommenen umfangreichen staatlichen Förderprogramme, die die letzten Jahre vom Bund zur Verfügung gestellt wurden. Das „goldene Ende“ ist nach 30 Jahren erreicht, wenn alle Kredite abbezahlt sind und die Bewohner nur noch von den deutlich geringeren Verbrauchskosten profitieren (Passipedia, 2022). Die Preise und

Bedingungen haben sich jedoch natürlich in den vergangenen Jahren erheblich verändert.

In der folgenden Tabelle sind die maßgeblichen Einflussgrößen tabellarisch aufgelistet:

Einflussgröße \ Jahr	2006	2021	Veränderung
Zins auf Hypothekendarlehen	4,7 % p.a.	~ 1% p.a.	↘ -80%
Strompreis	18 €Ct/kWh	31,89 €Ct/kWh	↗ ~75%
Brennstoffpreis	6,5 €Ct/kWh	9,1 €Ct/kWh	↗ 40%

Abbildung 12: Tabellarische Darstellung Veränderung der Einflussgrößen (Zinsentwicklung.de, kein Datum), (Finanztip, 2021), (DAA Deutsche Auftragsagentur GmbH, 2021)

Vergleicht man nun die aktuelle (Juni 2021) mit der alten Datenlage (2006) werden folgende Unterschiede ersichtlich. Die Zinskosten für Hypothekendarlehen sind um ~80% gesunken. Der Strompreis ist um ~75% gestiegen. Und auch Brennstoffe sind 40% teurer geworden. Festzuhalten ist, dass sich die Preise und Bedingungen extrem verändert haben seit dem das Passivhaus Institut die Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt hat. Auf die Kernaussage über die Wirtschaftlichkeit mit Förderprogrammen hat dies jedoch wenig Einfluss. Denn wegen der niedrigeren Zinskosten sinkt die Kostenbelastung der Passivhäuser und gleichzeitig erhöht sich die Kostenbelastung der konventionell gebauten Häuser wegen der Strom- und Brennstoffpreise enorm. Indem die Energiepreise in diesem Zeitintervall extrem angestiegen sind und gleichzeitig die niedrigen Leitzinsen sich seit geraumer Zeit nahe bzw. unter null bewegen, führen diese veränderten Parameter tatsächlich zu einer enormen weiteren Rentabilitätssteigerung der Passivhäuser. Mit einem Blick in die Zukunft wird sich an diesen Positionen wohl auch nicht viel ändern, da sich die niedrigen Kreditzinsen problemlos für die nächsten 20 Jahre fixieren lassen und eine zukünftige Energiepreissenkung nicht sehr wahrscheinlich scheint. Natürlich kann die Kalkulation nicht auf wenige Euro genau erfolgen, da sich im Detail viele Einflussgrößen auf die jeweils vorliegende individuelle Situation beziehen. In der einen Situation mag eventuell mehr Eigenkapital vorliegen, sodass gar keine Erhöhung des Darlehensbetrags notwendig wäre. Oder die Bonität des Kreditnehmers ist etwas schlechter als angenommen, sodass der Zins etwas teurer wird. Schluss-

Planungsbeispiel

endlich ist eine kleine Varianz im Ergebnis nicht zu vermeiden, jedoch reicht die qualitative Betrachtung der Berechnung aus um die offensichtliche Rentabilität eines Passivhauses gegenüber einem üblichen Neubau klar erkennen zu können.

2.2.2. Berechnung ohne Förderprogramme

In 2.2.1 wurde die Kalkulation unter den bisher existierenden Bedingungen, also mit Einbezug der staatlichen Förderprogramme, durchgeführt. Nun wird die Investitionsrechnung, ohne Berücksichtigung sämtlicher staatlicher Flankierungen, wiederholt. Das gibt Aufschluss darüber wie stark die Rentabilität an die Förderprogramme gekoppelt ist. Diese Abhängigkeit herauszufinden ist deshalb interessant, da staatliche Förderprogramme häufig ausschließlich als Katalysator dienen. Sie werden oftmals am Anfang eines Strukturwandels zur Verfügung gestellt, um anfängliche Reize zu schaffen. Erfahrungsgemäß werden diese finanziellen Unterstützungen jedoch nur wenige Jahre vom Bund aufrechterhalten und mit fortschreitender Zeit eher zurückgefahren als weiter ausgebaut. Im besten Fall wäre also energieeffizientes Bauen an sich bereits ein wirtschaftlich attraktives Modell. So wäre gewährleistet, dass es auch unabhängig von Förderprogrammen nachgefragt wird. Um das herauszufinden müssen mehrere Szenarien miteinander verglichen werden. Die Ausgangslage eines geplanten Neubaus ohne staatliche Förderungen ist dabei überall gleich.

Die Frage, die sich nun stellt ist Folgende: Was ist wirtschaftlicher? Ein Passivhaus oder ein konventionell gebautes Haus mit Wärmepumpe? Das Passivhaus bringt höhere Anfangsinvestitionen mit sich, benötigt dafür aber kein aktives Heizsystem, sodass sich Heizkosten gespart werden. Ein konventionell gebautes Haus nach GEG Standard ist günstiger in der Anschaffung, benötigt aber beispielsweise eine Wärmepumpe mit an-

geschlossener Flächenheizung als Heizsystem. Wie sich die verschiedenen Ausgangssituationen auswirken und welche finanziellen Vor- bzw. Nachteile die Folge sind, wird in folgender Investitionsrechnung (Abb. 5) sichtbar.

Passivhaus ohne aktives Heizsystem	
Position	Jährliche Kosten
Erhöhung des Hypothekendarlehens Betrag: 14.000,00€ Nominalzins: 2,44% p.a. (Sollzinsbindung 20 J.) Laufzeit: 30 Jahre	663,55 €
Strom für Lüftungsanlage (5920 kWh/a * 7 ct/kWh)	414,40 €
Wartung	150,00 €
	1.227,95 €

Konventioneller Neubau mit Wärmepumpe	
Position	Jährliche Kosten
Erhöhung des Hypothekendarlehens Betrag: 14.500,00€ Nominalzins: 2,44% p.a. Laufzeit: 20 Jahre	924,87 €
Wartung	70,00 €
Stromkosten	257,00 €
	1.251,87 €

Abbildung 13: Eigene Berechnung, Vergleich Jährliche Kostenbelastung

Die Differenz der zwei rot markierten Zahlen zeigt, dass die jährliche Kosteneinsparung beim Passivhaus 23,92 € beträgt.

Oben ist die Investitionsrechnung für das Passivhaus dargestellt. Unten ist die Rechnung für einen konventionellen Neubau mit Wärmepumpe. Untersucht wurde hierbei in welchem Szenario die geringeren jährlichen Kosten anfallen. Vorab ist anzumerken, dass in beiden Szenarien darauf geachtet wurde möglichst identische Voraussetzungen zu schaffen, sodass die Ergebnisse nicht verfälscht werden. In beiden Fällen wird angenommen, dass bereits das gesamte Eigenkapital aufgebraucht wurde, sodass jede zusätzliche Anschaffung mit einer Erhöhung des Hypothekendarlehens einhergeht – also per Kredit finanziert wird. Des Weiteren wurde beide Male ein Nominalzins von

2,44% p.a. zugrunde gelegt (Interhyp, 2022). Dies entspricht der aktuellen (24.03.2022) Marktsituation von Hypothekendarlehen bei 20-jähriger Zinsbindung. Lediglich die Laufzeiten der Kredite unterscheiden sich. Das liegt daran, dass bei Luft-Wärmepumpen von einer Lebenszeit von rund 20 Jahren auszugehen ist, sodass die Kreditlaufzeit darauf anzupassen ist. Beim Passivhaus erhöhen sich die Anschaffungskosten aufgrund des erhöhten Dämmstandards, teureren Passivhausfenstern und der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Neben den einzelnen Positionen, die einen Mehraufwand darstellen, ist noch der Entfall von Heizleitungen zu subtrahieren. Da beim Passivhaus kein aktives Heizsystem vorgesehen ist, ist dies überflüssig und stellt somit einen Minderaufwand dar. Nachstehend ist die genaue Auflistung abgebildet.

Ermittlung Mehraufwand Passivhaus	
Position	Mehr- bzw. Minderaufwand
Erhöhter Dämmstandard	4.800,00 €
Passivhausfenster	5.400,00 €
Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	5.200,00 €
Entfall von Flächenheizung	- 1.400,00 €
	14.000,00 €

Abbildung 14: Eigene Berechnung, Ermittlung Mehraufwand Passivhaus

Die höheren Anschaffungskosten von 14.000€ zu den in Abb. 14 genannten Konditionen (Nominalzins: 2,44% p.a.; Laufzeit: 30 J.; Sollzinsbindung 20 J.) ergibt eine jährliche Kapitaldiensterrhöhung von 663,55 €. Die Berechnung dazu erfolgte mit dem Annuitätendarlehensrechner und ist sowie alle anderen Rechnungen noch einmal vollständig im Anhang einsehbar. Um den Wert für die gesamte jährliche Kostenbelastung zu erhalten, müssen nun nur noch zu den 663,55 € die Stromkosten für die Lüftungsanlage und die Wartung addiert werden. Diese betragen 414,40€ und 150€ (heizung.de, kein Datum). Die Stromkosten ergeben sich aus dem jährlichen Strombedarf der Anlage, welcher bei 5920 kWh (Anhang S. 45) liegt, multipliziert mit den Kosten für eine kWh Strom. Der Strombedarf entspricht dem von EnerCalc berechneten Wert. Da der Strom im vorliegenden Fall aus der eigenen PV-Anlage stammt, sind nur die Eigenerzeugungsstromkosten in Höhe von 7ct pro kWh anzusetzen (Fraunhofer-Institut für Solare

Energiesysteme, 2021). So resultiert im Szenario für das Passivhaus ohne staatliche Subventionen eine jährliche Kostenbelastung von 1.227,95 €.

In dem alternativen Szenario eines konventionellen Neubaus mit Luft-Wärmepumpe ergeben sich erhöhte Anschaffungskosten von 14.500,00 € (Abb. 15) bzw. eine jährliche Kapitaldiensterrhöhung von 924,87 € (Abb. 13).

Ermittlung Mehraufwand durch Wärmepumpe	
Position	Mehr- bzw. Minderaufwand
Wärmepumpe Anschaffung	12.000,00 €
Montagekosten inkl. Material	2.500,00 €
	14.500,00 €

Abbildung 15: Eigene Berechnung, Ermittlung Mehraufwand durch Wärmepumpe

Werden nun Wartung (DAA GmbH, 2022) und Stromkosten (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, 2021) für den Betrieb der Wärmepumpe dazu gerechnet, resultiert eine jährliche Kostenbelastung von 1.251,87 € (Abb. 13).

Die jährliche Kostendifferenz zwischen dem Passivhaus und dem konventionellen Bau mit Wärmepumpe beträgt folglich 23,92 €. Das bedeutet, dass in den ersten 30 Jahren beim Passivhaus eine geringere Belastung von 23,92 € pro Jahr vorliegt.

Um die gerade ermittelten Erkenntnisse noch besser einordnen zu können, folgt noch die Berechnung eines zusätzlichen Szenarios. In diesem Fall wird wieder ein konventionell gebautes Haus betrachtet, jedoch dieses Mal mit Gasheizung. Diese Fallberechnung komplettiert die Untersuchung, da so die beiden Heizsysteme, Wärmepumpe und

Gasheizung mit den größten Marktanteilen der letzten Jahre in direkten Vergleich mit der Passivhausvariante gestellt werden. (siehe nachstehende Abb. 16)

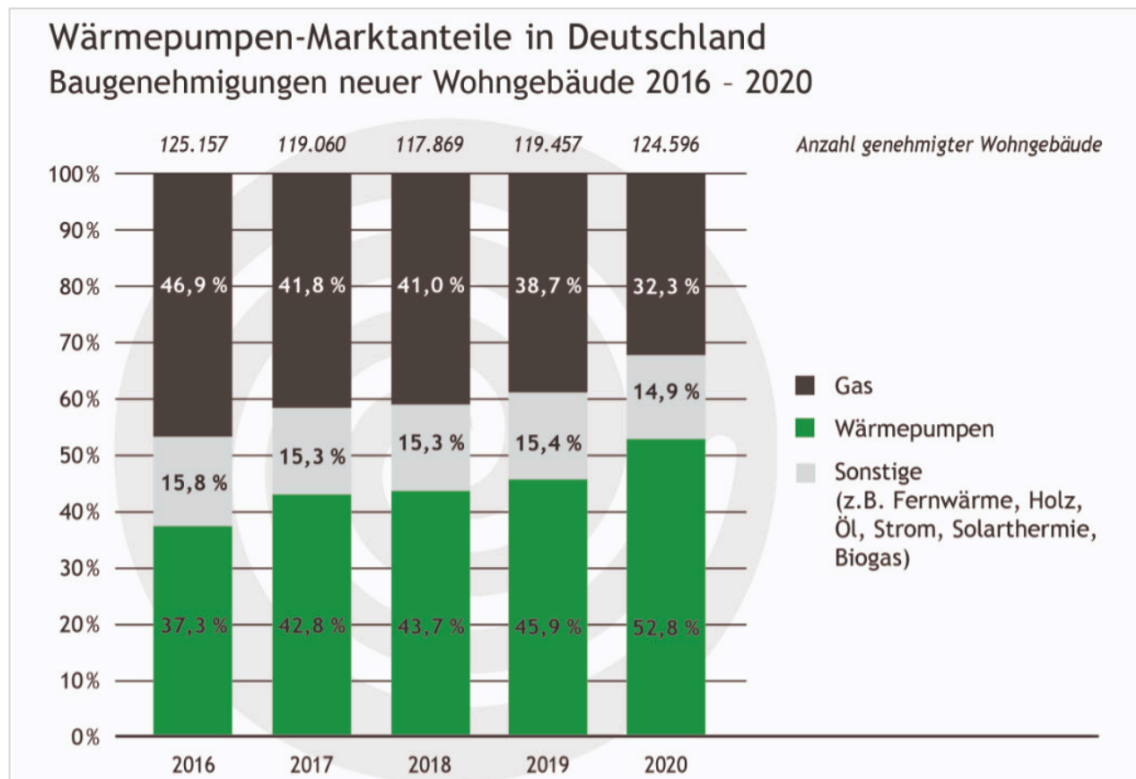


Abbildung 16: Wärmepumpen-Marktanteile in Deutschland (Statistisches Bundesamt, 2021)

In Abbildung 17 sind die zu erwartenden Heizkosten für den konventionellen Neubau mit Gasheizung zu sehen. 1.888,00 € beträgt die jährliche Kostenbelastung in diesem Szenario. Der Wert ergibt sich aus dem durchschnittlichen Energieverbrauch eines Neubaus von etwa 11.000 kWh/a (DAA Deutsche Auftragsagentur GmbH, 2022), dem aktuellen Gaspreis von 12,21 ct/kWh (BDEW-Gaspreisanalyse, 2022) (Stand: Januar 2022) und unter Einbezug der inflationsorientierten nominalen Preissteigerung von 2%.

Ermittlung Heizkosten durch Gas	
Heizkosten (Gas)	Jährliche Stromkosten
11000(kWh/a)	
Gas 12,21 ct/kWh	
Nominale Preissteigerung von 2% (inflationsorientiert)	1.888,00 €

Abbildung 17: Eigene Berechnung, Ermittlung Heizkosten durch Gas

Planungsbeispiel

Werden nun zu den 1.888,00 € noch die 640,27€ aus Abbildung 18 für die Anschaffungskosten und Wartung dazu addiert, folgt eine jährliche Gesamtbelastung von 2.528,27 €.

Konventioneller Neubau mit Gasheizung	
Position	Jährliche Kosten
Erhöhung des Hypothekendarlehens (Installation, Wasserspeicher) Betrag: 8.000,00€ Nominalzins: 2,44% p.a. (Sollzinsbindung 20 J.) Laufzeit: 20 Jahre	510,27 €
Wartung	130,00 €
	640,27 €

Abbildung 18: Eigene Berechnung, Konventioneller Neubau mit Gasheizung

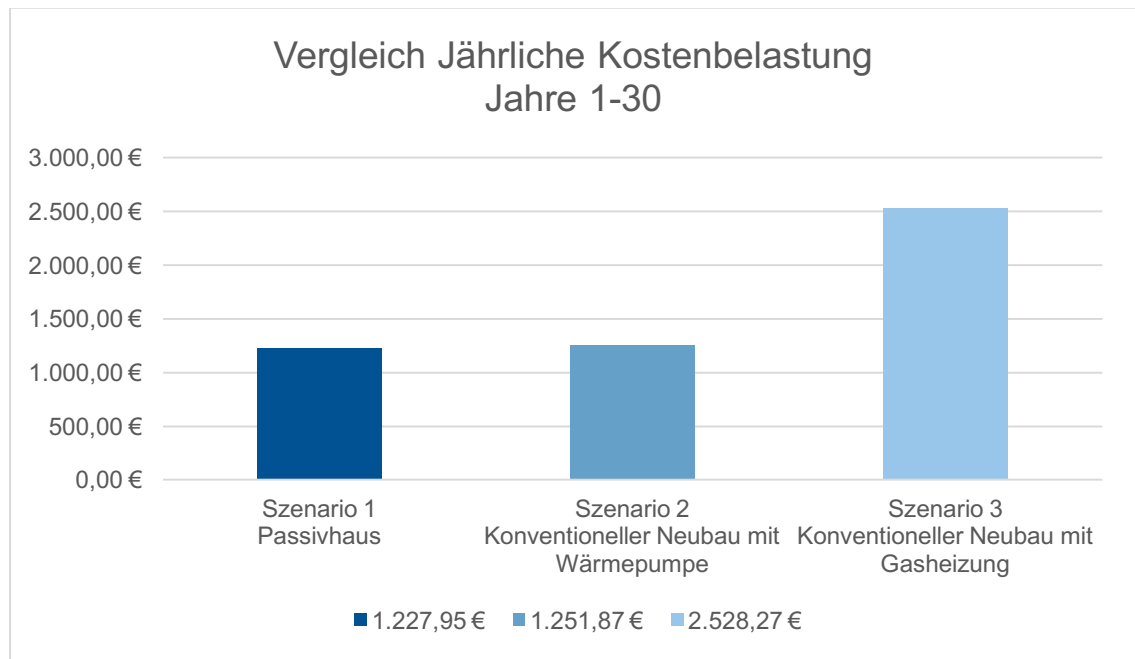


Abbildung 19: Eigene Berechnung, Vergleich Jährliche Kostenbelastung in den Jahren 1-30

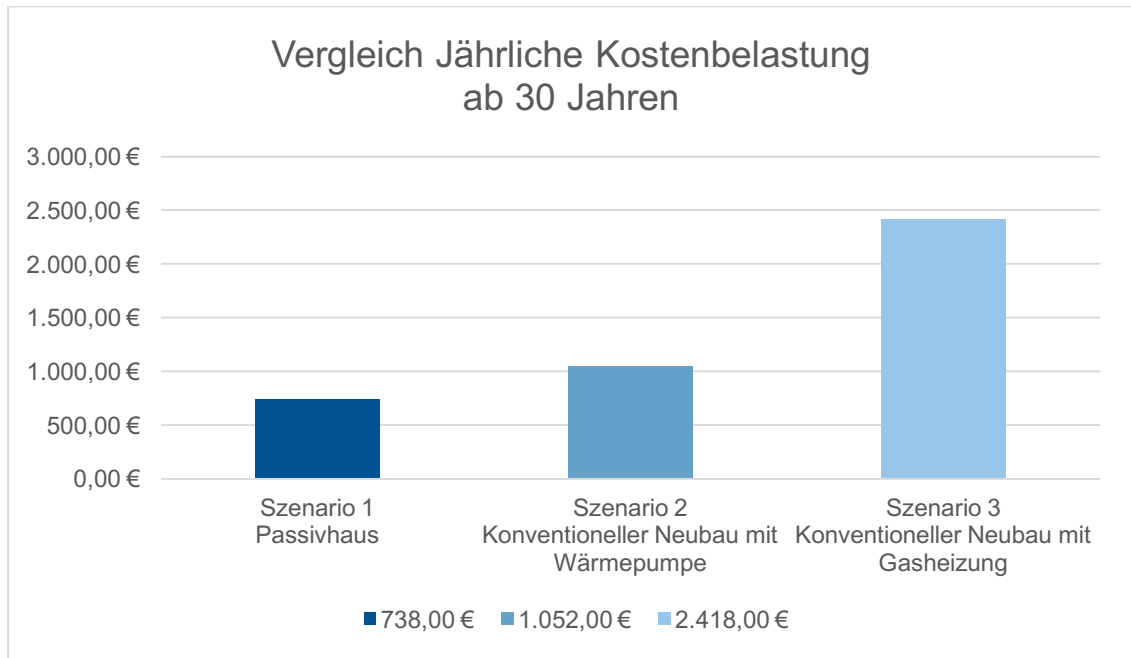


Abbildung 20: Eigene Berechnung, Vergleich Jährliche Kostenbelastung ab 30 Jahren

Damit steht fest, dass bereits in den ersten 30 Jahren ein großer finanzieller Vorteil gegenüber dem konventionell gebauten Haus mit Gasheizung, aber nur ein minimaler Vorteil gegenüber der Wärmepumpe entsteht. Allerdings weist das Passivhaus noch zusätzliche Werttreiber auf, die den finanziellen Vorteil erheblich ausbauen. Da beispielsweise aufgrund der guten Belüftung im Passivhaus keinerlei Feuchteprobleme auftreten, sind in Zukunft deutlich weniger Bauschäden zu erwarten. Diese können schnell erhebliche Kosten zur Folge haben, die in dieser Auswertung nicht berücksichtigt sind. Auch die Attraktivität des Gebäudes steigt im Falle eines Verkaufs, da es durch die höheren Qualitätsanforderungen Langlebigkeit verspricht und die geringen Nebenkosten für eine größere Mieternachfrage sorgen. Dies sind zusätzliche Punkte mit enorm werttreibender Wirkung, die den Vorsprung des Passivhauses weiter ausbauen.

Wie in Abbildung 20 ersichtlich wird, steht ab dem 31. Jahr ohnehin eine noch deutlich höhere Kosteneinsparung von 314,00 € pro Jahr zu Buche. Das liegt daran, dass im Regelfall mit der Wärmepumpe kein fertig abbezahlter Zustand eintritt. Denn zu dem Zeitpunkt, an dem der Kredit fertig getilgt ist, ist auch die kalkulierte Lebensdauer der Pumpe zu Ende, sodass ein Austausch fällig ist und so direkt im Anschluss die neue **Planungsbeispiel**

Pumpe abbezahlt werden muss. Im Unterschied dazu, fallen auf der Seite des Passivhauses allerdings große Teile der anfänglich kostentreibenden Faktoren wie Dämmung und Fenster weg, da sie abbezahlt sind und kein Austausch notwendig ist. So vergrößert sich die Kostendifferenz vom Passivhaus gegenüber den beiden anderen Szenarien noch einmal deutlich. Die Gründe dafür warum das Szenario mit der Gasheizung im Vergleich so viel schlechter abschneidet, liegt offensichtlich daran, dass der Gaspreis derzeit so hoch ist. Allerdings ist dabei anzumerken, dass der verwendete Gaspreis von 12,21 ct/kWh aus dem Januar 2022 stammt und somit noch weitestgehend unberührt vom Russland/Ukraine Konflikt ist. Hätte die Kursfixierung nur zwei Monate später stattgefunden, wäre die Kostendifferenz noch viel drastischer ausgefallen.

Das positive Signal, das der Auswertung zu entnehmen ist, ist, umso energieeffizienter und nachhaltiger in den drei Szenarien gebaut wurde, desto kostengünstiger fiel das Ergebnis aus. Es wird also klar, dass das Passivhaus auch ohne staatliche Subventionen finanziell lohnenswerter ist als ein konventionell neu gebautes Haus. Dies ist ein sehr interessantes Ergebnis, da es zeigt, dass die Rentabilität eben nicht an existierende Förderprogramme gekoppelt ist. Möglichst energieeffizientes Bauen ist also bereits an sich das wirtschaftlich attraktivste Modell.

3. Energieeinsparpotenziale

3.1. Neubau

Der große Vorteil bei Neubauten den es zu nutzen gilt, ist, dass man bereits zu Beginn der Planung die Voraussetzungen für Energieeinsparungen schaffen kann. Anders als bei Bestandsbauten, lassen sich so nahezu alle Möglichkeiten umsetzen, da noch keine baulichen Einschränkungen vorliegen. So geht damit aber auch gleichzeitig die Verantwortung einher, Neubauten so zu realisieren, dass in Zukunft möglichst wenig Sanierungsbedarf entsteht und die Gebrauchstauglichkeit möglichst lange gewährleistet bleibt. Die EU-Richtlinie gibt vor, dass seit 2021 alle Neubauten sogenannte Niedrigenergiegebäude sein sollen. Die relativ ungenaue Beschreibung davon lautet, dass ein solches Haus eine sehr gute Gesamtenergieeffizienz aufweisen und dessen Energiebedarf sehr gering sein muss. Soweit möglich, soll dieser zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden (EU). Um das Ganze ein wenig zu präzisieren und in Zahlen auszudrücken entspricht somit der Energiestandard für Neubauten einem Verbrauch (Endenergie) von etwa $50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Ob das viel oder wenig ist, hängt davon ab mit was es verglichen wird. In Relation zum durchschnittlichen deutschen Wohngebäude, welches einen Endenergiebedarf von $160 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ aufweist, ist das wenig. (Verbraucherzentrale, 2021) Jedoch im Vergleich zum Passivhaus mit $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ wird wiederum sehr viel verbraucht. Mit der Passivhausvariante ließen sich hier also gegenüber einem konventionellen Neubau noch einmal 70% des Energieverbrauchs einsparen. Wie die Ergebnisse der EnerCalC-Berechnung zeigen ist genau das in dem zugrundeliegenden Projekt gelungen. In der nachstehenden Tabelle werden die Projektergebnisse maßgeblicher Kriterien aufgelistet und mit den maximal zulässigen Werten auf Passivhausniveau verglichen.

Kriterium	Vergleich	Erzielter Wert	Zulässiger Höchstwert	Erfüllung
Primärenergiebedarf (kWh/m ² *a)		24,10	60,00	JA
Heizwärmebedarf (kWh/m ² *a)		4,50	15,00	JA
Heizlast W/m ²		13,00	10,00	NEIN
U-Wert opake Bauteile W/m ² *K		0,07	0,15	JA
U-Wert transparente Bauteile W/m ² *K		0,625	0,80	JA
Luftdichtheit 1/h		0,60	0,60	JA

Abbildung 21: Vergleich Kennwerte Passivhaus mit Planungsobjekt

Der Vergleich zeigt, dass im geplanten EFH, bis auf die Heizlast alle maximal zulässigen Kennwerte eingehalten wurden. Die Überschreitung der Heizlast liegt jedoch vor Allem daran, dass EnerCalC nicht zulässt wirklich alle Spielräume auszunutzen. Ein Beispiel ist die Luftdichtheit. Sie kann bestenfalls mit 0,6/h angesetzt werden, obwohl in der Praxis Werte von 0,2 bis 0,5 durchaus üblich sind. Die Heizlast gibt an welche Wärmezufuhr benötigt wird um eine bestimmte Raumtemperatur halten zu können. Wenn nun im Programm die Möglichkeit bestehen würde die Luftdichtheit zu verbessern, würde sich das wiederum positiv auf die Heizlast auswirken, sodass diese dann die 10 W/m² höchstwahrscheinlich einhalten würde. Allgemein wird deutlich, dass sich die im Zuge der Planung getroffenen Entscheidungen als sehr wirksam und energieeffizient herausstellen. Allein unter Anbetracht des Endenergiebedarfs wird klar, wie effektiv die vielen Einsparpotenziale genutzt wurden. In der der Endenergiebilanz stuft EnerCalC das geplante Objekt in die beste Energieeffizienzklasse A⁺ ein und gibt einen Endenergiebedarf von 1,3 kWh/m²a aus. (siehe Anhang S.62 „EnerCalC Energieeffizienzklasse Wohngebäude“). Das Positivste daran ist, dass es nicht nur zeigt welche enormen Potenziale generell in Neubauten stecken, sondern vor allem auch, dass die Aktivierung energetischer Potenziale in positive Wechselwirkung mit wirtschaftlichen Interessen tritt. Ökologisches Denken und nachhaltiges Bauen wird also finanziell belohnt. Egal ob mit oder ohne staatliche Subventionen.

3.2. Bestandsgebäude

Wie soeben ersichtlich wurde stecken einige Energieeinsparpotenziale im Neubau. Nun ist es jedoch auch noch sehr wichtig die Potenziale der Bestandsbauten herauszuarbeiten. Denn unter Anbetracht der Tatsache, dass in Deutschland aktuell die Neubaurate unter 1% liegt (Deutsche Energie-Agentur, 2016) und diese sich in den kommenden Jahren aller Voraussicht nach nicht signifikant verändern wird, wird schnell klar, dass die Potenziale im Neubau eine nicht allzu große Hebelwirkung haben. Folgende Abbildung gibt Aufschluss über die Gebäudestruktur nach Baualtersklassen.

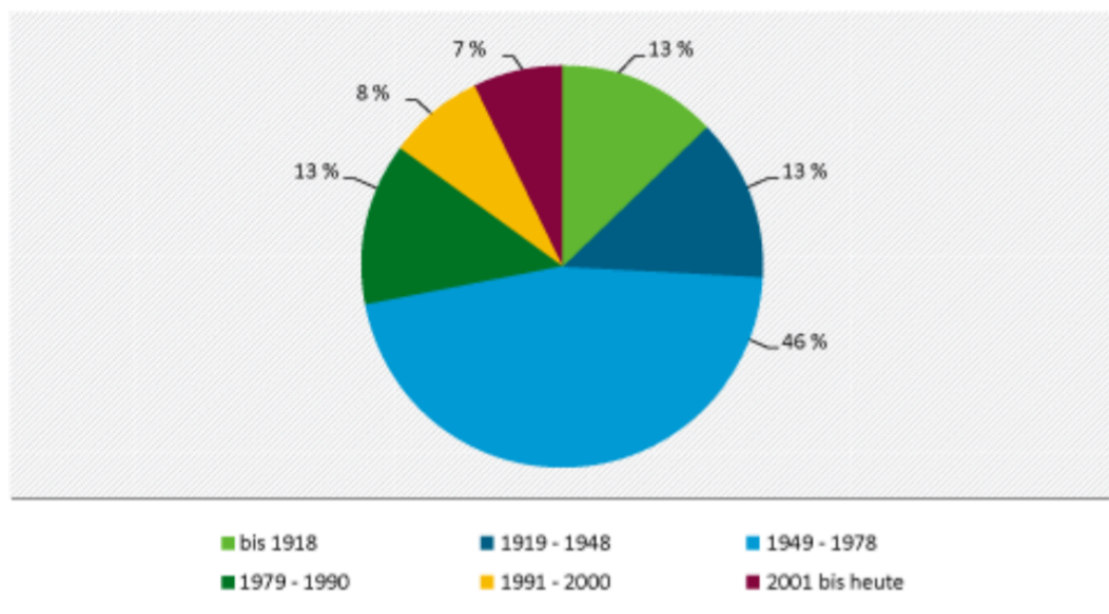


Abbildung 22: Gebäudestruktur nach Baualtersklassen (Umweltbundesamt, 2019)

Wie aus der Abbildung abzulesen ist, wurden rund ein Viertel aller existierenden Gebäude in Deutschland nach 1979 errichtet. Somit ergibt sich, dass fast Dreiviertel vor 1979 gebaut wurden. Also zu einem Zeitpunkt, an dem noch keine einzige Wärmeschutzverordnung erlassen wurde. Aus diesem Grund hat die energetische Sanierung des Gebäudebestandes eine weitaus größere Bedeutung als der Neubau und spielt eine entscheidende Rolle bei der Erreichung klimapolitischer Ziele (Umweltbundesamt, 2019). Nun müssen nur noch Daten über die Sanierungsraten und Sanierungstiefen der

entsprechenden Gebäudealtersklassen herangezogen werden um das gesamte Potenzial einordnen zu können. Co2online ist eine Gebäudedatenbank die dazu Datenauswertungen vorgenommen hat. Auch das Umweltbundesamt zieht sie häufig als Quelle heran. Die Auswertung der Daten ist bereits 2011 erfolgt und ist somit relativ alt. Aufgrund der niedrigen jährlichen Sanierungsrate von rund 1% besteht jedoch weiterhin eine gute Aussagekraft der Daten. Zur Veranschaulichung dient die folgende Abbildung.

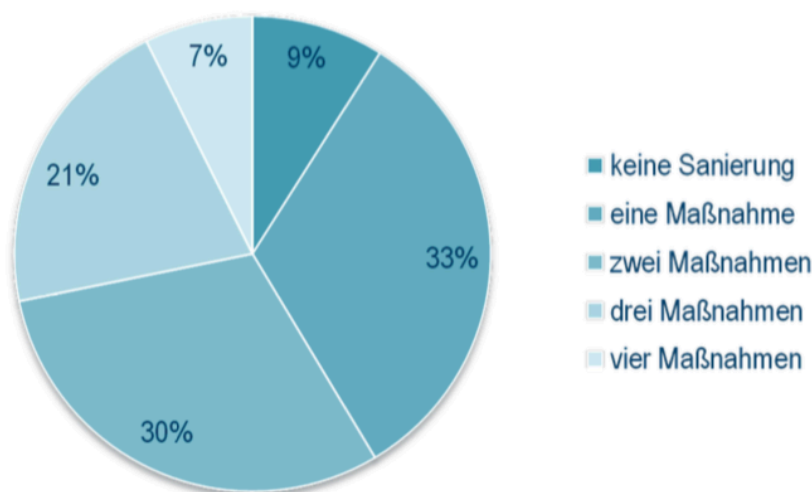


Abbildung 23: Anzahl durchgeführter Sanierungsmaßnahmen bei Altbauten (Baujahren vor 1979) (co2online, 2011)

Die Grafik zeigt prozentual die Anzahl durchgeführter Sanierungsmaßnahmen bei Altbauten. Sie liefert also die Erkenntnis, dass circa 70% der Altbauten, die älter als 1979 sind, überhaupt nicht oder nur unzureichend gedämmt sind. Die gerundeten 70% setzen sich aus den folgenden Anteilen zusammen: 9% „keine Sanierung“, 33% „eine Maßnahme“ und 30% „zwei Maßnahmen“. Wie aus Abbildung 5 hervorgeht, liegt der Energieverbrauchskennwert nach zwei umgesetzten Sanierungsmaßnahmen durchschnittlich immer noch bei 155 kWh/m²m. Dieser Wert ist ≤ 200 und damit trotz der zwei durchgeführten Maßnahmen im Gebäudeenergieausweis der Kategorie E, beziehungsweise den unsanierten Gebäuden zuzuordnen. Des Weiteren wurden lediglich bei 20% dieser Wohneinheiten die Fassaden nachträglich gedämmt (Umweltbundesamt, 2019). Die Kombination aus der großen Anzahl an Altbauten und dem extrem niedrigen Sanierungsniveau ergibt sich ein enormes Energieeinsparpotenzial. 40% des deutschen Endenergieverbrauchs wird in Gebäuden verbraucht. Das Meiste davon wiederum wird

für die Warmwasserbereitstellung und Heizung gebraucht. Wenn nun sowohl die Sanierungsrate als auch die Sanierungstiefe erhöht wird, ließe sich so in Zukunft sehr viel Energie einsparen. Die Sanierungsrate besagt, wie viel Prozent der referenzierten Gebäude saniert wurden. Mit der Tiefe wird dann die Anzahl der getroffenen Sanierungsmaßnahmen beschrieben.

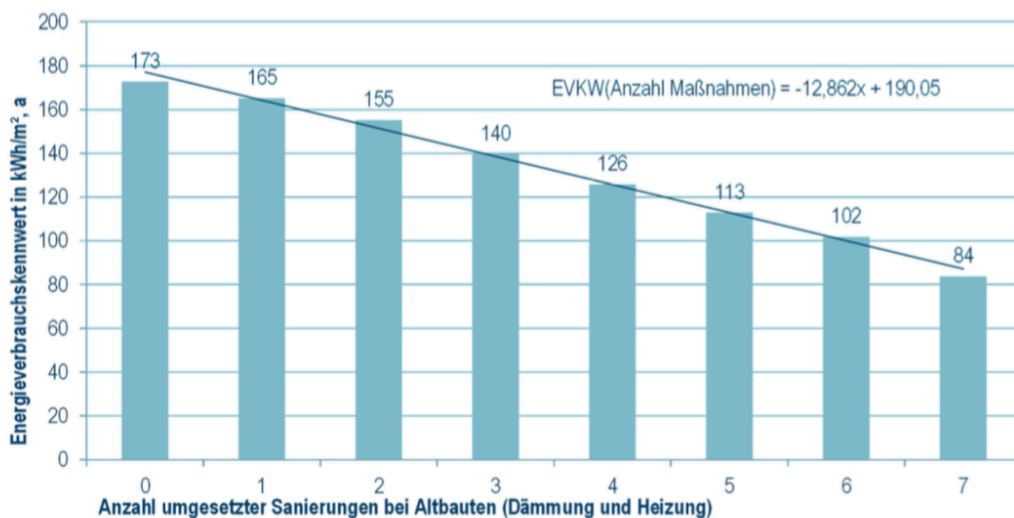


Abbildung 24: Wirkung von Sanierungsmaßnahmen auf den Heizenergieverbrauch (co2online, 2011)

In Abbildung 5 lässt sich die Auswirkung der Sanierungstiefe ablesen. Vollsanierte Wohngebäude (7 umgesetzte Sanierungen) mit zusätzlicher Nutzung von Solarthermie sparen im Vergleich zum unsanierten Zustand rund 52% Heizenergie ein. Ausschlaggebend für die Halbierung des Heizenergieverbrauchs sind hierbei die umfassende Gebäudehüllendämmung, Fenstererneuerungen und heizungstechnische Maßnahmen (Umweltbundesamt, 2019). Außerdem zeigt die Abbildung, dass eine lediglich hohe Sanierungsrate wenig über den tatsächlichen Ausnutzungsgrad des Energieeinsparpotenzials aussagt. Eine 100%ige Sanierungsrate mit einer Sanierungstiefe von nur einer umgesetzten Sanierung könnte so aufgrund der hohen Quote den Anschein machen viel Energie einzusparen. Bei genauerer Betrachtung wird dann aber klar, dass tatsächlich nur 8 kWh/m²a pro Gebäude gespart werden würden. Wenn stattdessen die Sanierungsrate nur bei 50% liegen würde, dafür die Anzahl der umgesetzten Sanierung deutlich höher wäre, ließe sich so im Endeffekt viel mehr Energie einsparen. Das heißt, nur einen Blick auf die Sanierungsrate zu werfen, wäre unzureichend und nicht zielführend. Es muss also zusätzlich zu der Quote die Sanierungstiefe betrachtet werden um eine

Energieeinsparpotenziale

valide Aussage über die Einsparpotenziale treffen zu können. Sanierungsförderprogramme der KfW könnten hierbei helfen die Sanierungsdurchdringung weiter zu steigern.

3.3. Potenzial Photovoltaik

Um Klimaneutralität während der Gebäudebetriebszeit gewährleisten zu können muss einerseits der Energieverbrauch möglichst geringgehalten, und andererseits der restliche Bedarf mit erneuerbaren Energien gedeckt werden. Abbildung 7 gibt Aufschluss darüber wie die aktuelle Verteilung der Energieträger in Deutschland ist.

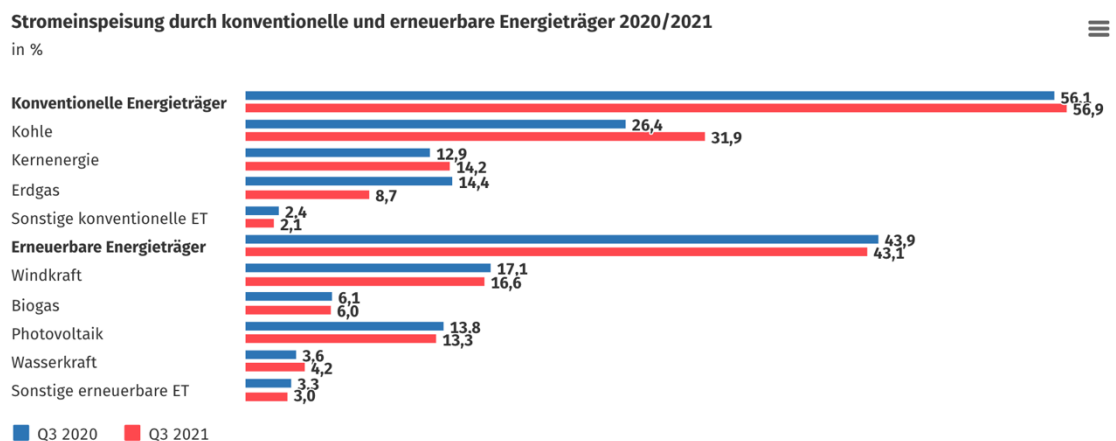
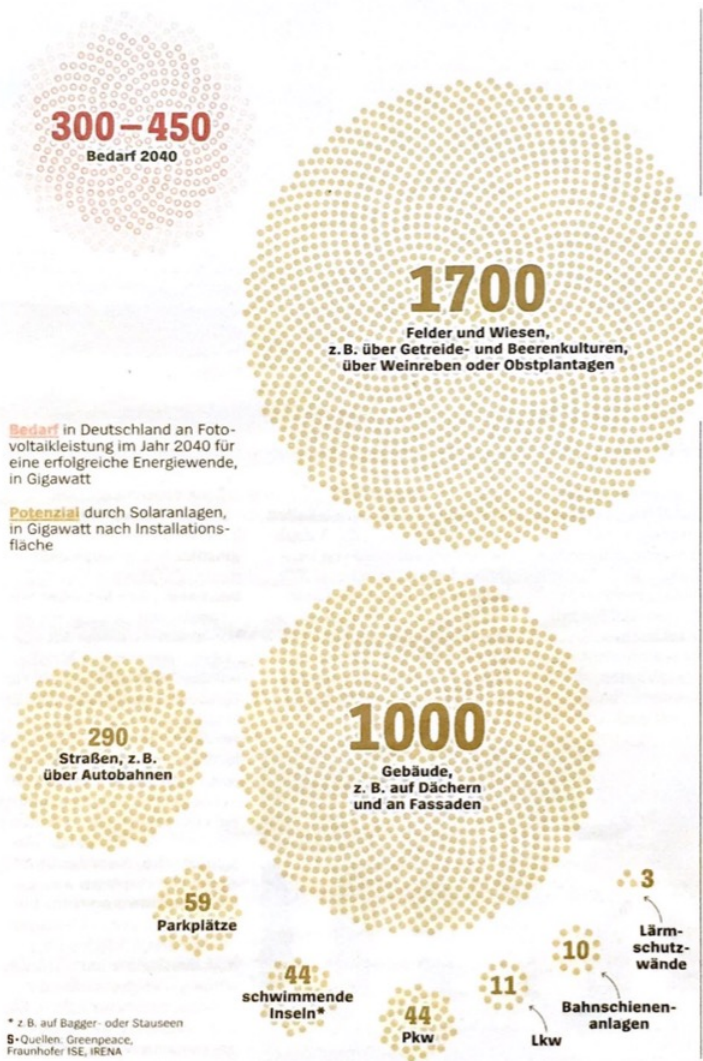


Abbildung 25: Energieträgerverteilung (Statistisches Bundesamt , 2022)

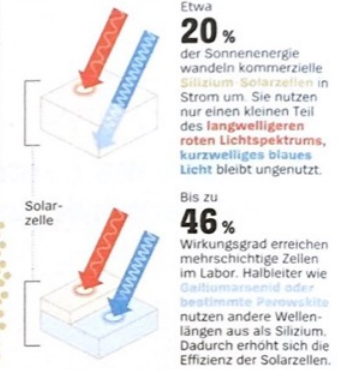
Wie aus der Statistik hervorgeht überwiegen noch immer die konventionellen Energieträger wie Kohle, Kernenergie etc. in der Stromeinspeisung gegenüber erneuerbarer Energien. Neben der Erhöhung der Gebäudeeffizienz, muss deshalb zwingend parallel der Ausbau regenerativer Energiequellen verstärkt erfolgen. Die Photovoltaik könnte dabei in Zukunft eine entscheidende Rolle spielen. Der Spiegel hat dazu Ende November 2021 basierend auf Studien des Fraunhofer Instituts, Greenpeace und IRENA die folgende Grafik veröffentlicht.



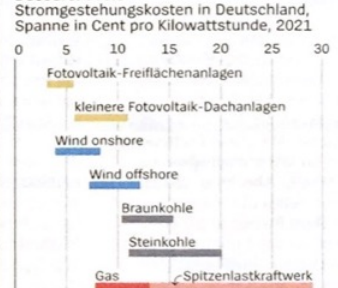
Bedarf in Deutschland an Fotovoltaikleistung im Jahr 2040 für eine erfolgreiche Energiewende, in Gigawatt

Potenzial durch Solaranlagen, in Gigawatt nach Installationsfläche

Bessere Technologien



Besserer Preis



Bessere Zukunft



Abbildung 26: Potenzial Photovoltaik (Bethge, 2021)

Der Abbildung ist zu entnehmen, dass für eine erfolgreiche Energiewende im Jahr 2040 300-450 Gigawatt Photovoltaikleistung benötigt werden. Diesem Bedarf steht ein mögliches Potenzial von rund 3160 Gigawatt aus Photovoltaikanlagen gegenüber. Das bedeutet, dass das prognostizierte Potenzial etwa achtmal so groß ist wie der Bedarf. Derzeit ist eine Photovoltaikleistung von 54 Gigawatt in Deutschland installiert. Damit werden etwa 9% des Strombedarfs abgedeckt (Bethge, 2021). Demzufolge ist ein jährlicher zusätzlicher Ausbau um 20 Gigawatt nötig um den Bedarf 2040 bedienen zu können. Diese Zunahme, die eine Erhöhung der gegenwärtigen Leistung um 37% binnen eines Jahres bedeutet, klingt zunächst einmal sehr ambitioniert. Zweifellos ist es eine herausfordernde Zielsetzung. Jedoch gibt es einige positive Voraussetzungen. Erstens spielt die Attraktivität des günstigen Stromes eine Rolle. Wie bei der vorher durchgeführten beispielhaften Planung eines Einfamilienhauses bereits beschrieben, stellt eine Photovoltaikanlage eine vergleichsweise sehr günstige Möglichkeit dar Strom zu beziehen. Abhängig von der Größe der Anlage, also je nachdem ob es sich um eine Freiflächenanlage oder um eine kleine Dachanlage handelt, bewegen sich die Stromgestehungskosten in einer Spanne von etwa 4-11 Cent pro kWh. Eine kWh aus Braun- und Steinkohle ist hingegen doppelt bis dreimal so teuer, wie die aus einer Photovoltaikfreiflächenanlage. Dies stellt einen natürlichen Anreiz dar, der den Ausbau von PV-Anlagen sicherlich vorantreiben wird. Zweitens lässt sich zukünftig möglicherweise durch bessere Technologien einfacher und schneller eine höhere PV-Leistungskapazität erreichen als bisher. Aktuell wandeln handelsübliche Silizium-Solarzellen etwa 20% der Sonnenenergie in Strom um. Dieser relativ geringe Wirkungsgrad kommt zustande, weil nur ein kleiner Teil des langwelligen roten Lichtspektrums zur Energiegewinnung genutzt werden kann. Kurzwelliges blaues Licht bleibt bisher komplett ungenutzt. Allerdings wird in Laboren mittels mehrschichtiger Solarzellen mittlerweile ein Wirkungsgrad von 46% erreicht. Dies entspricht einer Effizienzerhöhung um 130%. Bessere Technologien, beziehungsweise ein höherer Wirkungsgrad kommerzieller Solarzellen kann logischerweise die Erhöhung der Solarleistung enorm beschleunigen. Und drittens könnte der in Deutschland vorhandene große Flächenreichtum ein entscheidender Antrieb im Ausbau von Photovoltaik sein. Deutschland hat heute schon ein Platzproblem, sodass die Standortfrage von Kraftwerken oder Windkraftanlagen immer schwieriger und zeitintensiver wird. Genau hier weist die Photovoltaik jedoch einen großen Wettbewerbsvorteil gegenüber anderen Energiequellen auf. Denn die Experten des Fraunhofer Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) gehen davon aus, dass Solarenergie kaum eigene Flächen benötigt. So werden bereits mit Hochdruck kreative Lösungen erarbeitet um so

Energieeinsparpotenziale

viele Flächen wie möglich mit Solarmodulen zu bestücken. Über Felder und Wiesen, über Straßen und Parkplätzen und auf Gebäudedächern und Fassaden könnten sie zum Einsatz kommen. Weitere potenzielle Flächen sind schwimmende Inseln, Pkw- und Lkw-Dächer sowie Bahnschienenanlagen. Auch Lärmschutzwände könnten als Flächen in Betracht gezogen werden. Allein die Gebäudeflächen, aus Dächern und Fassaden bieten ein Potenzial von 1000 Gigawatt Solarleistung, was ein doppelt bis dreifach so hohes Potenzial wie der Bedarf 2040 verspricht. Das größte Potenzial ermöglicht allerdings die sogenannte Agriphotovoltaik. Es bezeichnet ein System in dem eine Fläche gleichzeitig für landwirtschaftliche Pflanzenproduktion und Stromproduktion durch PV-Anlagen genutzt werden. Dadurch entsteht eine enorme Flächeneffizienz und ein technisches Leistungspotenzial von etwa 1700 Gigawatt (ISE, Fraunhofer Institut, 2022).

4. Ausblick / Zusammenfassung

Es wurden nun einige Energieeinsparpotenziale lokalisiert und Handlungsoptionen herausgearbeitet. Abschließend ist es nun wichtig die Erkenntnisse noch einmal im Gesamtzusammenhang zu betrachten. Durch die beispielhafte Passivhausplanung wurde tatsächliche Energieeffizienz aufgezeigt und wie sie in einem realen Umfeld umgesetzt werden kann. Die anschließende Wirtschaftlichkeitsberechnung der verschiedenen Szenarien hat die Energieeffizienzmaßnahmen auf Umsetzbarkeit geprüft und ergeben, dass die positive Rentabilität des Passivhauses in Zukunft eine vermehrte Nachfrage nach diesem Modell verspricht. Des Weiteren wurden die Energieeinsparpotenziale im Neubau und vor Allem in den Bestandsgebäuden herausgearbeitet. Das Ergebnis sind enorme Potenziale die momentan noch ungenutzt in den Bestandsbauten schlummern und aktiviert werden können. Alleine an dem Fakt, dass 75% aller existierenden Gebäude in Deutschland vor 1979 errichtet wurden, also zu einem Zeitpunkt an dem noch keine einzige Wärmeschutzverordnung erlassen wurde, lässt sich die Dimension der Potenziale in diesem Segment erahnen. Die Herausforderung der Gebäudeklimateutralität bis 2045, wie sie vom Gesetzgeber vorgeschrieben ist, ist enorm. Grundsätzlich sind für ein erfolgreiches Erreichen ambitionierter Ziele entsprechende Handlungsspielräume essentiell. Diese sind, wie in den Kapiteln 2 und 3 beschrieben, in ausreichender Form vorhanden. Die Anstrengungen das klimapolitische Ziel zu erreichen müssen aber zwingend weiter erhöht werden. Treibende Kraft wird dabei das Erhöhen der Sanierungsrate und –tiefe sein müssen. Klar jedoch ist, selbst wenn die Erreichung der Gebäudeklimaziele bis 2045 erreicht werden, existiert noch keine Gebäudeklimateutralität im eigentlichen Sinne. Denn dann wäre der Gebäudeenergiebedarf auf ein Minimum reduziert und der restliche Bedarf mit erneuerbaren Energien gedeckt, was wiederum der Neutralität während der Gebäudebetriebszeit entsprechen würde. Zweifellos ist das eine große Errungenschaft, die anzustreben ist. Aber es ist enorm wichtig diesen Erfolg nur als Etappenziel auf dem Weg zur tatsächlichen Gebäudeklimateutralität zu verbuchen. Denn wie eingangs erwähnt, ist die ressourcenintensive Herstellung und der Rückbau der Gebäude bis dahin in der Klimateutralität noch nicht mitberücksichtigt. Elementar wichtig, um das heutige lineare Wirtschaftssystem in eine Kreislaufwirtschaft erfolgreich zu transformieren, wird dabei keinen Widerspruch zu kontinuierlichem Wirtschaftswachstum zu erzeugen. Es gilt den Ressourceneinsatz weiter zu minimieren und

ein von Wiederverwertung und Erneuerung geprägtes System zu erschaffen. Generell sollten Produkte, bzw. in dem Fall Gebäude, möglichst lange genutzt werden und im Falle des Rückbaus, die daraus gewonnene Sekundärbaustoffe in Neubauten wiederverwendet werden (Dornack, 2021).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, die Klimaneutralität während der Gebäudebetriebszeit ist ein wichtiges Etappenziel. Das eigentliche Ziel lautet aber die klimaneutrale Betriebszeit in einen nachhaltigen Produktionskreislauf zu integrieren. Nur so kann dem Wort Gebäudeklimaneutralität im eigentlichen Sinne gerecht geworden werden.

5. Literaturverzeichnis

- DAA Deutsche Auftragsagentur GmbH. (2022). Von <https://www.effizienzhaus-online.de/energieverbrauch-haus/> abgerufen
- Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (2021). *Vom Niedrigstenergiehaus zum Hocheffizienzhaus*. Von https://www.asue.de/blockheizkraftwerke/broschueren/311690_vom_niedrigstenergiehaus_zum_hocheffizienzhaus abgerufen
- baunetzwissen. (kein Datum). Von <https://www.baunetzwissen.de/glossar/g/geometrische-waermebruecken> abgerufen
- BDEW-Gaspreisanalyse. (2022). Von <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-gaspreisanalyse/> abgerufen
- Bethge, P. (20. 11 2021). *DER SPIEGEL*(Nr. 47).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2015). *Energieeffizienzstrategie Gebäude, Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand*.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2015). *Energieeffizienzstrategie Gebäude, Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand*.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2015). *Energieeffizienzstrategie Gebäude, Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand*.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2015). *Energieeffizienzstrategie Gebäude, Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand*.
- Bundesverband Geothermie. (12 2021). Von [https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/c/cop-wert.html#:~:text=Der%20COP%20Wert%20ist%20eine,erforderlichen%20Antriebsenergie%20\(Strom\)%20an](https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/c/cop-wert.html#:~:text=Der%20COP%20Wert%20ist%20eine,erforderlichen%20Antriebsenergie%20(Strom)%20an) abgerufen
- co2online. (kein Datum). Von <https://www.co2online.de/energie-sparen/strom-sparen/strom-sparen-stromspartipps/strompreis/> abgerufen
- co2online. (2011). *co2online 2011 (b)*.
- DAA Deutsche Auftragsagentur GmbH . (2021). Von <https://www.effizienzhaus-online.de/heizoelpreise-entwicklung/> abgerufen
- DAA GmbH. (2022). Von <https://www.heizungsfinder.de/waermepumpe/kostenpreise> abgerufen
- Deutsche Energie Agentur. (2016). *dena- Gebäudereport, Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand*.
- DieEnergieexperten. (05. 11 2021). Von <https://die-energieexperten.de/waermebruecken/> abgerufen
- Dornack, C. (28. 12 2021). Prof. *Kreislaufwirtschaft: Wir sind am Rand einer fundamentalen Transformation*. (M. Müller, Interviewer, & H. T. Podcast, Herausgeber)
- EU. (kein Datum). *Amtsblatt der Europäischen Union 2010/31/EU, Artikel 2, Begriffsbestimmungen*.

- Finanztip. (2021). Von <https://www.finanztip.de/stromvergleich/strompreis/> abgerufen
- Finanztip. (20. 01 2022). Von <https://www.finanztip.de/stromtarife/waermepumpe/> abgerufen
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme. (2021). Von https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2021_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf abgerufen
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme. (2021). Von https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2021_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf abgerufen
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme. (2021). Von https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2021_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf abgerufen
- heizung.de. (kein Datum). Von <https://heizung.de> abgerufen
- immowelt Group. (29. 10 2020). Von <https://www.bauen.de/geg.html> abgerufen
- Interhyp. (24. 03 2022). Von <https://www.interhyp.de/ratgeber/was-muss-ich-wissen/zinsen/zins-charts.html> abgerufen
- ISE, Fraunhofer Institut. (2022). Von <https://www.ise.fraunhofer.de/de/leitthemen/integrierte-photovoltaik/agri-photovoltaik-agri-pv.html> abgerufen
- Müller, F. (18. 09 2020). (D. M. Diehl, Interviewer)
- Passipedia. (12. 04 2022). Von https://passipedia.de/grundlagen/wirtschaftlichkeit/wirtschaftlichkeit_von_baulichen_energiesparmassnahmen/sind_passivhaeuser_wirtschaftlich abgerufen
- Passivhaus Institut. (kein Datum). Von https://passipedia.de/grundlagen/was_ist_ein_passivhaus abgerufen
- Passivhaus Institut. (kein Datum). Von https://passiv.de/de/02_informationen/02_qualitaetsanforderungen/02_qualitaetsanforderungen.htm abgerufen
- Passivhaus Institut. (kein Datum). Von passiv.de abgerufen
- Statistisches Bundesamt . (2022). Von www.destatis.de. abgerufen
- Statistisches Bundesamt. (2021). Von Bundesverband Wärmepumpe e.V.: Bautätigkeit, Baugenehmigungen für Wohngebäude nach primär verwendeter Energie zur Heizung abgerufen
- Umweltbundesamt. (2019). *Wohnen und Sanieren - Empirische Wohngebäudedaten seit 2002* (Publikation Umweltbundesamt 22/19 Ausg.).
- Umweltbundesamt. (2019). *Wohnen und Sanieren- Empirische Wohngebäudedaten seit 2002* (Publikationen Umweltbundesamt 22/19 Ausg.).
- Umweltbundesamt. (2019). *Wohnen und Sanieren- Empirische Wohngebäudedaten seit 2002* (Publikationen Umweltbundesamt 22/19 Ausg.).

- Umweltbundesamt. (2019). *Wohnen und Sanieren- Empirische Wohngebäudedaten seit 2002* (Publikationen Umweltbundesamt 22/19 Ausg.).
- Verbraucherzentrale. (11. 12 2020). Von <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/energetische-sanierung/geg-was-steht-im-neuen-gebaeudeenergiegesetz13886> abgerufen
- Verbraucherzentrale. (2021). Von <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/energetische-sanierung/energieausweis-was-sagt-dieser-steckbrief-fuer-wohngebaeude-aus-24074> abgerufen
- Verbraucherzentrale NRW. (2021). Von <https://www.verbraucherzentrale.nrw/wissen/energie/lohnensich-batteriespeicher-fuer-photovoltaikanlagen-24589> abgerufen
- Zinsentwicklung.de. (kein Datum). Von <https://www.zinsentwicklung.de/zinscharts.html#!/> abgerufen
- ZUB Systems. (kein Datum). Von www.zub-systems.de abgerufen

6. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Produktionskreislauf, Düllmann / Ph. Lüffe	4
Abbildung 2: Grundriss Erdgeschoss	8
Abbildung 3: Grundriss 1. Obergeschoss.....	9
Abbildung 4: Ansicht Süd	10
Abbildung 5: Ansicht Nord.....	10
Abbildung 6: Ansicht West	11
Abbildung 7: Ansicht Ost	11
Abbildung 8: Schnitt A-A	12
Abbildung 9: Eckpfeiler Passivhaus	13
Abbildung 10: Wärmebrücken	15
Abbildung 11: Vergleich Kostenbelastung	20
Abbildung 12: Tabellarische Darstellung Veränderung der Einflussgrößen	21
Abbildung 13: Eigene Berechnung, Vergleich Jährliche Kostenbelastung.....	23
Abbildung 14: Eigene Berechnung, Ermittlung Mehraufwand Passivhaus	24
Abbildung 15: Eigene Berechnung, Ermittlung Mehraufwand durch Wärmepumpe	25
Abbildung 16: Wärmepumpen-Marktanteile in Deutschland	26
Abbildung 17: Eigene Berechnung, Ermittlung Heizkosten durch Gas	26
Abbildung 18: Eigene Berechnung, Konventioneller Neubau mit Gasheizung	27
Abbildung 19: Eigene Berechnung, Vergleich Jährliche Kostenbelastung in den Jahren 1-30	27
Abbildung 20: Eigene Berechnung, Vergleich Jährliche Kostenbelastung ab 30 Jahren	28
Abbildung 21: Vergleich Kennwerte Passivhaus mit Planungsobjekt	31
Abbildung 22: Gebäudestruktur nach Baualtersklassen	32
Abbildung 23: Anzahl durchgeführter Sanierungsmaßnahmen bei Altbauten (Baujahren vor 1979)	33
Abbildung 24: Wirkung von Sanierungsmaßnahmen auf den Heizenergieverbrauch .	34
Abbildung 25: Energieträgerverteilung	35
Abbildung 26: Potenzial Photovoltaik	36

Anhang A

Szenario 1

Investitionsrechnung (Jahre 1-30)

Randbedingungen/Informationen

- Gesamtes EK aufgebraucht, alle entstehenden Mehrkosten werden per Kredit finanziert
- Kredit
 - Zins 2,44% p.a.
 - Zinsbindung 20 Jahre
 - Laufzeit 30 Jahre
- Ermittlung Mehraufwand Passivhaus (Quelle)
 - https://passipedia.de/grundlagen/wirtschaftlichkeit/wirtschaftlichkeit_von_baulichen_energiesparmassnahmen/sind_passivhaeuser_wirtschaftlich
- Berechnung Kreditrate
 - <https://www.zinsen-berechnen.de/kreditrechner.php>
- Berechnung Strom für Lüftungsanlage
 - Jährlicher Lüftungsstrombedarf entspricht lt. EnerCalc Berechnung $37,0 \text{ kWh/m}^2\text{a} * 160\text{m}^2 \text{ WNFL} = 5920 \text{ kWh/a}$
 - Annahme es existiert eigene PV-Anlage, die den Strombedarf der Lüftungsanlage zu 100% deckt
 - Strompreis für eigenproduzierten Strom aus PV-Anlage = 7 ct/kWh (Quelle: siehe Endnote 16)
- Wartung (Quelle)
 - <https://heizung.de/heizung/wissen/die-lueftungsanlagen-wartung-und-ihre-kosten/#:~:text=%C3%9Cberschl%C3%A4gig%20k%C3%B6nnen%20Verbraucher%20mit%20Ausgaben,eine%20hohe%20Luftqualit%C3%A4t%20im%20Haus.>)

Ermittlung Mehraufwand Passivhaus	
Position	Mehr- bzw. Minderaufwand
Erhöhter Dämmstandard	4.800,00 €
Passivhausfenster	5.400,00 €
Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	5.200,00 €
Entfall von Flächenheizung	- 1.400,00 €
	14.000,00 €

Passivhaus ohne aktives Heizsystem	
Position	Jährliche Kosten
Erhöhung des Hypothekendarlehens Betrag: 14.000,00€ Nominalzins: 2,44% p.a. (Sollzinsbindung 20 J.) Laufzeit: 30 Jahre	663,55 €
Strom für Lüftungsanlage (5920 kWh/a * 7 ct/kWh)	414,40 €
Wartung	150,00 €
	1.227,95 €

Dazugehörige Kapitaldienstberechnung:

Kenndaten [weiße Felder ausfüllen, markiertes Feld wird berechnet] ▼ Was berechnen?

?	Kreditbetrag:	<input type="text" value="14.000,00"/> Euro	<input type="radio"/> Kreditbetrag berechnen
?	<input type="checkbox"/> Bearbeitungsgebühr:	keine	
?	<input type="checkbox"/> Disagio:	keines	
?	Zinssatz:	<input type="text" value="2,440"/> % p.a. nominal ▾	<input type="radio"/> Zinssatz berechnen
?	Rückzahlungsrate:	<input type="text" value="663,55"/> Euro	<input checked="" type="radio"/> Rate berechnen
?	Ratenintervall:	jährlich ▾	
?	Zahlungsart:	nachschüssig ▾	
?	<input type="checkbox"/> Abweichende Schlussrate:	nicht abweichend	
?	Laufzeit der Ratenzahlungen:	<input type="text" value="30"/> Jahre ▾	<input type="radio"/> Laufzeit berechnen
?	<input type="checkbox"/> Tilgungsfreie Zeit:	keine	
?	Restschuld:	<input type="text" value="0,00"/> Euro	<input type="radio"/> Restschuld berechnen
?	<input type="checkbox"/> Auszahlungsmonat:	nicht angegeben	
?	Rechengenauigkeit:	intern maximal ▾	

Datenschutzhinweis: Mit Klick auf Berechnen werden Ihre Eingabedaten über eine sichere HTTPS-Verbindung an unseren Server übermittelt und das Berechnungsergebnis zurück an Ihren Webbrowser gesendet. Die Daten werden dabei nicht gespeichert.

Permanentlink erstellen zu dieser Berechnung

Ergebnis	
Die erforderliche regelmäßige Rate beträgt:	663,55 Euro (jährlich)
Zinsen und Gebühren gesamt:	5.906,42 Euro
Gesamtaufwand:	19.906,42 Euro
Effektiver Jahreszinssatz:	2,440 % p.a. (interner Zinssatz, IRR)

Investitionsrechnung ab 30 Jahren:

Randbedingungen/Informationen

- Entstehende Kosten werden aus Eigenmitteln finanziert
→ Gedankengang, dass nach 30 Jahren wieder genug Eigenkapital zur Verfügung steht um die neuen Anschaffungen kreditlos zu tätigen
- Dämmung und Passivhausfenster sind abbezahlt und weiterhin intakt, sodass nur eine neue Lüftungsanlage zu finanzieren ist
- Anschaffungskosten für Lüftungsanlage, Strom und Wartungskosten bleiben unverändert

Szenario 1

Passivhaus ab 30 Jahren:

Passivhaus ohne aktives Heizsystem	
Position	Jährliche Kosten
Neue Lüftungsanlage mit WRG Betrag: 5.200,00€ Lebensdauer: 30 Jahre	173,33 €
Strom für Lüftungsanlage (5920 kWh/a * 7 ct/kWh)	414,40 €
Wartung	150,00 €
	737,73 €

Szenario 2

Investitionsrechnung (Jahre 1-30)

Randbedingungen/Informationen

- Gesamtes EK aufgebraucht, alle entstehenden Mehrkosten werden per Kredit finanziert
- Kredit
 - Zins 2,44% p.a.
 - Zinsbindung 20 Jahre
 - Laufzeit 20 Jahre
- Ermittlung Mehraufwand Wärmepumpe (Quelle)
 - „<https://www.heizungsfinder.de/waermepumpe/kostenpreise#:~:text=Die%20Preise%20f%C3%BCr%20eine%20W%C3%A4rmepumpe,eine%20Luft%2DWasser%2DW%C3%A4rmepumpe.>
- Berechnung der Kreditrate
 - <https://www.zinsen-berechnen.de/kreditrechner.php>
- Berechnung Strom für Wärmepumpe
 - Strombedarf / JAZ von Wärmepumpe = tatsächlicher Strombedarf
 - Strombedarf konventioneller Neubau = 11.000 kWh (Quelle: siehe Endnote 33)
 - JAZ = 3 (Quelle: <https://www.vaillant.de/heizung/heizung-verstehen/tipps-rund-um-ihre-heizung/jahresarbeitszahl/>)
 - Annahme es existiert eigene PV-Anlage, die den Strombedarf der Wärmepumpe zu 100% deckt
 - Strompreis für eigenproduzierten Strom aus PV-Anlage = 7 ct/kWh (Quelle: siehe Endnote 16)
- Wartung (Quelle)
 - <https://www.heizungsfinder.de/waermepumpe/kostenpreise#:~:text=Die%20Preise%20f%C3%BCr%20eine%20W%C3%A4rmepumpe,eine%20Luft%2DWasser%2DW%C3%A4rmepumpe.>

Ermittlung Mehraufwand durch Wärmepumpe	
Position	Mehr- bzw. Minderaufwand
Wärmepumpe Anschaffung	12.000,00 €
Montagekosten inkl. Material	2.500,00 €
	14.500,00 €

Ermittlung Stromkosten durch Wärmepumpe	
Heizkosten (Strom)	Jährliche Stromkosten
11000(kWh/a) / 3 = 3.667 kWh p.a.	
3.667 kWh p.a. * 7 ct/kWh	257,00 €

Konventioneller Neubau mit Wärmepumpe	
Position	Jährliche Kosten
Erhöhung des Hypothekendarlehens Betrag: 14.500,00€ Nominalzins: 2,44% p.a. Laufzeit: 20 Jahre	924,87 €
Wartung	70,00 €
Stromkosten	257,00 €
	1.251,87 €

Dazugehörige Kapitaldienstberechnung:

Kenndaten [weiße Felder ausfüllen, markiertes Feld wird berechnet]		Was berechnen?
<input type="checkbox"/>	Kreditbetrag: 14.500,00 Euro	<input type="radio"/> Kreditbetrag berechnen
<input type="checkbox"/>	Bearbeitungsgebühr: keine	
<input type="checkbox"/>	Disagio: keines	
<input type="checkbox"/>	Zinssatz: 2,440 % p.a. nominal	<input type="radio"/> Zinssatz berechnen
<input type="checkbox"/>	Rückzahlungsrate: 924,87 Euro	<input checked="" type="radio"/> Rate berechnen
<input type="checkbox"/>	Ratenintervall: jährlich	
<input type="checkbox"/>	Zahlungsart: nachschüssig	
<input type="checkbox"/>	Abweichende Schlussrate: nicht abweichend	
<input type="checkbox"/>	Laufzeit der Ratenzahlungen: 20 Jahre	<input type="radio"/> Laufzeit berechnen
<input type="checkbox"/>	Tilgungsfreie Zeit: keine	
<input type="checkbox"/>	Restschuld: 0,00 Euro	<input type="radio"/> Restschuld berechnen
<input type="checkbox"/>	Auszahlungsmonat: nicht angegeben	
<input type="checkbox"/>	Rechengenauigkeit: intern maximal	

Datenschutzhinweis: Mit Klick auf *Berechnen* werden Ihre Eingabedaten über eine sichere HTTPS-Verbindung an unseren Server übermittelt und das Berechnungsergebnis zurück an Ihren Webbrowser gesendet. Die Daten werden dabei nicht gespeichert.


 Permanentlink erstellen zu dieser Berechnung

Ergebnis	
Die erforderliche regelmäßige Rate beträgt:	924,87 Euro (jährlich)
<input type="checkbox"/> Zinsen und Gebühren gesamt:	3.997,40 Euro
<input type="checkbox"/> Gesamtaufwand:	18.497,40 Euro
<input type="checkbox"/> Effektiver Jahreszinssatz:	2,440 % p.a. (interner Zinssatz, IRR)

Investitionsrechnung ab 30 Jahren

Randbedingungen/Informationen

- Entstehende Kosten werden aus Eigenmitteln finanziert
→ Gedankengang, dass nach 30 Jahren wieder genug Eigenkapital zur Verfügung steht um die neuen Anschaffungen kreditlos zu tätigen
- Anschaffungskosten für neue Wärmepumpe, und laufende Kosten (Strom, Wartung) bleiben unverändert

Szenario 2

Konventionelles Haus mit Wärmepumpe ab 30 Jahren

Konventioneller Neubau mit Wärmepumpe	
Position	Jährliche Kosten
Neue Wärmepumpe + Installation Betrag: 14.500,00€ Lebensdauer: 20 Jahre	725,00 €
Stromkosten	257,00 €
Wartung	70,00 €
	1.052,00 €

Szenario 3

Investitionsrechnung (Jahre 1-30)

Randbedingungen/Informationen

- Gesamtes EK aufgebraucht, alle entstehenden Mehrkosten werden per Kredit finanziert
- Kredit
 - Zins 2,44% p.a.
 - Zinsbindung 20 Jahre
 - Laufzeit 20 Jahre
- Mehraufwand Gasheizung (Quelle)
 - <https://www.thermondo.de/leistungen/heizsystem/gasheizung/kosten/#:~:text=Mit%20Installation%20und%20Wasserspeicher%20belaufen,anderen%20Heizsystemen%20die%20g%C3%BCnstigste%20Variante.>
- Berechnung der Kreditrate
 - „<https://www.zinsen-berechnen.de/kreditrechner.php>“
- Gaspreis (siehe Endnote 34)
- Wartung (Quelle)
 - <https://www.thermondo.de/leistungen/heizsystem/gasheizung/kosten/#:~:text=Mit%20Installation%20und%20Wasserspeicher%20belaufen,anderen%20Heizsystemen%20die%20g%C3%BCnstigste%20Variante.>

Konventioneller Neubau mit Gasheizung	
Position	Jährliche Kosten
Erhöhung des Hypothekendarlehens (Installation, Wasserspeicher) Betrag: 8.000,00€ Nominalzins: 2,44% p.a. (Sollzinsbindung 20 J.) Laufzeit: 20 Jahre	510,27 €
Wartung	130,00 €
	640,27 €

Ermittlung Heizkosten durch Gas	
Heizkosten (Gas)	Jährliche Stromkosten
11000(kWh/a) Gas 12,21 ct/kWh Nominale Preissteigerung von 2% (inflationorientiert)	1.888,00 €

Dazugehörige Kapitaldienstberechnung:

Kenndaten [weiße Felder ausfüllen, markiertes Feld wird berechnet]		Was berechnen?
<input type="checkbox"/>	Kreditbetrag: <input type="text" value="8.000,00"/> Euro	<input type="radio"/> Kreditbetrag berechnen
<input type="checkbox"/>	Bearbeitungsgebühr: keine	
<input type="checkbox"/>	Disagio: keines	
<input type="checkbox"/>	Zinssatz: <input type="text" value="2,440"/> % p.a. nominal	<input type="radio"/> Zinssatz berechnen
<input type="checkbox"/>	Rückzahlungsrate: <input type="text" value="510,27"/> Euro	<input checked="" type="radio"/> Rate berechnen
<input type="checkbox"/>	Ratenintervall: jährlich	
<input type="checkbox"/>	Zahlungsart: nachschüssig	
<input type="checkbox"/>	Abweichende Schlussrate: nicht abweichend	
<input type="checkbox"/>	Laufzeit der Ratenzahlungen: <input type="text" value="20"/> Jahre	<input type="radio"/> Laufzeit berechnen
<input type="checkbox"/>	Tilgungsfreie Zeit: keine	
<input type="checkbox"/>	Restschuld: <input type="text" value="0,00"/> Euro	<input type="radio"/> Restschuld berechnen
<input type="checkbox"/>	Auszahlungsmonat: nicht angegeben	
<input type="checkbox"/>	Rechengenauigkeit: intern maximal	

Datenschutzhinweis: Mit Klick auf *Berechnen* werden Ihre Eingabedaten über eine sichere HTTPS-Verbindung an unseren Server übermittelt und das Berechnungsergebnis zurück an Ihren Webbrowser gesendet. Die Daten werden dabei nicht gespeichert.

Permanentlink erstellen zu dieser Berechnung

Ergebnis	
Die erforderliche regelmäßige Rate beträgt:	510,27 Euro (jährlich)
Zinsen und Gebühren gesamt:	2.205,46 Euro
Gesamtaufwand:	10.205,46 Euro
Effektiver Jahreszinssatz:	2,440 % p.a. (interner Zinssatz, IRR)

Investitionsrechnung ab 30 Jahren

Randbedingungen/Informationen

- Entstehende Kosten werden aus Eigenmitteln finanziert
→ Gedankengang, dass nach 30 Jahren wieder genug Eigenkapital zur Verfügung steht um die neuen Anschaffungen kreditlos zu tätigen
- Anschaffungskosten für neue Gasheizung, und laufende Kosten (Gas, Wartung) bleiben unverändert

Szenario 3

Konventionelles Haus mit Gasheizung ab 30 Jahren

Konventioneller Neubau mit Gasheizung	
Position	Jährliche Kosten
Neue Gasheizung Betrag: 8.000,00€ Laufzeit: 20 Jahre	400,00 €
Gaskosten	1.888,00 €
Wartung	130,00 €
	2.418,00 €

Eingabe:

Projektverwaltung

laden löschen Beispiel Weiter

© Markus Lichtmaß, EnerCalc Version: 7.0.251

Lernmodul: Energiebilanzen in Anlehnung an DIN V 18599 mit vereinfachter Aufnahme der Gebäudehüllflächen

Leistungsdaten

Heizen	3 kW	Heizen	0 kWh/(m²a)	Total Cp	-6.2 kWh/(m²a)
Kühlen	0 kW	Kühlen	0 kWh/(m²a)	Beleuchten	8.1 kWh/(m²a)
Beleuchten	0 kW	Beleuchten	4.5 kWh/(m²a)	Lüften	37 kWh/(m²a)
		Warmwasser	25 kWh/(m²a)	RES Strom	-80.9 kWh/(m²a)

5 Ergebnisse

Allgemeinstrom 0 kWh/(m²a)

1 Eingabe der Gebäudehüllfläche

Area

spez. Gebäudehüllfläche	2,28	m²_hüll/m²_FB	13 W/m²
spez. Fensterfläche	0,24	m²_Fc/m²_FB	0 W/m²
Kompaktheit A/V _e	0,74	m ⁻¹	2 W/m²

2 Vereinfachte Eingabe über Fassadenlängen

Bezeichnung: Solarcity | Architekt: CreatiVision | Bearbeitungsnummer: LU 000013

Erfassung der Gebäudehüllfläche

Gewähltes Hüllflächen-Eingabeverfahren

Vereinfachte Eingabe über Fassadenlängen

	Süd	West	Nord	Ost	Horizontal
Fassadenlänge im Erdreich	10,0	10,0	10,0	10,0	-
Fassadenlänge über Erdreich	75%	10%	0%	10%	0%
Anteil der Fensterfläche über Erdreich	-	-	-	-	0%
Dachtyp	Flachdach				
Brutto-Netto-Flächenverhältnis	0,80				
Beheizte Geschosse im Erdreich	Anteil an GF				
Beheizte Geschosse über Erdreich	Anteil an GF				
	2		100%		0,00 m
					Geschosshöhe
					2,45 m

3 Zusammenstellung der Gebäudehülle

	Summe	Süd	West	Nord	Ost	Horizontal
Fassaden (Außen + unbeh./Erdr.)	196 m²	49	49	49	49	-
Fassaden (Außen)	196 m²	49	49	49	49	-
Fensterflächenanteil	24%	75%	10%	0%	10%	0%
Fenster	47 m²	37	5	0	5	0
Wand	149 m²	12	44	49	44	-
Wand (gegen unbeheizt/Erdr.)	0 m²	0	0	0	0	-
Boden (gegen unbeheizt/Erdr.)	119 m²	-	-	-	-	119
Dach	119 m²	-	-	-	-	119
Summe Gebäudehüllflächen A	435 m²	49	49	49	49	239
Beheiztes Gebäudevolumen V _e	585 m³					
Gebäudekompaktheit A/V _e	0,74 1/m					

4 Aufteilung des Primärenergiebedarfs

Legende:

- Kühlen
- Heizen
- Warmwasser
- Beleuchten
- Lüften

Aufteilung des Primärenergiebedarfs

Aufteilung der Energiebezugsfläche

Legende:

- 34 Wohnen EFH
- 14 Küche
- 16 WC, Sanitär

Aufteilung des Energiebedarfs*

Horizontal: 0%

5 Fensterorientierungsprofil

Horizontal: 0%

*Die Aufteilung des Energiebedarfs auf die Zonen entspricht den summierten Nutzenergiebedarfen für Heizen, Beleuchten, Kühlen und dem Endenergiebedarf für Lüften (Strombedarf für Luftförderung).

Lernmodul: Energiebilanzen in Anlehnung an DIN V 18599 mit vereinfachter Aufnahme der Gebäudehüllflächen

© Markus Lichtmaß, EnerColic Version: 7.0.251

Projektverwaltung		Gebäudekennwerte		Leistungsdaten		Aspe.		Total Qp	
laden	speichern	spezi. Gebäudevolumen	2,28 m ³	Heizen	3 kW	13 W/m ²	0 kWh/(m ² a)	0 kWh/(m ² a)	-6,2 kWh/(m ² a)
löschen	Beispiel	spez. Fensterfläche	0,24 m ² /m ² EF	Kühlen	0 kW	0 W/m ²	0 kWh/(m ² a)	0 kWh/(m ² a)	8,1 kWh/(m ² a)
	Wetter	Kompaktheit A/Ve	0,74 m ⁻¹	Beleuchten	0 kW	2 W/m ²	4,5 kWh/(m ² a)	37 kWh/(m ² a)	37 kWh/(m ² a)
							25 kWh/(m ² a)	RES Strom	-80,9 kWh/(m ² a)

2 Eingabe gebäudebezogener Parameter

International gewählt

Allgemeine Gebäudedaten

Standort/Wetterdaten: Europe | Germany | Region 12-Mannheim | 1.088 kWh/(m²a) | Rechenwert: 130

Bauschwere c_wirk: schwer

Luftdichtheit n₅₀: 1/h

Wärmebrücken ΔU_WB: Passivhausstandard

Nutzerverhalten für die Fensterlüftung: 0,00 1/h kein Nutzereinfluss (keine zusätzliche Fensterlüftung)

Allgemeinstrom: ohne Allgemeinstrombedarf (normal) | 0,0

U-Werte und Gebäudedaten

	West	Nord	Ost	Horizontal
Verglasungsart, Ug	U=0,5 g=0,5	U=0,5 g=0,5	U=0,5 g=0,5	U=0,5 g=0,5
Energiedurchlassgrad, g_L	0,50	0,50	0,50	0,50
U-Wert Rahmen, Uf (Anteil=25%)	0,65	0,65	0,65	0,65
Rahmenverbundwert, uv	0,029	0,029	0,029	0,029
U-Wert Fenster, Uw	0,625	0,625	0,625	0,625
U-Wert Außenwände	0,077	typische Dämmstoffdicke: 44 cm	0,070	0,070
U-Wert Dach (Fx=1)	0,082	typische Dämmstoffdicke: 42 cm	0,625	0,625
U-Wert Boden (Fx=0,6)	0,100	typische Dämmstoffdicke: 38 cm	0,625	0,625

Verschattung und Sonnenschutz

Glasdoppelfassade: 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00

Verschattung Überhang: 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00

Verschattung Seitenblende: 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00

Sonnenschutz: A_R3/4, weiß | A_R3/4, weiß | A_R, weiß | 0,14 | 0,14 | 0,02

Gesamtenenergiedurchlassgrad, g_tot: 0,14

Steuerung Sonnenschutz: strahlungsabh. | automatisch

Berücksichtigung Blendschutz: Sonnenschutz und Blendschutz getrennt ausgeführt

Ausführung Sonnen- und Blendschutz: -

Angaben zu Lüftungsanlagen

	Zuluft	Abluft
Effizienzstandard (Druckverluste, Wirkungsgrade)	630 Pa	447 Pa
Wärmerückgewinnungsgrad der Anlage/h	n_Zuluft: 0,63	n_Abluft: 0,63
Strombedarf	SFP_Zuluft: 1,00 kW/(m ³ /s)	SFP_Abluft: 0,71 kW/(m ³ /s)
Primärenergiebedarf	SFP_tot_1: 1,71 kW/(m ³ /s) 0,48 kWh/(m ³ h) ΔT_Zuluft: 0,83 K	

Energiebedarf Original- und Referenzgebäude

Original: 227,2 kWh/(m²a)
 Referenz: 6,2 kWh/(m²a)

Legende: ■ Lüften, qv zu qv' -32 %
 □ Beleuchten, q_l zu q_l' -20 %
 ■ Warmwasser, q_ww zu q_ww' 0 %
 ■ Heizen, q_h zu q_h' -94 %
 ■ Kühlen, -

Op zu Qp' -102,7 %
 Beim Referenzkennwert Kühlen q_c' wird nach deutscher EnEV für bestimmte Nutzungen nur 50% des Rechenwertes zum Ansatz gebracht.

Aufteilung der Nutzenergiebedarfe je Zone*

Legende: ■ 34 Wohnen EFH
 ■ 14 Küche
 ■ 16 WC, Sanitär
 ■ ...
 ■ ...
 ■ ...
 ■ ...
 ■ ...
 ■ ...
 ■ ...

*Der Energiebedarf Lüftung entspricht dem Endenergiebedarf Strom für den Lufttransport

© Markus Lichtmaß, EnerCalc Version: 7.0.251

Lernmodul: Energiebilanzen in Anlehnung an DIN V 18599 mit vereinfachter Aufnahme der Gebäudehüllflächen

Projektverwaltung
laden, speichern, löschen, Beispiel, Weiter

3 Eingabe zonenbezogener Parameter

	Gebäudekennwerte											
	Leistungsdaten		A _g		Allgemeinstrom		Total Q _p		Beleuchten		Lüften	RES Strom
	3 kW	13 W/m ²	3 kWh/(m ² a)	0 kWh/(m ² a)	8,1 kWh/(m ² a)	0 kWh/(m ² a)	0 kWh/(m ² a)	4,5 kWh/(m ² a)	25 kWh/(m ² a)	37 kWh/(m ² a)	-90,9 kWh/(m ² a)	-6,2 kWh/(m ² a)
	0 kW	0 W/m ²	0 kWh/(m ² a)	0 kWh/(m ² a)	4,5 kWh/(m ² a)	0 kWh/(m ² a)	0 kWh/(m ² a)	4,5 kWh/(m ² a)	25 kWh/(m ² a)	37 kWh/(m ² a)	-90,9 kWh/(m ² a)	-6,2 kWh/(m ² a)
	0 kW	2 W/m ²	0 kWh/(m ² a)	0 kWh/(m ² a)	4,5 kWh/(m ² a)	0 kWh/(m ² a)	0 kWh/(m ² a)	4,5 kWh/(m ² a)	25 kWh/(m ² a)	37 kWh/(m ² a)	-90,9 kWh/(m ² a)	-6,2 kWh/(m ² a)

3 Eingabe zonenbezogener Parameter

Erweiterte Hüllflächenzuweisung für Zonen aktivieren, sinnvoll für (teil)klimatisierte Gebäude

Allgemeine Zonen	Leistungsdaten										
	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8	Zone 9	Zone 10	Zone 11
Nutzungsprofil	34 Wohnen EFH	14 Küche	16 WC, Sanitär	---	---	---	---	---	---	---	---
Nettogrundfläche der Zone, A _n [m ²]	158	15	18	---	---	---	---	---	---	---	---
Zonenhöhe (lichte Raumlänge), h _Z [m]	2,10	2,10	2,10	---	---	---	---	---	---	---	---
Bereich beheizt (zu EBF gehörend)	ja	ja	ja	---	---	---	---	---	---	---	---
Bereich gekühlt	nein	nein	nein	---	---	---	---	---	---	---	---
Nachlüftung	ja Fenster	nein	nein	---	---	---	---	---	---	---	---

Daten für Beleuchtung

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8	Zone 9	Zone 10	Zone 11
Ø Fenstersturz (ab UK Decke), h _{St} [m]	0,15	0,15	0,15	---	---	---	---	---	---	---	---
Ø Fensterhöhe, h _F [m]	1,80	1,80	1,80	---	---	---	---	---	---	---	---
berechnete Brüstungshöhe, h _{Br} [m]	0,15	0,15	0,15	---	---	---	---	---	---	---	---
Beleuchtungsart	direktindirekt	direktindirekt	direktindirekt	---	---	---	---	---	---	---	---
Lampenart	LED-Leuchten	LED-Leuchten	LED-Leuchten	---	---	---	---	---	---	---	---
Präsenzerfassung	ohne Präsenz	ohne Präsenz	ohne Präsenz	---	---	---	---	---	---	---	---
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell	manuell	---	---	---	---	---	---	---	---
Konstantlichtregelung	nein	nein	nein	---	---	---	---	---	---	---	---
Nutz-/Endenergie Beleuchten	0,0	48,3	7,8	---	---	---	---	---	---	---	---

Lüftung der Zone

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8	Zone 9	Zone 10	Zone 11
Art der Lüftung	RLT(-)Heiz(-)Kühl	RLT(-)Heiz(-)Kühl	RLT(-)Heiz(-)Kühl	---	---	---	---	---	---	---	---
Lüftungssteuerung	Präsenz	Präsenz	Präsenz	---	---	---	---	---	---	---	---
Lüftvolumenstrom	151	1.350	270	---	---	---	---	---	---	---	---
	1,771 m ³ /h			---	---	---	---	---	---	---	---

Lernmodul: Energiebilanzen in Anlehnung an DIN V 18599 mit vereinfachter Aufnahme der Gebäudehüllflächen © Markus Lichtmeß, EnerCoIC Version: 7.0.251

Projektverwaltung laden soechem üschen Basisziel Wetter

Gebäudekennwerte		Leistungsdaten		A _{ext}	
spez. Gebäudevolumen	2,28 m ³ /m ²	Heizen	3 kW	13 W/m ²	0 W/m ²
spez. Fensterfläche	0,24 m ² /m ²	Kühlen	0 kW	0 W/m ²	0 W/m ²
Kompaktheit A/Ve	0,74 m ⁻¹	Beleuchten	0 kW	2 W/m ²	2 W/m ²

4 Angaben zur Anlagentechnik (vereinfacht)

5 Monatliche Ergebnisse unter Berücksichtigung der Anlagentechnik

Aufteilung thermischer Energiebedarf*

Strombilanz PV | KWK | WEA

Thermische Solaranlage (9,9m²)

Originalgebäude

	e _{Verneil/Übergabe}	e _{Anlage (h.o)}	U _{Primärenergie}
Kälte	0,00	0,00	0,00
Kälteerzeuger	Wassergekühlt, Verdichter, effizient		
Überwiegendes Übergabesystem	Kaltwasser 14/18°C - Ventilatorkonvektoren		
Effizienzstandard der Verteilung	effizient		
Heizwärme	1,64	0,45	1,80
Angaben betreffend KWK, DA: 0%	keine KWK	erneuerbarer Brennstoff	
Wärmeerzeuger	Erdreichwärmepumpe		
Geothermische Kühlung (100m)	mit geothermischer Kühlung		
Überwiegendes Übergabesystem	Wandheizung 30/25°C		
Raumtemperaturregelung	PI-Regler mit Optimierungsfunktion		
Trinkwarmwasser	1,13	1,00	1,80
Nutzungsart nach DIN 18599-10	Wohnen EFH		
Bezugsgröße	Nutzung	1,6 kWh/(Person und Tag)	
Quantifizierung Bezugsgröße	4	Anzahl Personen	
Art der Trinkwarmwasserbereitung	dezentral		

Thermische Solaranlage
 Kollektorfläche, Ac = 9,9 m²
 Art der Solaranlage: Trinkwarmwasser und/oder Heizen/Kühlen
 Kollektortyp, Orientierung, Neigung: Flachkollektor Südost Neigung, 35°

Angaben zu Photovoltaikanlagen

Photovoltaikanlage zur Deckung des Eigenstrombedarfs

	Leistung der PV-Anlage	Neigung, 35°	kW _p
Orientierung und Neigung der Anlage	Süd	917	8,6
Spezifischer Jahresertrag der PV-Anlage	46		kWh/kW _p
Modulfäche der Anlage (1,68 x 0,98m 315 W)	7.921		m ²
Strombedarf des Gesamtgebäudes	7.921		kWh/a
Ertrag der PV-Anlage	3.234		kWh/a
Anrechenbarer Energieertrag (aus Monatsauswertung)	4.687		kWh/a
Nicht anrechenbarer Energieertrag			
Deckungsanteil am Gebäudestrombedarf			40,8%

Projektverwaltung		Gebäudekennwerte		Leistungsdaten		A _{eff}	
spezi. Gebäudevolumen	2,28 m³	spezi. Gebäudevolumen	2,28 m³	Heizen	3 kW	Kühlen	13 W/m²
spezi. Fensterfläche	0,24 m²	spezi. Fensterfläche	0,24 m²	Kühlen	0 kW	Beleuchten	0 W/m²
Kompaktheit A/Ve	0,74 m ⁻¹	Kompaktheit A/Ve	0,74 m ⁻¹	Beleuchten	0 kW	Wärmewasser	25 kWh/(m²a)
laden	speichern	löschen	Beispiel	Wetter		RES Strom	-80,9 kWh/(m²a)

Allgemeinstrom		Total Qp	
0 kWh/(m²a)	0 kWh/(m²a)	-6,2 kWh/(m²a)	-6,2 kWh/(m²a)
0 kWh/(m²a)	0 kWh/(m²a)	8,1 kWh/(m²a)	8,1 kWh/(m²a)
4,5 kWh/(m²a)	4,5 kWh/(m²a)	37 kWh/(m²a)	37 kWh/(m²a)
25 kWh/(m²a)	25 kWh/(m²a)	-80,9 kWh/(m²a)	-80,9 kWh/(m²a)

Angaben zu Windenergieanlagen (WEA)

Windenergieanlagen (WEA) zur Deckung des Eigenstrombedarfs	
Leistung der WEA	0,0 kW _p
Nabenhöhe h _z	10,0 m
Rotorfläche (geschätzt)	0,0 m²
Einschalt-Windgeschwindigkeit	4,0 m/s
Ausschalt-Windgeschwindigkeit	16,0 m/s
Ertrag der Windenergieanlage (WEA)	0 kWh/a
Anrechenbarer Energieertrag (aus Monatsauswertung)	0 kWh/a
Nicht anrechenbarer Energieertrag	0 kWh/a
Deckungsanteil am Gebäudestrombedarf	0,0%

Angaben zu KWK-Anlagen

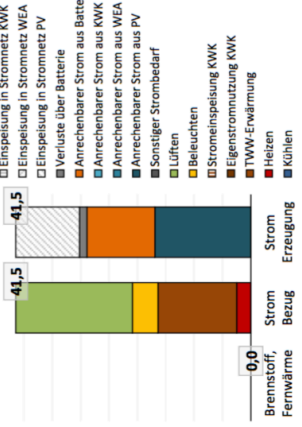
KWK-Anlage zur Deckung des Wärme- und Eigenstrombedarfs	
Thermische Leistung	0,0 kW
Elektrische Leistung	0,0 kW
Endergiebedarf	0 kWh/a
Erzeugungsverluste	0 kWh/a
Erzeugte thermische Energie	0 kWh/a
Erzeugte elektrische Energie	0 kWh/a
Anrechenbarer Energieertrag (aus Monatsauswertung)	0 kWh/a
Nicht anrechenbarer Energieertrag	0 kWh/a
Deckungsanteil am Gebäudestrombedarf	0,0%

Angaben zum Stromspeicher

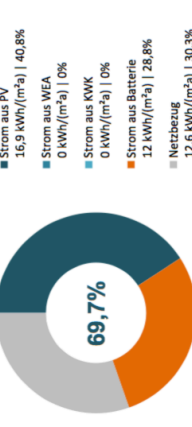
Batteriespeicher zur Erhöhung der Eigenstromnutzung	
Speicherkapazität Batterie	9,0 kWh
Anrechenbarer Energieertrag (aus Monatsauswertung)	2,284 kWh/a
Verluste infolge Speicherung	254 kWh/a
Deckungsanteil am Gebäudestrombedarf	28,8%

Die Nutzenergiebedarfe werden ohne den Einfluss unregelmäßiger Erträge durch die Anlagentechnik (Erträge über Verteil-, Steige- und Abniederleitungen) ausgeben und dienen der energetischen Bewertung des Gebäudeentwurfs, ohne den Einfluss der Anlagentechnik. Sie entsprechen dem Bilanzergebnis vor der 1. Iteration. Die Wärmeabgabe von Beleuchtung, Personen und Arbeitsflächen wird in den thermischen Bilanzen nach den Rechenregeln der DIN V 18599 berücksichtigt. Die vom Erzeuger bereitgestellte Nutzenergie wird bei der Bestimmung des Primärenergiebedarfs in einem vereinfachten Rechenmodell berücksichtigt. Für das Referenzgebäude werden die Randbedingungen nach EnEV verwendet, sofern diese in den Rechenbilanzen dieses Excel-Tools berücksichtigt werden. Die mit diesem Excel-Tool berechneten Energiebedarfe dürfen nicht für den öffentlich-rechtlichen Nachweis verwendet werden.

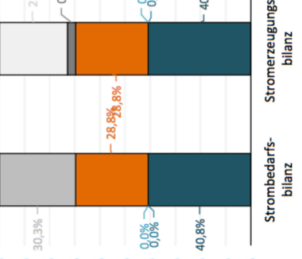
Endenergiebilanz



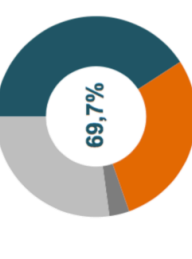
Autarkie



Strombilanz PV | KWK | WEA



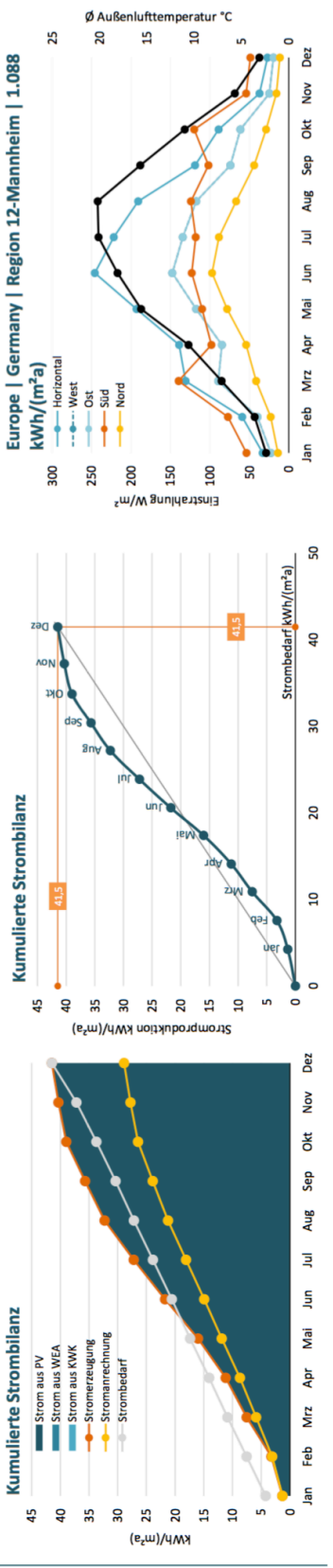
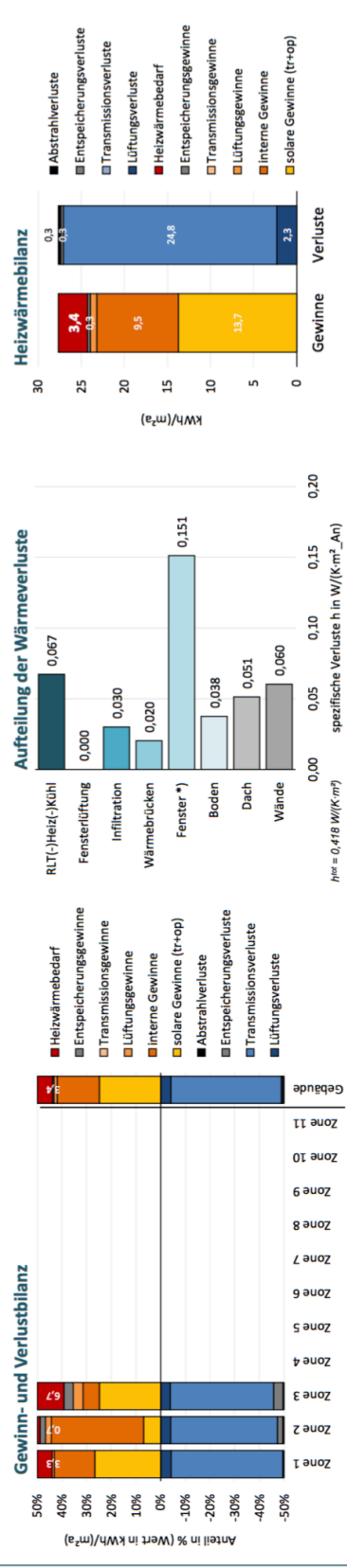
Eigenverbrauch



Die Nutzenergiebedarfe werden ohne den Einfluss unregelmäßiger Erträge durch die Anlagentechnik (Erträge über Verteil-, Steige- und Abniederleitungen) ausgeben und dienen der energetischen Bewertung des Gebäudeentwurfs, ohne den Einfluss der Anlagentechnik. Sie entsprechen dem Bilanzergebnis vor der 1. Iteration. Die Wärmeabgabe von Beleuchtung, Personen und Arbeitsflächen wird in den thermischen Bilanzen nach den Rechenregeln der DIN V 18599 berücksichtigt. Die vom Erzeuger bereitgestellte Nutzenergie wird bei der Bestimmung des Primärenergiebedarfs in einem vereinfachten Rechenmodell berücksichtigt. Für das Referenzgebäude werden die Randbedingungen nach EnEV verwendet, sofern diese in den Rechenbilanzen dieses Excel-Tools berücksichtigt werden. Die mit diesem Excel-Tool berechneten Energiebedarfe dürfen nicht für den öffentlich-rechtlichen Nachweis verwendet werden.

Projektverwaltung		Gebäudekennwerte		Leistungsdaten		A _{g,EP}	
laden	speichern	2,28	m^2_{min}/m^2_{EP}	3 kW	Heizen	13 W/m ²	
löschen	Beispiel	0,24	m^2_{FE}/m^2_{EP}	0 kW	Kühlen	0 W/m ²	
weiter		0,74	m^{-1}	0 kW	Beleuchten	2 W/m ²	

6 Weitere grafische Auswertungen



Anforderungen:

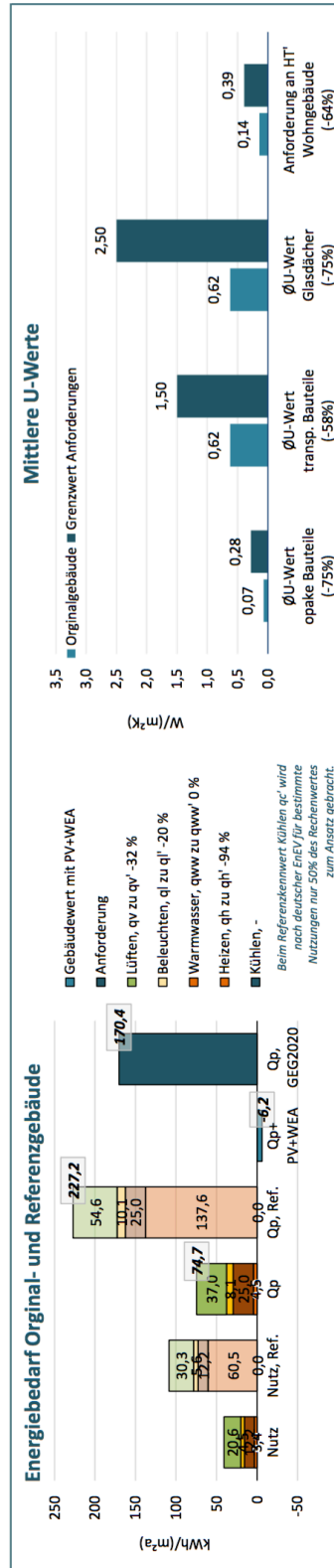
Nach GEG erfolgt die Anrechnung von erneuerbar erzeugtem Strom über eine virtuelle Primärenergieanrechnung, die in dieser Bilanz nicht berücksichtigt ist. Der Einfluss ist nebenstehen dargestellt.

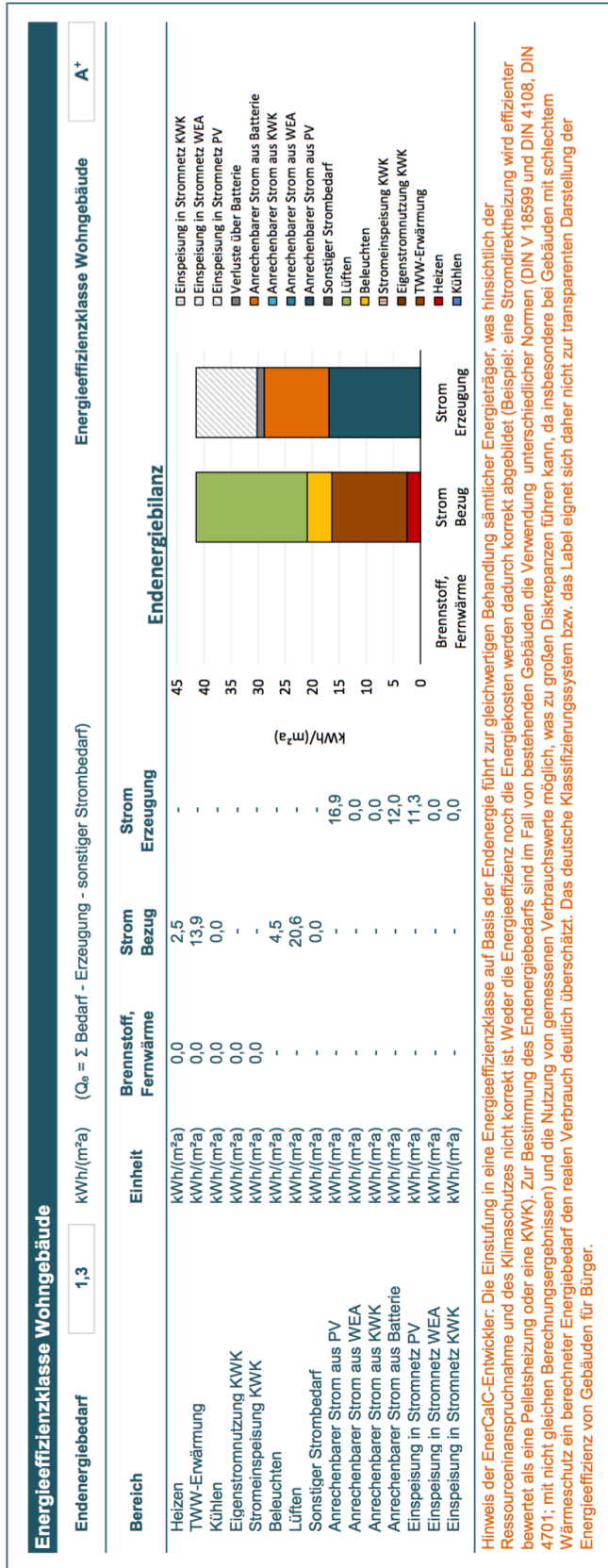
Anforderungen an die Gesamteffizienz und an die Umweltauswirkungen

Bereich	GEB Strom	Referenz	Faktor	RES Strom	Anforderung	GEB Strom	Ist-Wert	RES Strom	Ist-Wert	Erfüllung									
Primärenergiebedarf	kWh/(m²a)	-	+	227,2	x	0,75	-	0,0	=	170,4	↔	+	74,7	-	80,9	=	-6,2	☺	-4%

Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz

Bereich	Referenz	Faktor	Anforderung	Ist-Wert	Erfüllung	
U-Wert opake Bauteile	W/(m²K)	DE	↔	0,28	☺	25%
U-Wert transparente Bauteile	W/(m²K)	DE	↔	1,50	☺	42%
U-Wert Dachfenster	W/(m²K)	DE	↔	2,50	☺	25%
Mittlerer Wärmetransferkoeffizient	W/(m²K)	DE	x	0,39	☺	36%





Gesamtbilanz:

1 - Klimadaten		Jan	Feb	Mrz	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Mittlere Außenlufttemperatur	°C	2,4	3,6	7,1	10,6	15,6	18,1	20,1	20,2	15,7	11,0	5,7	3,1	11,1
Globalstrahlung	W/m²	33	59	131	139	193	246	222	191	119	89	37	27	124
Tage im Monat	d/M	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365

2 - Nutzenergiebilanz		Jan	Feb	Mrz	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Heizen	kWh/(m²M,a)	1,9	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	2,0	5,6
Trinkwarmwassererwärmung	kWh/(m²M,a)	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	13,9
Kühlen	kWh/(m²M,a)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Beleuchten	kWh/(m²M,a)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	4,5
Lüften	kWh/(m²M,a)	1,7	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	20,6

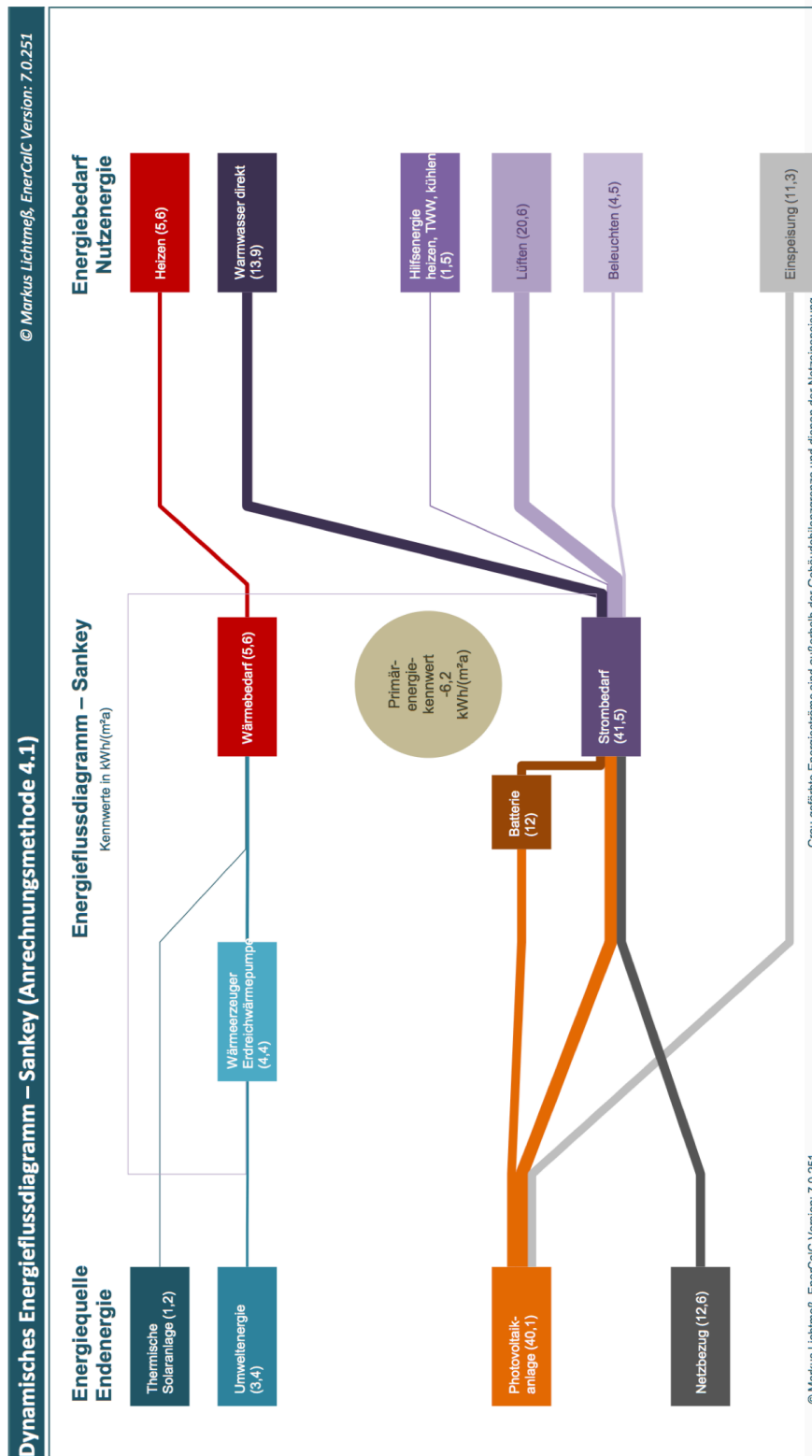
2.1 - Aufteilung therm. Anforderung		Jan	Feb	Mrz	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Wärmeerzeuger 1 (Solar), DA:20,9%	kWh/(m²M,a)	0,1	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	1,2
Wärmeerzeuger 2 (KWK), DA:0%	kWh/(m²M,a)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Wärmeerzeuger 3 (Wärmepumpe) DA:79,1%	kWh/(m²M,a)	1,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,9	4,4
Dezentrale Warmwassererwärmung	kWh/(m²M,a)	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	13,9
Kältemaschine	kWh/(m²M,a)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nutzenergie über Brennstoff / Fernwärme	kWh/(m²M,a)	0,1	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	1,2
Heizen	kWh/(m²M,a)	0,1	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	1,2
Trinkwarmwassererwärmung	kWh/(m²M,a)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kühlen	kWh/(m²M,a)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nutzenergie über Strom	kWh/(m²M,a)	5,1	3,3	3,3	3,2	3,3	3,2	3,3	3,2	3,2	3,3	3,6	5,2	43,4
Heizen	kWh/(m²M,a)	1,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,9	4,4
Trinkwarmwassererwärmung	kWh/(m²M,a)	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	13,9
Kühlen	kWh/(m²M,a)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Beleuchten	kWh/(m²M,a)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	4,5
Lüften	kWh/(m²M,a)	1,7	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	20,6
Stromerzeugung (on-site)	kWh/(m²M,a)	1,3	1,9	4,3	3,6	4,8	5,7	5,5	5,1	3,4	3,3	1,3	1,1	41,5
Strom aus PV	kWh/(m²M,a)	1,3	1,9	4,3	3,6	4,8	5,7	5,5	5,1	3,4	3,3	1,3	1,1	41,5
Strom aus WEA	kWh/(m²M,a)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Strom aus KWK	kWh/(m²M,a)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

3 - Endenergiebilanz													
	Jan	Feb	März	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Brennstoff / Fernwärme													
Wärmeerzeuger 1 (Solar)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Wärmeerzeuger 2 (KWK)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Wärmeerzeuger 3 (Wärmepumpe)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Strom													
Strombedarf	4,2	3,3	3,3	3,2	3,3	3,2	3,3	3,3	3,2	3,3	3,5	4,3	41,5
davon Heizen	0,9	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,9	2,5
davon Trinkwarmwasser	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	13,9
davon Kühlen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
davon Beleuchten	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	4,5
davon Lüften	1,7	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	20,6
davon sonstiger Strombedarf	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stromproduktion	1,3	1,9	4,3	3,6	4,8	5,7	5,5	5,1	3,4	3,3	1,3	1,1	41,5
Strom aus PV	1,3	1,9	4,3	3,6	4,8	5,7	5,5	5,1	3,4	3,3	1,3	1,1	41,5
Strom aus WEA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Strom aus KWK	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stromanrechnung	1,3	1,8	2,8	2,8	3,2	3,1	3,2	3,1	2,7	2,6	1,3	1,1	28,9
Anrechenbarer Strom aus PV	0,9	1,0	1,5	1,5	1,8	2,0	2,0	1,8	1,4	1,3	0,8	0,8	16,9
Anrechenbarer Strom aus WEA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Anrechenbarer Strom aus KWK	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Anrechenbarer Strom aus Batterie	0,3	0,8	1,3	1,3	1,3	1,1	1,2	1,3	1,3	1,3	0,5	0,3	12,0
Einspeisung in Stromnetz	0,0	0,0	1,4	0,7	1,5	2,5	2,2	1,8	0,6	0,6	0,0	0,0	11,3
Stromautakieggrad des Gebäudes	30,3%	54,6%	84,2%	88,0%	95,6%	96,2%	96,0%	94,3%	83,6%	77,3%	37,1%	26,2%	69,7%
Netzbezug	2,9	1,5	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5	0,8	2,2	3,1	12,6

4 - Primärenergiebedarf / -produktion													
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Brennstoff / Fernwärme													
Primärenergiebedarf Wärme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
davon Heizen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
davon Trinkwarmwasser	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
davon Kühlen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Strom													
Primärenergiebedarf Strom	7,6	6,0	6,0	5,8	5,9	5,7	5,9	5,9	5,8	6,0	6,3	7,7	74,7
davon Heizen	1,6	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,7	4,5
davon Trinkwarmwasser	2,1	1,9	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	25,0
davon Kühlen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
davon Beleuchten	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	8,1
davon Lüften	3,1	2,8	3,1	3,0	3,1	3,0	3,1	3,1	3,0	3,1	3,0	3,1	37,0
davon sonstiger Strombedarf	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Primärenergiegutschrift	-3,6	-5,1	-7,9	-7,9	-8,8	-8,6	-8,9	-8,7	-7,5	-7,2	-3,6	-3,1	-80,9
Primärenergiegutschrift Strom aus PV	-3,6	-5,1	-7,9	-7,9	-8,8	-8,6	-8,9	-8,7	-7,5	-7,2	-3,6	-3,1	-80,9
Primärenergiegutschrift Strom aus WEA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Primärenergiegutschrift Strom aus KWK	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4.1 - Primärenergiebilanz, Stromrechnung: PV & WEA & KWK < Strombedarf des Gebäudes													
Primärenergiebilanz	7,6	6,0	6,0	5,8	5,9	5,7	5,9	5,9	5,8	6,0	6,3	7,7	74,7
davon Heizen	1,6	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,7	4,5
davon Trinkwarmwasser	2,1	1,9	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	25,0
davon Kühlen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
davon Eigenstromnutzung KWK	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
davon Beleuchten	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	8,1
davon Lüften	3,1	2,8	3,1	3,0	3,1	3,0	3,1	3,1	3,0	3,1	3,0	3,1	37,0
davon sonstiger Strombedarf	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gutschrift PV+WEA+KWK	-3,6	-5,1	-7,9	-7,9	-8,8	-8,6	-8,9	-8,7	-7,5	-7,2	-3,6	-3,1	-80,9
nZEB -6	4,0	0,9	-1,9	-2,1	-2,9	-2,9	-2,9	-2,8	-1,7	-1,2	2,7	4,5	-6,2
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

5 - CO ₂ -Emissionsbilanz													
Brennstoff / Fernwärme	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mal	Jun	Jul	Aug	Sep	Oktober	Nov	Dez	Jahr
CO ₂ -Emissionen - Wärme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
davon Heizen	kgCO ₂ /(m ² M,a)												
davon Trinkwarmwasser	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
davon Kühlen	kgCO ₂ /(m ² M,a)												
Strom	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mal	Jun	Jul	Aug	Sep	Oktober	Nov	Dez	Jahr
CO ₂ -Emissionen - Strom	1,9	1,5	1,5	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,4	1,5	1,5	1,9	18,3
davon Heizen	kgCO ₂ /(m ² M,a)												
davon Trinkwarmwasser	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	1,1
davon Kühlen	kgCO ₂ /(m ² M,a)												
davon Beleuchten	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	6,1
davon sonstiger Strombedarf	kgCO ₂ /(m ² M,a)												
CO ₂ -Emissionsgutschrift	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	2,0
Emissionsgutschrift Strom aus PV	kgCO ₂ /(m ² M,a)												
Emissionsgutschrift Strom aus WEA	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	9,1
Emissionsgutschrift Strom aus KWK	kgCO ₂ /(m ² M,a)												
CO₂-Emissionsgutschrift	-0,9	-1,2	-1,9	-1,9	-2,2	-2,1	-2,2	-2,1	-1,8	-1,8	-0,9	-0,8	-19,8
Emissionsgutschrift Strom aus PV	kgCO ₂ /(m ² M,a)												
Emissionsgutschrift Strom aus WEA	-0,9	-1,2	-1,9	-1,9	-2,2	-2,1	-2,2	-2,1	-1,8	-1,8	-0,9	-0,8	-19,8
Emissionsgutschrift Strom aus KWK	kgCO ₂ /(m ² M,a)												
5.1 - CO₂-Emissionsbilanz, Stromrechnung: PV & WEA & KWK < Strombedarf des Gebäudes	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
CO ₂ -Emissionen	1,9	1,5	1,5	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,4	1,5	1,5	1,9	18,3
davon Heizen	kgCO ₂ /(m ² M,a)												
davon Trinkwarmwasser	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	1,1
davon Kühlen	kgCO ₂ /(m ² M,a)												
davon Eigenstromnutzung KWK	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	6,1
davon Beleuchten	kgCO ₂ /(m ² M,a)												
davon sonstiger Strombedarf	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gutschrift PV+WEA+KWK	kgCO ₂ /(m ² M,a)												
nZEB -2 (CO ₂ -Emissionen)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	2,0
davon sonstiger Strombedarf	kgCO ₂ /(m ² M,a)												
Gutschrift PV+WEA+KWK	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	9,1
nZEB -2 (CO ₂ -Emissionen)	kgCO ₂ /(m ² M,a)												
Gutschrift PV+WEA+KWK	-0,9	-1,2	-1,9	-1,9	-2,2	-2,1	-2,2	-2,1	-1,8	-1,8	-0,9	-0,8	-19,8
nZEB -2 (CO ₂ -Emissionen)	kgCO ₂ /(m ² M,a)												
nZEB -2 (CO₂-Emissionen)	1,0	0,2	-0,5	-0,5	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,4	-0,3	0,7	1,1	-1,5

Sankey:



© Markus Lichtmaß, EnerCalc Version: 7.0.251

© Markus Lichtmaß, EnerCalc Version: 7.0.251

© Markus Lichtmaß, EnerCalc Version: 7.0.251