Anlage 11

UMWELT
ENERGIE
BILDUNG

ECONSULT

ENVIRONMENT
ENERGY
EDUCATION

Vorstudie zur Festlegung der Randbedingungen für das Erreichen des Plusenergiestandards im Neubaugebiet „Belist“

Auftraggeber: Stadt Lörrach
Fachbereich Stadtplanung/Baurecht
Luisenstraße 16
79539 Lörrach

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Architekt Uli Jungmann
M. Sc. Tobias Blau

Datum: 3. Jun 2015

ECONSULT
Lambrecht Jungmann
Partnerschaft
Physiker und Ingenieur
Büro Stuttgart:
Silberburgstraße 129 A
D-70176 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711 699 479 22
Fax: +49 (0)711 699 479 29
Mail: info@solaroffice.de
Web: www.solaroffice.de
Sitz:
Buchenweg 12
D-72108 Rottenburg
Ust-IdNr.: DE253256886
Registergericht Stuttgart
PR 720052

Hinweise

Diese Studie wurde nach bestem Wissen auf Grundlage der verfügbaren Daten und aktuellen gesetzlichen und normativen Vorgaben erstellt. Zukünftige Weiterentwicklungen können eine Neubetrachtung der Zusammenhänge erforderlich machen. Irrtümer sind vorbehalten.

Die dargestellten Ergebnisse sind Simulationsresultate, die nur unter den angegebenen Randbedingungen Gültigkeit haben. Der tatsächliche Energieverbrauch und das thermische Gebäudeverhalten können von den Berechnungsergebnissen abweichen. Insbesondere können unter anderen Witterungsbedingungen, die von den in der Simulation benutzten Klimadaten abweichen, und unter anderen Nutzungsbedingungen als den in der Simulation angenommenen weder der prognostizierte Energiebedarf noch der prognostizierte Energieertrag garantiert werden.

Die vorliegende Studie ist eine Betrachtung exemplarischer Einzelfälle und ersetzt keine Fachplanung. Die in der Simulation angesetzten Parameter wurden aus rein energetischen Gesichtspunkten gewählt und sind in der Fachplanung auf Realisierbarkeit und Wirtschaftlichkeit im Einzelfall zu prüfen. Die Durchführung und der Erfolg einzelner Maßnahmen bleiben in der Verantwortung des Gebäudeeigentümers.

Investitionskosten und Energiepreise basieren auf Mittelwerten für die untersuchten Maßnahmen und deren Ausführungsarten und sind grobe Annahmen. Bei besonderen Anforderungen im Einzelfall oder anderen Ausführungsarten können die tatsächlichen Kosten der Maßnahmen stark von den angenommenen Kosten abweichen. Energiepreise können sich regional oder im Laufe der Zeit verändern. Es kann daher keine Gewähr für die Wirtschaftlichkeit der dargestellten Maßnahmen im Einzelfall übernommen werden.

Die dargestellten Maßnahmen basieren auf dem heutigen Stand der Technik. Bei zukünftiger Durchführung sollten die Maßnahmen im Rahmen einer energetischen Fachplanung dem jeweils aktuellen Stand der Technik, dem aktuellen Kostenstand, den aktuellen Energiepreisen und aktuellen Förderprogrammen angepasst werden. Nur dann kann ein technisch und wirtschaftlich optimales Ergebnis erzielt werden.

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung....2
2 Methodik und Randbedingungen....4
2.1 Definition KfW-Effizienzhaus 40 Plus....4
2.2 Definition „Effizienzhaus Plus“....5
2.3 Entwicklung der Berechnungsvarianten....6
2.4 Berechnungsgrundlagen....8
2.5 Kosten und Wirtschaftlichkeit....10
3 Doppelhaushälfte A-03/04....12
3.1 Gebäudebeschreibung DHH A-03/04....12
3.2 Variantenbeschreibung DHH A-03/04....13
3.3 Ergebnisse DHH A-03/04....16
4 Mehrfamilienhaus H-02....18
4.1 Gebäudebeschreibung MFH H-02....18
4.2 Variantenbeschreibung MFH H-02....19
4.3 Ergebnisse MFH H-02....22
5 Mehrfamilienhaus D-02....24
5.1 Gebäudebeschreibung MFH D-02....24
5.2 Variantenbeschreibung MFH D-02....26
5.3 Ergebnisse MFH D-02....29
6 Zusammenfassung und Empfehlung....31
6.1 Definition „Lörracher-Primärenergie-Plus-Niveau“....32

Anhang A Berechnungsergebnisse Doppelhaushälfte A-03/04
Anhang B Berechnungsergebnisse Mehrfamilienhaus H-02
Anhang C Berechnungsergebnisse Mehrfamilienhaus D-02

1 Aufgabenstellung

Die Stadt Lörrach möchte das Baugebiet Belist zu einer Mustersiedlung mit der Zielrichtung Plusenergiestandard entwickeln. Als erster Schritt sollen in dieser Vorstudie für 3 maßgebende Baukörper/Gebäude die Randbedingungen für die erforderlichen Gebäudestandards und die möglichen Energieträger und Technologien zur Wärmeversorgung ermittelt werden. Die Baukörper wurden so gewählt, dass davon ausgegangen werden kann, dass die ermittelten Daten auf die übrigen Baukörper übertragbar sind.

Die steigenden Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden kann nicht einfach durch Skalierung der Wärmedämmung und effizientere Wärmeerzeuger erfüllt werden. Dazu bedarf es neuer, ganzheitlicher Gebäudekonzepte vom Entwurf über die Planung bis zur fachkundigen Umsetzung. Energiekonzepte für hocheffiziente Gebäude müssen individuell im städtebaulichen Kontext gestaltet werden. Werden die Weichen dazu frühzeitig richtig gestellt, lassen sich hohe Energiestandards auch wirtschaftlich umsetzten.

In der Vorstudie werden durch integrale Betrachtung der Gebäudehülle und der Anlagentechnik energieeffiziente und damit betriebskostenoptimierte Lösungen für einen Plusenergiestandard aufgezeigt. Schwerpunkte sind dabei die Reduktion des Energiebedarfs zur Beheizung des Gebäudes durch bauliche Maßnahmen sowie die Deckung des verbleibenden Energiebedarfs zur Beheizung, Warmwasserbereitung und Lüftung durch einen möglichst hohen Anteil regenerativer Energien. Der verbleibende Energiebedarf soll durch Stromproduktion am Standort kompensierbar sein.

Die Studie zeigt konkrete Wege zum Plusenergiestandard für typische Gebäude im Neubaugebiet Belist auf und bewertet diese hinsichtlich Investitionsmehrkosten, Energiekosteneinsparungen und möglicher Förderprogramme. Daraus werden Vorschläge für allgemeine Anforderungen an den Energiestandard und die Energieversorgung der Gebäude abgeleitet.

Untersucht wurden die 3 Gebäude:

A-03/04 Doppelhäuser, Orientierung nach Süden, 2 Vollgeschossen mit Satteldach

D-02 Mehrfamilienhaus, Orientierung nach Süden, 4 Vollgeschosse mit Staffelgeschoss

H-02 Mehrfamilienhaus, Orientierung nach Ost/West, 3 Vollgeschosse mit Flachdach

Die untersuchten Gebäude sind im folgenden Auszug aus dem städtebaulichen Entwurf (Stand: 12.12.2014) dargestellt.

Abbildung 1: untersuchte Gebäudetypen

2 Methodik und Randbedingungen

Für den Standard des Plusenergiehauses existiert noch keine einheitliche Definition im Rahmen öffentlich rechtlicher Anforderungen oder Förderprogramme. Der Ende April 2015 veröffentlichte Förderstandard der KfW „Effizienzhaus 40 Plus" führt nicht zwingend zu einem Plusenergie-Standard im Sinne einer vollständigen Kompensation des Energiebedarfs des Gebäudes. Daher wurde für die vorliegende Studie von der Definition des „Effizienzhaus Plus" – publiziert in der Broschüre „Wege zum Effizienzhaus Plus" des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – ausgegangen. Diese Definition fand auch bei den bisherigen Modellprojekten für das „Effizienzhaus Plus" Anwendung. Die dort beschriebenen Anforderungen und Berechnungsverfahren wurden weitgehend übernommen, um die Vorgaben für die Plusenergiehäuser möglichst kompatibel zu aktuellen und zukünftigen Förderprogrammen für hocheffiziente Gebäude zu gestalten.

2.1 Definition KfW-Effizienzhaus 40 Plus

Stand Ende April 2015 gelten für ein KfW-Effizienzhaus 40 Plus die folgenden Anforderungen:

- Transmissionsverluste max. 55 % des Referenzgebäudes,
- Primärenergiebedarf max. 40 % des Referenzgebäudes,
- Installation einer Strom erzeugenden Anlage auf Basis erneuerbarer Energien mit einem Stromertrag von mindestens 10 kWh/a je m² Gebäudenutzfläche A_N plus 500 kWh/a je Wohneinheit,
- Einbau eines stationären Batteriespeichersystems (Stromspeicher) mit einer Speicherkapazität von mindestens der doppelten Peakleistung der Strom erzeugenden Anlage,
- Einbau einer Zu-/Abluftanlage mit mindestens 80 % Wärmerückgewinnung,
- Eine Visualisierung von Stromerzeugung und Stromverbrauch über ein entsprechendes Benutzerinterface.

Für ein KfW-Effizienzhaus 40 Plus muss kein Nachweis eines negativen Primär- oder Endenergiebedarfs erbracht werden. Es wird lediglich eine Mindestgröße der Strom erzeugenden Anlage in Abhängigkeit der Gebäudegröße (Gebäudenutzfläche A_N) gefordert. Diese wird jedoch in der Regel nicht ausreichen, den Energiebedarf des Gebäudes und den Haushaltsstrom komplett zu decken oder zu kompensieren.

Für das KfW-Effizienzhaus 40 Plus muss jedes Gebäude den Dämmstandard eines Effizienzhaus 40 erreichen. Dies ist grundsätzlich möglich, kann für große kompakte Mehrfamilienhäuser jedoch sehr anspruchsvoll sein. Alle Gebäude müssen zudem zwingend mit

einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Stromspeichern ausgestattet werden.

2.2 Definition „Effizienzhaus Plus"

Für ein „Effizienzhaus Plus" muss sowohl ein negativer Jahres-Primärenergiebedarf als auch ein negativer Jahres-Endenergiebedarf erreicht werden. Der Nachweis wird nach $EnEV_{2014}$ unter Verwendung der DIN V 18599 geführt, ergänzt um ein Verfahren zur Bewertung des Haushaltsstromes. Für den Haushaltsstrombedarf werden 20 kWh Strom je m² Wohnfläche und Jahr angesetzt, maximal jedoch 2.500 kWh je Wohneinheit und Jahr. Die Verteilung des Haushaltsstroms auf die Monate erfolgt über die Anzahl Kalendertage.

Der monatliche Stromertrag aus erneuerbaren Energien wird entsprechend den Vorgaben aus § 5 EnEV nach DIN V 18599-9 ermittelt und vorrangig vom monatlichen Endenergiebedarf Strom des Gebäudes und vom monatlichen Haushaltsstrom abgezogen. Nur der übrige Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist und dabei mit einem Primärenergiefaktor 2,8 (Verdrängungsstrommix) gutgeschrieben. Bilanzgrenze ist die Grundstücksgrenze.

Als Nebenanforderung werden Haushaltsgeräte mit höchstem Effizienzlabel gefordert. Der Eigennutzungsgrad der erzeugten erneuerbaren Energien ist auf Basis einer Monatsbilanz in Anlehnung an die $EnEV_{2014}$ auszuweisen.

Konflikte des „Effizienzhaus Plus" im Neubaugebiet Belist

Die Forderung eines negativen Endenergiebedarfs begünstigt die Energieversorgung mit Wärmepumpen gegenüber einer Energieversorgung über Heizkessel oder Wärmenetze. Da bei Wärmepumpen der Energiebedarf durch den Einsatz von Umweltenergien (Luft, Wasser, Erdreich) auf ein Drittel und weniger reduziert wird, ist ein negativer Endenergiebedarf deutlich einfacher erreichbar. Zur Kompensation des Endenergiebedarfs aus Heizkesseln oder Wärmenetzen wird mindestens die dreifache Fotovoltaikfläche benötigt, auch wenn im Heizkessel oder Wärmenetz Biomasse und Kraft-Wärme-Kopplung zum Einsatz kommen. Insbesondere bei den großen Gebäuden würde dies den Plusenergiestandard unmöglich machen. Die benötigten Fotovoltaikflächen wären nicht zu realisieren. Von der Anforderung eines negativen Endenergiebedarfs wurde daher Abstand genommen.

Für das kommunale Ziel einer „Plusenergiesiedlung" ist die Bilanzgrenze Grundstück nicht zwingend erforderlich. Eine Öffnung der Bilanzgrenze auf das Baugebiet würde z. B. weitere Betreibermodelle für die Stromproduktion in Nachbarschaften oder Bürgergenossenschaften ermöglichen.

Ein Eigennutzungsgrad des produzierten Stroms in Anlehnung an den anrechenbaren Strom nach § 5 $EnEV_{2014}$ führt in der Regel zu unrealistisch hohen Eigennutzungsanteilen. Beim anrechenbaren Strom wird die Zeitgleichheit von Stromproduktion und Strombedarf im Tagesverlauf nicht berücksichtigt. So wird z. B. Strom aus Fotovoltaikanlagen auch auf nachts verbrauchten Strom angerechnet. Der Eigennutzungsgrad hat jedoch einen hohen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Stromproduktion. Daher wurde für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen die mögliche Eigennutzung in einer Stundensimulation ermittelt.

2.3 Entwicklung der Berechnungsvarianten

Ein Plusenergiehaus ist in der Regel durch verschiedene Kombinationen von Maßnahmen zur Reduktion des Wärme- und Energiebedarfs, der Versorgung mit regenerativen Energien und der Energieerzeugung am Standort zu erreichen. Um die für den Standort und die Bauaufgabe optimalen Maßnahmenpakete zu finden, wurden verschiedene mögliche Varianten nach Abstimmung mit dem Auftraggeber untersucht.

2.3.1 Mindestanforderung der $EnEV_{2014}$ ab 2016

Für die drei Gebäude wurde zunächst eine möglichst kostengünstige und marktgängige Kombination aus Wärmedämmung und technischer Gebäudeausrüstung gesucht, mit der die ab 2016 geltenden Anforderungen der $EnEV_{2014}$ gerade noch erfüllt werden. Beim Einsatz fossiler Energieträger (Öl, Gas) wären dazu massive Investitionen in Wärmedämmung, Lüftungs- oder Solartechnik erforderlich. Die Lösungen mit den geringsten Investitionskosten beruhen daher auf einer Energieversorgung auf Basis regenerativer Energien (Wärmepumpe, Biomasse) in Kombination mit dem Mindestdämmstandard der $EnEV_{2014}$. Durch eine Vergleichsbasis mit niedrigsten Investitionskosten werden somit die maximalen Mehrkosten der Plusenergievarianten dargestellt.

Die Variante mit den geringsten Investitionskosten muss jedoch nicht die wirtschaftlichste Lösung sein. Die Energiekosteneinsparungen durch eine verbesserte Wärmedämmung führen in der Regel bereits mittelfristig zu niedrigeren Gesamtkosten. Diese Minimalanforderung „$EnEV_{2016}$" dient als Vergleichsbasis für die Ermittlung der Mehrkosten der Plusenergiehäuser.

2.3.2 „Lörracher-3-Liter-Haus-Niveau"

Als zweite Vergleichsbasis wurde das „Lörracher-3-Liter-Haus-Niveau" aus den „Energiestandards beim Kauf städtischer Grundstücke" (Stand: Januar 2015) abgebildet. Hierbei werden Unterschreitungen der spezifischen Transmissionsverluste und des Primärenergiebedarfs bezogen auf die Anforderungen der $EnEV_{2009}$ gefordert. Die Anforderungen beziehen sich damit auf ein Berechnungsverfahren, das nicht mehr konform zu den hier angewandten Verfahren der $EnEV_{2014}$ ist. Wesentlichen Unterschiede sind:

- verschärfte Anforderungen an den spezifischen Transmissionswärmeverlust und den Primärenergiebedarf ab 2016,
- verändertes Außenklima für Nachweise nach EnEV,
- neue Fassung der DIN V 18599 für die Berechnung des Energiebedarfs
- reduzierter Primärenergiefaktor für elektrischen Strom ab 2016.

Die Vergleichsvarianten des „Lörracher-3-Liter-Haus-Niveaus“ wurden daher zunächst unter den Anforderungen der $EnEV_{2009}$ entwickelt und dann der Energiebedarf unter den ab 2016 geltenden Vorgaben der $EnEV_{2014}$ berechnet. Nur so kann eine Vergleichbarkeit mit den anderen Varianten hergestellt werden. Die in diesem Bericht ausgewiesenen Ergebnisse des „Lörracher-3-Liter-Haus-Niveaus“ sind dadurch allerdings nicht mehr vergleichbar mit den Anforderungen und Berechnungen der $EnEV_{2009}$.

Gegenüber den Varianten „$EnEV_{2016}$“ ist für das „Lörracher-3-Liter-Haus-Niveau“ eine leicht verbesserte Wärmedämmung der Gebäude erforderlich. Die Anforderungen an den Primärenergiebedarf werden durch die Energieversorgung der „$EnEV_{2016}$“-Varianten auf Basis von Biomasse bereits erfüllt. Bei Wärmepumpen und Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW) ist zusätzlich eine Fotovoltaikanlage zur Reduktion des Primärenergiebedarfs erforderlich.

2.3.3 Plusenergiehaus

Für die Varianten des Plusenergiestandards wurde zunächst die Wärmedämmung der Gebäude deutlich verbessert (nahe Passivhausstandard). Die kleinen Gebäude erfüllen damit die Anforderungen an ein KfW-Effizienzhaus 40 (Transmissionswärmeverluste 45 % unter Referenzgebäude). Bei größeren, kompakteren Gebäuden wäre dazu – aufgrund des höheren Fensterflächenanteils in der Gebäudehülle – eine weitere deutliche Verbesserung der Wärmedämmung erforderlich. Darauf wurde in der vorliegenden Betrachtung verzichtet. Die größeren Gebäude erfüllen daher nur die Anforderungen an ein KFW-Effizienzhaus 55. Für die Plusenergiestandards wurde zudem von einer detaillierten Berechnung der Wärmebrückenverluste ausgegangen. Diese wurden mit üblicherweise realisierbaren Werten abgeschätzt.

Die Plusenergiestandards wurden in verschiedenen Varianten mit unterschiedlicher Versorgungstechnik untersucht. Je nach Gebäude wurden Luft-Wasser-Wärmepumpen, Pelletheizungen und Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzt. Teilweise wurden auch weitere Optimierungsmöglichkeiten mit Solarthermie, Lüftungswärmerückgewinnung oder Kompaktgeräten (Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Wärmepumpe) berechnet. Eine Fotovoltaikanlage deckt einen Teil des benötigten Stroms. Die Überproduktion im Sommer wird in das Netz eingespeist und kompensiert den verbleibenden Primärenergiebedarf. Die dazu benötigte Fotovoltaikfläche wurde für jede Variante des Plusenergiestandards ermittelt.

2.4 Berechnungsgrundlagen

Der Energiebedarf der Varianten wurde entsprechend den Regeln des „Effizienzhaus Plus" berechnet. Die zur primärenergetischen Kompensation des Energiebedarfs benötigte Fotovoltaikfläche wurde mit den potenziell verfügbaren Flächen an den Gebäuden abgeglichen.

Die Berechnungen des „Effizienzhaus Plus" basieren auf den Verfahren der $EnEV_{2014}$. Der Energiebedarf zur Beheizung, Warmwasserbereitung und Lüftung der Gebäude wurde nach DIN V 18599 ermittelt, der Ertrag der Fotovoltaikanlagen nach DIN V 18599-9. Der nach § 5 $EnEV_{2014}$ anrechenbare Strom aus den Fotovoltaikanlagen wurde vom Strombedarf des Gebäudes und vom Haushaltsstrom abgezogen. Der Haushaltsstrombedarf wurde entsprechend den Vorgaben für das „Effizienzhaus Plus" ermittelt. Analog zu Anlage 1 Nr. 2.1.1 $EnEV_{2014}$ wurde der nach Abzug des Fotovoltaikertrags verbleibende Strombedarf mit dem Primärenergiefaktor 1,8 und der überschüssige Stromertrag mit dem Primärenergiefaktor 2,8 bewertet.

2.4.1 Fotovoltaikanlagen

Für die Anrechnung von Strom aus Fotovoltaikanlagen fordert die $EnEV_{2014}$, die monatlichen Stromerträge unter Verwendung der Standardwerte zur Ermittlung der Nennleistung nach DIN V 18599-9 Anhang B zu ermitteln. Dabei werden Leistungen bis zu 135 W_p/m^2 Modulfläche bei monokristallinen Modulen angesetzt. Reale Anlagen erreichen heute deutlich höhere Leistungen bis zu 160 W_p/m^2. Um auch Rahmenanteile und Randabstände zu berücksichtigen wurde in dieser Studie mit einer Leistung von 140 Wp/m² Bruttofläche gerechnet. Der Systemleistungsfaktor wurde mit 0,8 (schwach belüftete Module) angenommen. Bei optimierten Anlagen können Systemleistungsfaktoren bis 0,9 erreicht werden.

Für die Primärenergiebilanz wurden der anrechenbare Strom aus Fotovoltaik sowohl für den Strombedarf des Gebäudes als auch für den Haushaltsstrom entsprechend den Regelungen der $EnEV_{2014}$ berechnet (Monatsbilanz). Die tatsächlich mögliche Eigennutzung ist hingegen stark abhängig vom Bedarfsprofil und eventuell vorhandenen Stromspeichern im Gebäude. Meist ist sie deutlich geringer als der anrechenbare Strom entsprechend $EnEV_{2014}$. Die Wirtschaftlichkeit einer Fotovoltaikanlage ist jedoch stark abhängig vom tatsächlich erzielten Eigennutzungsanteil des produzierten Stroms aus Fotovoltaik: der selbst genutzte Strom spart den Stromeinkaufspreis, der eingespeiste Strom erwirtschaftet lediglich die Einspeisevergütung von ca. 12 ct/kWh. Daher wurde für die Wirtschaftlichkeitsbewertung der Fotovoltaikanlage ein Eigennutzungsanteil in Abhängigkeit der technischen Gebäudeausrüstung durch Simulation (Stundenbilanz) ermittelt. Dieser simulierte Eigennutzungsanteil wurde in der Endenergiebilanz als Basis für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung angesetzt. Er könnte mit einem Stromspeicher noch deutlich gesteigert werden, was hier jedoch nicht berücksichtigt wurde.

Auf den Dachflächen wurden die Fotovoltaikanlagen mit einer relativ flachen Neigung von 15 ° angesetzt. Durch die flache Neigung reduziert sich zwar der Ertrag je m² Modulfläche, bei aufgeständerten Anlagen kann jedoch der Reihenabstand deutlich verringert und damit insgesamt der Ertrag je m² Dachfläche gesteigert werden. Für einen m² Modulfläche werden bei Flachdächern ca. 1,7 m² Dachfläche benötigt. Bei der Ermittlung der maximalen Modulfläche wurde zudem ein Randabstand für Attika, Aufzugüberfahrten, Schornsteine und andere Dachaufbauten berücksichtigt. Bei den Mehrfamilienhäusern wurde teilweise noch die Balkone der obersten Geschosse mit Fotovoltaikanlagen „überdacht" und Teile der Süd-Ost-Fassaden als Fotovoltaikfläche genutzt.

2.4.2 Kraft-Wärme-Kopplung

Bei Kraft-Wärme-Kopplung können je nach Größe, Auslegung und Auswahl der Anlage unterschiedliche Energiekosten und Primärenergiefaktoren erreicht werden. In dieser Studie wurden die KWK-Anlagen in einem „Contractor"-Modell betrachtet. Der Betreiber der Anlage stellt dem Gebäude die Abwärme einer im Gebäude aufgestellten KWK-Anlage zur Verfügung. Der Primärenergiefaktor der Abwärme (= Erzeugernutzwärmeabgabe nach DIN V 18599) wurde nach DIN V 18599-9 Formel (20) mit folgender Analgenkonfiguration berechnet:

- Gas-BHKW mit Nutzungsgrad 0,85 und Stromkennzahl 0,5
- Gas-Spitzenlastkessel mit Nutzungsgrad 0,92
- Deckungsanteil der KWK von 80 % an der gesamten Wärmebereitstellung

Damit ergibt sich für die KWK ein Primärenergiefaktor von 0,67. Dieser könnte insbesondere bei höherer Stromkennzahl noch deutlich verbessert werden.

2.4.3 Heizung und Warmwasserversorgung

In den Berechnungen wurde für alle Gebäude von einer zentralen Beheizung und Warmwasserversorgung ausgegangen. Die Wärmeübergabe erfolgt grundsätzlich über Niedertemperatur-Heizkörper an den Außenwänden. Lediglich bei Varianten mit Wärmepumpen wurde zur Verbesserung der Arbeitszahlen der Wärmepumpen eine Fußbodenheizung vorgesehen.

Aus Komfortgründen und aus Gründen einer zukunftssicheren Bauweise kann eine Fußbodenheizung jedoch auch in Kombination mit anderen Wärmeerzeugern sinnvoll sein. Nach Ablauf der Lebensdauer der Heizanlage könnte dann auch ohne großen Mehraufwand auf einen anderen Wärmeerzeuger umgestellt werden, der sensibler auf die Heizkreistemperaturen im Gebäude reagiert.

2.5 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Für die Gebäude wurden die Mehrkosten der Plusenergiestandards gegenüber den ab 2016 geltenden Mindestanforderungen der EnEV und dem „Lörracher-3-Liter-Haus-Niveau" ermittelt. Den Mehrkosten wurden die derzeit mögliche Förderung, die potenziellen Energiekosteneinsparungen aus reduziertem Energiebedarf und eigengenutztem Strom aus Fotovoltaik sowie der Ertrag aus der Einspeisevergütung für den überschüssigen Strom gegenüber gestellt.

Über eine Kosten-Nutzen-Analyse wird die Wirtschaftlichkeit der Varianten bewertet. Die tatsächlichen Amortisationszeiten können je nach Finanzierungskonditionen, Förderung und tatsächlichen zukünftigen Energiepreisentwicklungen auch deutlich kürzer ausfallen. Die Kosten-Nutzen-Analyse dient vor allem als Vergleichsmaßstab der Varianten untereinander. Sie beinhaltet keine Prognose der Kostenentwicklungen in der Zukunft.

2.5.1 Mehrkosten

Die Mehrinvestitionen wurden überwiegend nach den Kostenansätzen der BMVBS-Online-Publikation, Nr. 05/2012 „Untersuchung zur weiteren Verschärfung der energetischen Anforderungen an Gebäude mit der EnEV 2012" ermittelt und mit dem Baupreisindex für das 4. Quartal 2014 und einem Regionalfaktor von 1,071 aktualisiert. Einige fehlende Kostenansätze wurden mit BKI-Kostenkennwerten und eigenen Erfahrungswerten ergänzt.

2.5.2 Förderung

Bei der Förderung wurden lediglich die derzeit gültigen Tilgungszuschüsse für KfW-Effizienzhäuser berücksichtigt. Die Konditionen der zukünftigen Förderstandards sind noch nicht vollständig bekannt. Geplant ist eine Verdoppelung des Förderkredits auf 100.000 € je Wohneinheit ab April 2016. Zur Höhe der zukünftigen Tilgungszuschüsse gibt es jedoch noch keine Angaben.

Eine Zinseinsparung durch KfW-Kredite ist sehr stark abhängig von den Marktkonditionen. Derzeit wären bei einem Zinsvorteil von 0,75 % während der Zinsbindung Einsparungen von 2.000 bis 4.000 € je Wohneinheit (derzeit 50.000 € Förderkredit je Wohneinheit) möglich, angesetzt wurden 2.500 € je Wohneinheit. Eine Förderung aus dem Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien ist bei Neubauten nur über die Innovationsförderung möglich. Die in dieser Studie abgebildeten Anlagen entsprechen nicht den Anforderungen an die Innovationsförderung. Eine Förderung aus dem Marktanreizprogramm wurde daher nicht berücksichtigt.

2.5.3 Energiekosten

Zur Ermittlung von Energiekosteneinsparungen wurden die folgenden Energiepreise angesetzt:

Strom	0,260	€/kWh
Holzpellets	0,052	€/kWh
Wärme aus KWK	0,100	€/kWh

Die Einspeisevergütung für Strom aus Fotovoltaik wurde mit 0,12 €/kWh angesetzt.

Für den Strom wurde ein mittlerer Preis für Haushaltsstrom und Wärmepumpe angesetzt da sich die Eigennutzung aus der Fotovoltaikanlage nur schwer nach Haushaltsstrom und Wärmepumpentarif trennen lässt. Es wäre nicht abzuschätzen, welcher Preis durch den Strom aus der Fotovoltaik substituiert wird. Ein Wärmepumpentarif ist meist ohnehin nur noch wenige Cent günstiger.

3 Doppelhaushälfte A-03/04

3.1 Gebäudebeschreibung DHH A-03/04

Gebäudetyp	Doppelhaushälfte (einseitig angebautes Wohngebäude)
Bauweise	Massivbauweise mit Wärmedämmverbundsystem
Geschosszahl	2 Vollgeschosse + Dachgeschoss + Kellerabgang
Wohneinheiten (Annahme)	1
beheizte Bruttogrundfläche (ohne Keller)	gesamt: 309,0 m² (inkl. Dachgeschoss + Kellerabgang) EG/OG: 198 m², DG: 99 m², UG: 12 m²
beheizte Wohnfläche (Annahme)	170,0 m²
Gebäudenutzfläche A_N nach EnEV	232,5 m²
wärmeübertragende Umfassungsfläche A	433,3 m²
beheiztes Volumen V_e	726,6 m³

Tabelle 1: Gebäudedaten DHH A-03/04

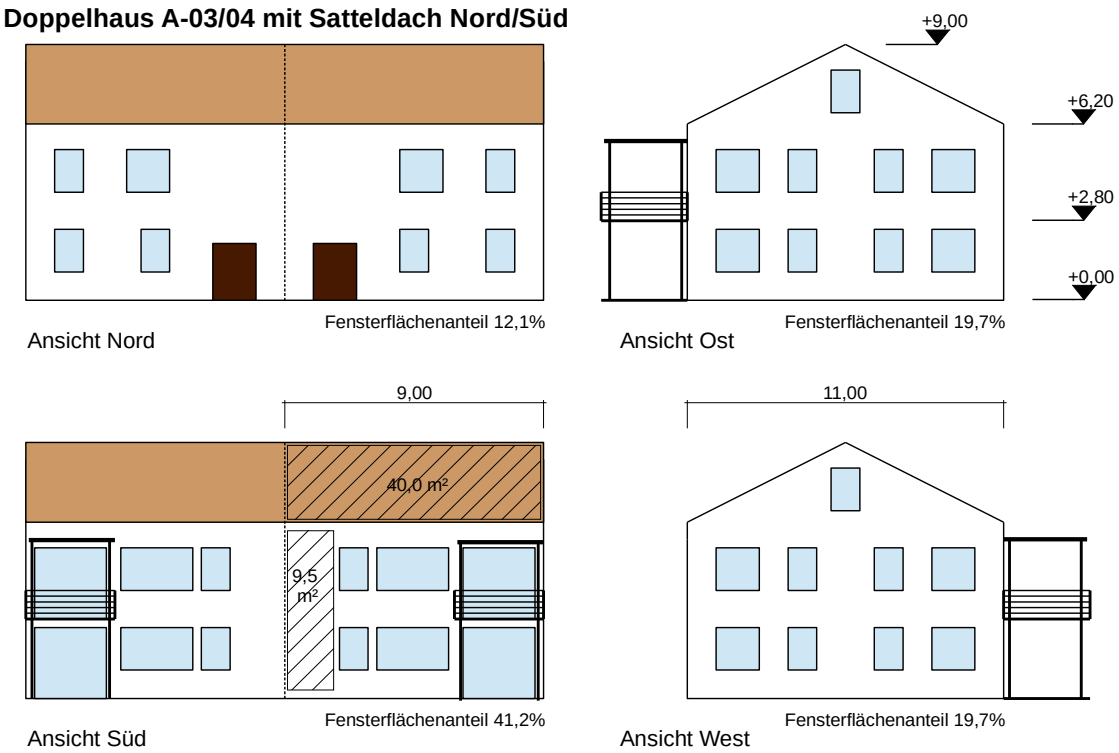


Abbildung 2: Ansichten DHH A-03/04

Energiebilanzen und energetische Nachweise sind für jede Doppelhaushälfte einzeln zu führen. Für die vorliegende Studie wurde die östliche Doppelhaushälfte berechnet, da die

solaren Einstrahlungen aus Osten etwas geringer sind als aus Westen. Dadurch ist für die östliche Doppelhaushälfte ein etwas höherer Energiebedarf zu erwarten als für die westliche Doppelhaushälfte.

Die Ergebnisse werden für eine Gebäudevariante mit Satteldach (Firstrichtung Ost-West) dargestellt. Diese Dachform hat die geringste nutzbare Fotovoltaikfläche auf dem Dach. Der Energiebedarf der hocheffizienten Plusenergiehäuser ist jedoch weitgehend unabhängig von der Dachform. Andere Dachformen wie Pultdach oder Flachdach verfügen über mehr für Fotovoltaik nutzbare Fläche auf dem Dach und sind daher mit den gleichen Lösungen realisierbar.

Mögliche Flächen für Solarthermie oder Fotovoltaik wurden auf dem Dach (40,0 m²), der Südfassade (9,5 m²) und als Balkonüberdachung (10,0 m²) vorgesehen.

3.2 Variantenbeschreibung DHH A-03/04

In Tabelle 2 sind die wesentlichen Parameter der Gebäudehülle und der technischen Gebäudeausrüstung sowie Größe und Anordnung der Fotovoltaikanlagen aller untersuchten Varianten des Gebäudes A-03/04 in einer Übersicht zusammengestellt.

$EnEV_{2016}$ LW-WP

(Vergleichsvariante Mindestanforderung EnEV ab 2016)
Die Wärmedämmung orientiert sich am Referenzgebäude der $EnEV_{2014}$ mit Dämmebene in der Kellerdecke und unbeheiztem Keller. Geringfügige Unterschreitungen der U-Werte des Referenzgebäudes resultieren aus auf 2 cm gerundeten Dämmstoffstärken. Das Gebäude verfügt über eine mechanische Abluftanlage mit kontrollierter Zuluft über Zuluft-Ventile und Überströmöffnungen zwischen den Räumen. Heizung und Warmwasserbereitung erfolgen zentral über eine Luft-Wasser-Wärmepumpe im Keller. Die Räume werden über Fußbodenheizung beheizt. Eine Fotovoltaikanlage ist nicht installiert.

3l LW-WP+PV

(Vegleichsvariante „Lörracher-3-Liter-Haus-Niveau")
Wie Variante „$EnEV_{2016}$ LW-WP" jedoch mit leicht verbesserter Wärmedämmung entsprechend Mindestanforderung des „Lörracher-3-Liter-Haus-Niveaus". Um die Mindestanforderung an den Primärenergiebedarf des „Lörracher-3-Liter-Haus-Niveaus" zu erfüllen, ist zusätzlich eine kleine Fotovoltaikanlage auf dem Dach erforderlich.

3l Pellet

(Vegleichsvariante „Lörracher-3-Liter-Haus-Niveau")
Wie Variante „3l LW-WP+PV" jedoch mit zentraler Heizung und Warmwasserbereitung über eine Pelletheizung mit automatischer Pelletförderung im Keller. Die Räume werden

über Heizkörper beheizt. Aufgrund des niedrigen Primärenergiebedarfs der Pelletheizung wird keine Fotovoltaikanlage benötigt.

E+ LW-WP+PV (Plusenergiehaus)

Wie Variante „$EnEV_{2016}$ LW-WP" jedoch mit deutlich verbesserter Wärmedämmung entsprechend den Anforderungen an ein KfW-Effizienzhaus 40 (spezifischer Transmissionswärmeverlust $H_T' \leq 55$ % des Referenzgebäudes $EnEV_{2014}$). Die Wärmeverluste über Wärmebrücken werden detailliert berechnet. Die Verteilleitungen der Heizungs- und Warmwasseranlage wurden mit den doppelten Mindestdämmstärken der $EnEV_{2014}$ wärmegedämmt. Zur Kompensation des Primärenergiebedarfs dient eine Fotovoltaikanlage.

E+ Pellet+SolarTW+PV (Plusenergiehaus)

Wie Variante „E+ LW-WP+PV" jedoch mit zentraler Heizung und Warmwasserbereitung über eine Pelletheizung mit automatischer Pelletförderung im Keller. Die Räume werden über Heizkörper beheizt. Im Sommer wird das Warmwasser über eine thermische Solaranlage auf dem Dach erzeugt.

E+ Kompaktgerät (Plusenergiehaus)

Wie Variante „E+ LW-WP+PV" jedoch mit zentraler Lüftung, Heizung und Warmwasserbereitung über ein Kompaktgerät mit Zu-Abluftanlage, Lüftungswärmerückgewinnung und Fortluft-Wasser-Wärmepumpe im Keller.

E+ LW-WP+PV_Var2 (Plusenergiehaus)

Wie Variante „E+ LW-WP+PV" jedoch in wärmebrückenoptimierter Bauweise. Die Wärmedämmebene liegt an den Kelleraußenwänden und in der Kellerbodenplatte. Dadurch kann der Wärmebrückenverlust auf 0,02 W/(m²K) reduziert werden. Zudem können die Dämmstoffstärken der opaken Bauteile deutlich reduziert werden. Die gesamte technische Gebäudeausrüstung liegt damit innerhalb der thermischen Hülle. Deren Wärmeverluste können teilweise zur Beheizung des Gebäudes beitragen. Diese Bauweise bietet zudem die Möglichkeit einer zweiten Wohneinheit als Einliegerwohnung.

E+ Pellet+SolarTW+PV_Var2 (Plusenergiehaus)

Wie Variante „E+ Pellet+SolarTW+PV" jedoch in wärmebrückenoptimierter Bauweise entsprechend Variante „E+ LW-WP+PV_Var2".

E+ Kompaktgerät_Var2 (Plusenergiehaus)

Wie Variante „E+ Kompaktgerät" jedoch in wärmebrückenoptimierter Bauweise entsprechend Variante „E+ LW-WP+PV_Var2".

Variantenübersicht

Doppelhaushälften A-03/04	**$EnEV_{2016}$ LW-WP**	**3l LW-WP+PV**	**3l Pellet**	**E+ LW-WP+PV**	**E+ Pellet+SolarTW+PV**	**E+ Kompaktgerät**	**E+ LW-WP+PV_Var2**	**E+ Pellet+SolarTW+PV_Var2**	**E+ Kompaktgerät_Var2**
Plusenergiestandard erfüllt				X	X	X	X	X	X
Gebäudehülle									
U-Werte [W/m²K]									
Außenwand	0,27	0,18	0,18	0,11	0,11	0,11	0,14	0,14	0,14
Kelleraußenwand	0,33	0,33	0,33	0,12	0,12	0,12	0,14	0,14	0,14
Kellerbodenplatte	0,32	0,32	0,32	0,12	0,12	0,12	0,14	0,14	0,14
Dach	0,19	0,16	0,16	0,10	0,10	0,10	0,12	0,12	0,12
Kellerdecke	0,35	0,25	0,25	0,12	0,12	0,12			
Kellerinnenwand	0,31	0,31	0,31	0,12	0,12	0,12			
Fenster	1,30	1,30	1,30	0,80	0,80	0,80	0,85	0,85	0,85
Wärmebrücken [W/m²K]	0,050	0,050	0,050	0,040	0,040	0,040	0,020	0,020	0,020
Lüftungsanlage									
Abluftanlage + Zuluftventile	X	X	X	X	X		X	X	
Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung						X			X
Heizungs- und Warmwasseranlage									
Lage der Heizungs- und Warmwasserverteilung									
unbeheizter Keller	X	X	X	X	X	X			
innerhalb der Dämmebene							X	X	X
Verbesserte Leitungsdämmung				X	X	X	X	X	X
Heizkreis-Temperaturen (Vorlauf/Rücklauf)									
55/45 °C			X		X			X	
35/28 °C	X	X		X		X	X		X
Wärmeübergabe									
Heizkörper an Außenwänden			X		X			X	
Fußbodenheizung	X	X		X		X	X		X
Solarthermie (TW-Bereitung)									
Aperturfläche [m²]					7,0			7,0	
Lage					Dach			Dach	
Fotovoltaikanlage									
Eigennutzungsanteil (Simulation)		~ 80 %		~ 40 %	~ 30 %	~ 40 %	~ 40 %	~ 30 %	~ 40 %
Dach									
verfügbare Fläche [m²]	40,0	40,0	40,0	40,0	31,5	40,0	40,0	31,5	40,0
benötigte Fläche [m²]		30,5		40,0	31,5	40,0	40,0	31,5	40,0
Fassade									
verfügbare Fläche [m²]	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
benötigte Fläche [m²]				9,5	1,0	4,0	9,5		7,0
Balkonüberdachung									
verfügbare Fläche [m²]	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
benötigte Fläche [m²]				1,5			4,5		

Tabelle 2: Variantenübersicht DHH A-03/04

3.3 Ergebnisse DHH A-03/04

Die folgende Tabelle zeigt die erforderlichen Mehrinvestitionen der Varianten gegenüber den ab 2016 geltenden Mindestanforderungen der EnEV sowie deren Energiekosteneinsparungen und Einspeisevergütungen. Die energetisch bedingten Mehrkosten, Förderung und Energiekosteneinsparungen umfassen alle Maßnahmen an der Gebäudehülle sowie der technischen Gebäudeausrüstung (ohne Fotovoltaikanlage). Für die Fotovoltaikanlage sind die Investitionskosten, die Stromkosteneinsparungen durch Eigennutzung und die Einspeisevergütung für den nicht direkt selbst genutzten Strom angegeben.

	gesamt		Fotovoltaikanlage			Gebäude		
	Mehrinvestition abzügl. Förderung	Einsparungen und Eigennutzung	Investitionskosten	Einspeisevergütung	Stromkosten-einsparung durch Eigennutzung	energetisch bedingte Mehrkosten	Förderung[1)]	Energiekosten-einsparung
	[€]	[€/a	[€]	[€/a]	[€/a]	[€]	[€]	[€/a]
3l WP+PV	11.900	1.060	7.700	90	850	4.200	0	120
3l Pellet	5.400	490	0	0	0	5.400	0	490
E+ WP+PV	38.500	1.680	13.000	440	710	33.000	7.500	530
E+ Pellet+SolarTW+PV	39.700	1.530	8.200	350	350	39.000	7.500	830
E+ Kompaktgerät	40.500	1.780	11.000	390	630	37.000	7.500	760
E+ WP+PV_Var2	37.500	1.600	14.000	460	750	31.000	7.500	390
E+ Pellet+SolarTW+PV_Var2	37.400	1.580	7.900	340	350	37.000	7.500	890
E+ Kompaktgerät_Var2	40.500	1.750	12.000	410	660	36.000	7.500	680

1) Tilgungszuschuss KfW-Effizienzhaus 40 (10 % der Darlehenssumme von 50.000 € je Wohneinheit) zzgl. 2.500 € Zinsvorteil je Wohneinheit

Tabelle 3: Mehrkosten und Einsparungen DHH A-03/04

Die energetisch bedingten Mehrkosten der Varianten mit Pelletheizung beinhalten keine Fußbodenheizung, da diese für den Betrieb einer Pelletheizung technisch nicht unbedingt notwendig ist. Die Mehrkosten für Fußbodenheizung liegen bei ca. 3.700 €.

Die energetisch bedingten Mehrkosten für die wärmebrückenoptimierten Bauweisen mit Wärmedämmung der Kelleraußenwände und -bodenplatten (..._Var2) sind etwas geringer als bei Wärmedämmung der Kellerdecke. Ein wärmegedämmter Keller wird jedoch in der Berechnung des Energiebedarfs immer auch als beheizt angesetzt, ungeachtet der tatsächlichen Nutzung der Kellerräume. Aufgrund des als beheizt angenommenen Kellers steigt der errechnete Energiebedarf leicht an. Die prognostizierten Energiekosteneinsparungen dieser Varianten sind daher etwas geringer als bei Wärmedämmung der Kellerdecke. Bei einem unbeheizten Keller innerhalb der Dämmebene können die Energiekosteneinsparungen daher auch etwas höher ausfallen. Andererseits bietet ein beheizter Keller die Möglichkeit einer Einliegerwohnung. Die KfW-Förderung für

eine zweite Wohneinheit würde das Kosten/Nutzen-Verhältnis auf unter 20 Jahre reduzieren, wurde in den Ergebnissen jedoch noch nicht berücksichtigt.

Das im Folgenden dargestellte Kosten/Nutzen-Verhältnis setzt die Energiekosteneinsparungen und Einspeisevergütungen durch Gebäudekonstruktion, technischer Gebäudeausrüstung und Fotovoltaikanlage ins Verhältnis zu den gesamten Mehrkosten der Varianten abzüglich Förderung. Es entspricht einer statischen Amortisation (z.B. Kosten/Nutzen 10/1 = Amortisation 10 Jahre) ohne Berücksichtigung der marktüblichen Finanzierungskosten und Energiepreissteigerungen und dient dem Vergleich der Wirtschaftlichkeit von Energiesparmaßnahmen untereinander. Die tatsächlichen Amortisationszeiten können auch deutlich kürzer ausfallen.

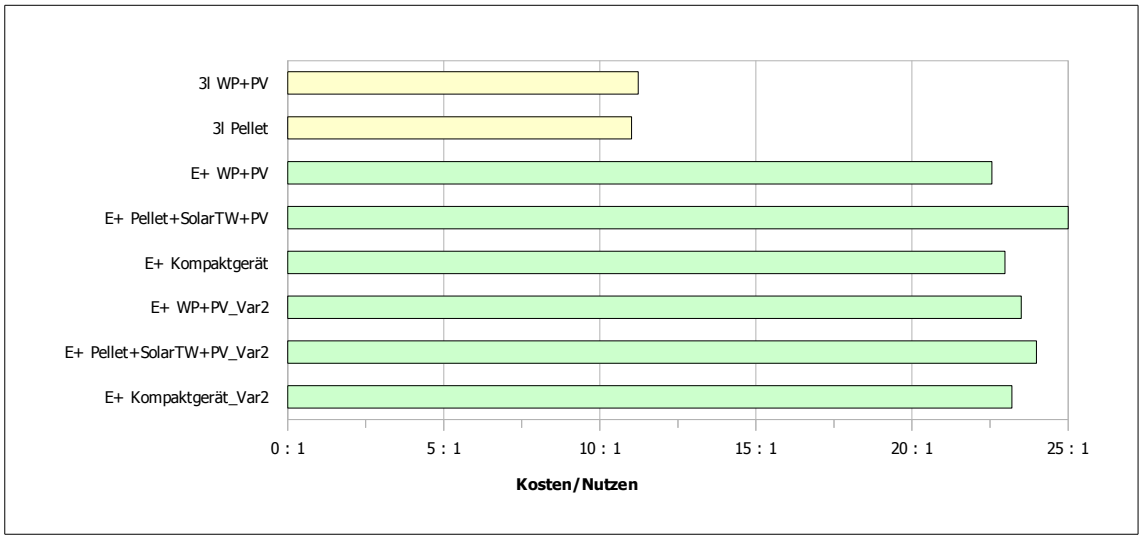


Abbildung 3: Kosten/Nutzen-Verhältnis DHH A-03/04

Bei einer Doppelhaushälfte sind die Mehrkosten je Wohneinheit mit ca. 30.000 bis 40.000 € für das Gebäude zuzüglich ca. 8.000 bis 14.000 € für die Fotovoltaikanlage relativ hoch. Langfristig werden sich die Kosten jedoch amortisieren. Die Kosten/Nutzen-Verhältnisse liegen bei allen Plusenergievarianten sehr nahe beieinander. Somit lässt sich bei der Doppelhaushälfte ein Plusenergiestandard auf vielfältige Weise realisieren. Bei einer Pelletheizung sind die Investitionskosten etwas höher als bei Wärmepumpen. Zudem ist mit höheren Wartungskosten zu rechnen. Die Investitions- und Wartungskosten ließen sich allerdings durch kostengünstigere handbeschickte Pelletöfen noch deutlich reduzieren. Bei den niedrigen Energieverbräuchen ist der Aufwand relativ gering. Andererseits ist bei Pellets der Brennstoff günstiger als Strom für die Wärmepumpe. Ein Kompaktgerät bietet bei gleichem Kosten/Nutzen-Verhältnis aber zu höheren Investitionskosten zudem eine mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung.

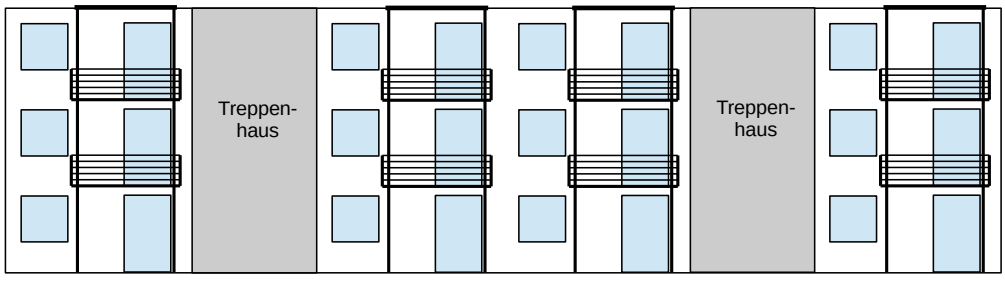
4 Mehrfamilienhaus H-02

4.1 Gebäudebeschreibung MFH H-02

Gebäudetyp	Mehrfamilienhaus
Bauweise	Massivbauweise mit Wärmedämmverbundsystem
Geschosszahl	3 Vollgeschosse
Wohneinheiten (Annahme)	12
beheizte Bruttogrundfläche (ohne Treppenhäuser)	gesamt: 1.128,0 m²
beheizte Wohnfläche (Annahme)	790,0 m²
Gebäudenutzfläche A_N nach EnEV	1.089,8 m²
wärmeübertragende Umfassungsfläche A	1.652,0 m²
beheiztes Volumen V_e	3.405,6 m³

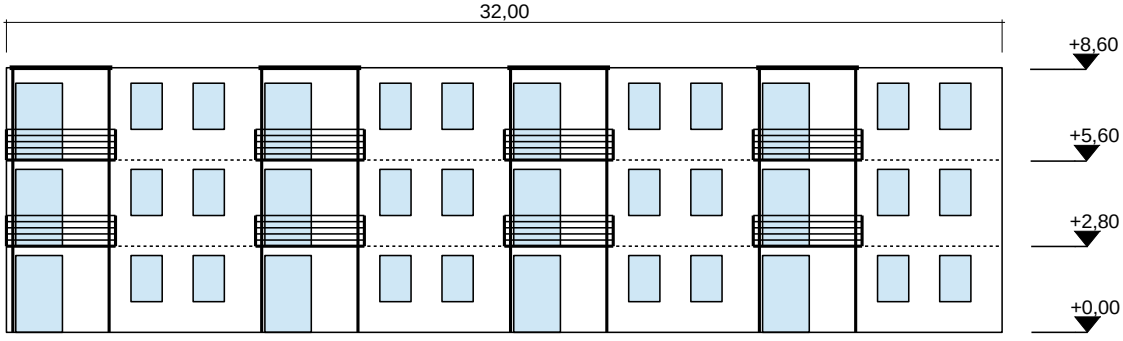
Tabelle 4: Gebäudedaten MFH H-02

Mehrfamilienhaus H-02



Fensterflächenanteil 28,3%

Ansicht West

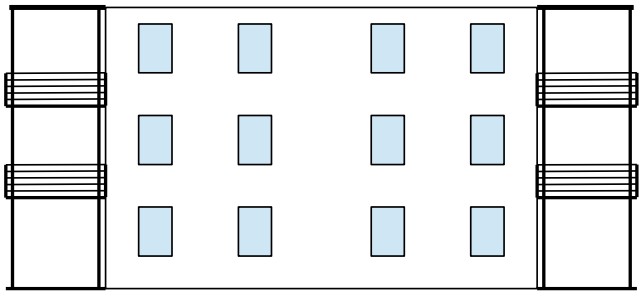


Fensterflächenanteil 29,4%

Ansicht Ost

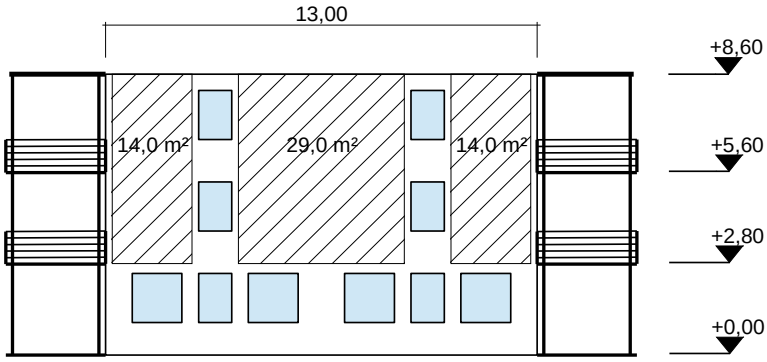
Abbildung 4: Ansichten MFH H-02

Mehrfamilienhaus H-02



Fensterflächenanteil 16,1%

Ansicht Nord



Fensterflächenanteil 16,1%

Ansicht Süd

Abbildung 5: Ansichten MFH H-02

Das 3-geschossige Mehrfamilienhaus H-02 steht auf einer Tiefgarage und ist teilweise unterkellert. Die beiden Treppenhäuser liegen außerhalb der thermischen Hülle des Gebäudes und erschließen vier Wohnungen je Geschoss. Die Wohnungen sind nach Osten und Westen orientiert. Die Südfassade wird großteils als Solarfläche genutzt.

Mögliche Flächen für Solarthermie oder Fotovoltaik wurden auf dem Dach (218,0 m²), der Südfassade (57,0 m²) und als Balkonüberdachung (84,0 m²) vorgesehen.

4.2 Variantenbeschreibung MFH H-02

In Tabelle 6 sind die wesentlichen Parameter der Gebäudehülle und der technischen Gebäudeausrüstung sowie Größe und Anordnung der Fotovoltaikanlagen aller untersuchten Varianten des Gebäudes H-02 in einer Übersicht zusammengestellt.

$EnEV_{2016}$ Pellet

(Vergleichsvariante Mindestanforderung EnEV ab 2016)
Die Wärmedämmung orientiert sich am Referenzgebäude der $EnEV_{2014}$ mit Dämmebene in der Keller-/Tiefgaragendecke und unbeheiztem Keller. Geringfügige Unterschreitungen der U-Werte des Referenzgebäudes resultieren aus auf 2 cm gerundeten Dämmstoff-

stärken. Das Gebäude verfügt über eine mechanische Abluftanlage mit kontrollierter Zuluft über Zuluft-Ventile und Überströmöffnungen zwischen den Räumen. Heizung und Warmwasserbereitung erfolgen zentral über eine Pelletheizung mit automatischer Pelletförderung im Keller. Die Räume werden über Heizkörper beheizt. Eine Fotovoltaikanlage ist nicht installiert.

3l Pellet

(Vegleichsvariante „Lörracher-3-Liter-Haus-Niveau")
Wie Variante „$EnEV_{2016}$ Pellet" jedoch mit leicht verbesserter Wärmedämmung entsprechend Mindestanforderung des „Lörracher-3-Liter-Haus-Niveaus".

3l KWK+PV

(Vegleichsvariante „Lörracher-3-Liter-Haus-Niveau")
Wie Variante „3l Pellet" jedoch mit zentraler Wärmeversorgung für Heizung und Warmwasser über eine KWK-Anlage mit Primärenergiefaktor 0,67 bestehend aus Blockheizkraftwerk mit Gas-Spitzenlastkessel. Die KWK-Anlage ist in Kap. 2.4.2 Kraft-Wärme-Kopplung genauer beschrieben. Um die Mindestanforderung an den Primärenergiebedarf des „Lörracher-3-Liter-Haus-Niveaus" zu erfüllen, ist zusätzlich eine kleine Fotovoltaikanlage auf dem Dach erforderlich.

E+ Pellet/Nahwärme+PV

Wie Variante „$EnEV_{2016}$ Pellet" jedoch mit deutlich verbesserter Wärmedämmung. Die Wärmedämmung entspricht nicht ganz den Anforderungen an ein KfW-Effizienzhaus 40 (spezifischer Transmissionswärmeverlust $H_T' \leq 55$ % des Referenzgebäudes $EnEV_{2014}$). Die Wärmeverluste über Wärmebrücken werden detailliert berechnet. Die Verteilleitungen der Heizungs- und Warmwasseranlage wurden mit den doppelten Mindestdämmstärken der $EnEV_{2014}$ wärmegedämmt. Zur Kompensation des Primärenergiebedarfs dient eine Fotovoltaikanlage.

Alternativ zur Pelletheizung kann das Gebäude auch über ein Nahwärmenetz auf Basis Erneuerbarer Energien mit Wärme versorgt werden. Primärenergetisch gleichwertig zur Pelletheizung wäre eine Nahwärmeversorgung mit einem Primärenergiefaktor von ca. 0,24.

E+ KWK+PV

Wie Variante „E+ Pellet/Nahwärme + PV" jedoch mit zentraler Wärmeversorgung für Heizung und Warmwasser über eine KWK-Anlage entsprechend Variante „3l KWK+PV".

E+ LW-WP+PV

Wie Variante „E+ Pellet/Nahwärme+PV" jedoch mit zentraler Heizung und Warmwasserbereitung über eine Außenluft-Wasser-Wärmepumpe. Die Räume werden über eine Fußbodenheizung beheizt.

Variantenübersicht

Mehrfamilienhaus H-02 3 Geschosse Ost-West-Orientierung	**$EnEV_{2016}$ Pellet**	**3l Pellet**	**3l KWK+PV**	**E+ Pellet/Nahwärme+PV**	**E+ KWK+PV**	**E+ LW-WP+PV**
Plusenergiestandard erfüllt				X	X	X
Gebäudehülle						
U-Werte [W/m²K]						
Außenwand	0,27	0,23	0,23	0,15	0,15	0,15
Kelleraußenwand						
Kellerbodenplatte						
Dach	0,19	0,17	0,17	0,13	0,13	0,13
Kellerdecke	0,26	0,26	0,26	0,16	0,16	0,16
Wand zum Treppenhaus	0,31	0,31	0,31	0,23	0,23	0,23
Fenster	1,30	1,30	1,30	0,95	0,95	0,95
Wärmebrücken [W/m²K]	0,050	0,050	0,050	0,030	0,030	0,030
Lüftungsanlage						
Abluftanlage + Zuluftventile	X	X	X	X	X	X
Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung						
Heizungs- und Warmwasseranlage						
Lage der Heizungs- und Warmwasserverteilung						
unbeheizter Keller	X	X	X	X	X	X
innerhalb der Dämmebene						
Verbesserte Leitungsdämmung				X	X	X
Heizkreis-Temperaturen (Vorlauf/Rücklauf)						
55/45 °C	X	X	X	X	X	
35/28 °C						X
Wärmeübergabe						
Heizkörper an Außenwänden	X	X	X	X	X	
Fußbodenheizung						X
Solarthermie (TW-Bereitung)						
Aperturfläche [m²]						
Lage						
Fotovoltaikanlage						
Eigennutzungsanteil (Simulation)			~ 90 %	~ 30 %	~ 20 %	~ 40 %
Dach						
verfügbare Fläche [m²]	218,0	218,0	218,0	218,0	218,0	218,0
benötigte Fläche [m²]			39,0	166,0	218,0	218,0
Fassade						
verfügbare Fläche [m²]	57,0	57,0	57,0	57,0	57,0	57,0
benötigte Fläche [m²]					40,5	57,0
Balkonüberdachung						
verfügbare Fläche [m²]	84,0	84,0	84,0	84,0	84,0	84,0
benötigte Fläche [m²]						8,5

Tabelle 5: Variantenübersicht MFH H-02

4.3 Ergebnisse MFH H-02

Die folgende Tabelle zeigt die erforderlichen Mehrinvestitionen der Varianten gegenüber den ab 2016 geltenden Mindestanforderungen der EnEV sowie deren Energiekosteneinsparungen und Einspeisevergütungen. Die energetisch bedingten Mehrkosten, Förderung und Energiekosteneinsparungen umfassen alle Maßnahmen an der Gebäudehülle sowie der technischen Gebäudeausrüstung (ohne Fotovoltaikanlage). Für die Fotovoltaikanlage sind die Investitionskosten, die Stromkosteneinsparungen durch Eigennutzung und die Einspeisevergütung für den nicht direkt selbst genutzten Strom angegeben.

	gesamt		Fotovoltaikanlage			Gebäude		
	Mehrinvestition abzügl. Förderung	Einsparungen und Eigennutzung	Investitionskosten	Einspeisevergütung	Stromkosten-einsparung durch Eigennutzung	energetisch bedingte Mehrkosten	Förderung[1)]	Energiekosten-einsparung
	[€]	[€/a	[€]	[€/a]	[€/a]	[€]	[€]	[€/a]
3l Pellet	6.500	130	0	0	0	6.500	0	130
3l KWK+PV	-11.400	-2.130	8.600	70	1.100	-20.000	0	-3.300
E+ Pellet/Nahwärme+PV	42.600	4.600	37.000	1.700	1.700	65.600	60.000	1.200
E+ KWK+PV	35.800	3.500	57.000	2.900	1.900	38.800	60.000	-1.300
E+ LW-WP+PV	85.900	4.800	61.000	2.300	3.800	84.900	60.000	-1.300

1) Tilgungszuschuss KfW-Effizienzhaus 55 (5 % der Darlehenssumme von 50.000 € je Wohneinheit) zzgl. 2.500 € Zinsvorteil je Wohneinheit

Tabelle 6: Mehrkosten und Einsparungen DHH H-02

Die energetisch bedingten Mehrkosten der Varianten mit Pelletheizung und KWK beinhalten keine Fußbodenheizung, da diese für den Betrieb dieser Heizsysteme technisch nicht unbedingt notwendig ist. Die Mehrkosten für Fußbodenheizung liegen bei ca. 15.500 €.

Die KWK-Anlagen wurden in einem „Contractor“-Modell betrachtet. Die Investitionskosten für die Wärmeerzeugungsanlagen sind in den Energiekosten (Wärmepreis) enthalten. Somit entfallen für die Varianten mit KWK die Kosten für die Wärmeversorgungsanlagen. Dafür steigen die Energiekosten. Dies führt zu negativen Mehrkosten und negativen Einsparungen.

Da der Strom für die Wärmepumpe teurer als Holzpellets ist steigen auch bei der Plusenergievariante mit Wärmepumpe „E+ LW-WP+PV“ die Energiekosten des Gebäudes an. Dies kann jedoch durch Eigennutzung von Strom aus Fotovoltaik kompensiert werden. Die Wirtschaftlichkeit für die Bewohner ist daher vom Betreibermodell und davon abhängig, inwieweit die Bewohner von der Eigennutzung und Einspeisevergütung profitieren. Für den Investor können sich die Mehrkosten des Gebäudes bei den Plusenergievarianten schon durch die Förderung nahezu refinanzieren. Die Investition in die

Fotovoltaikanlage ist wirtschaftlich, wenn eine ausreichende Menge Strom aus Fotovoltaik im Gebäude genutzt wird.

Das im Folgenden dargestellte Kosten/Nutzen-Verhältnis setzt die Energiekosteneinsparungen und Einspeisevergütungen durch Gebäudekonstruktion, technischer Gebäudeausrüstung und Fotovoltaikanlage ins Verhältnis zu den gesamten Mehrkosten der Varianten abzüglich Förderung. Es entspricht einer statischen Amortisation (z.B. Kosten/Nutzen 10/1 = Amortisation 10 Jahre) ohne Berücksichtigung der marktüblichen Finanzierungskosten und Energiepreissteigerungen und dient dem Vergleich der Wirtschaftlichkeit von Energiesparmaßnahmen untereinander. Die tatsächlichen Amortisationszeiten können auch deutlich kürzer ausfallen. Aufgrund der höheren Energiekosten (negative Einsparungen und Eigennutzung) der KWK-Anlage im „Lörracher-3-Liter-Haus-Niveau“ kann für diese Variante kein Kosten/Nutzen-Verhältnis (Amortisation) angegeben werden.

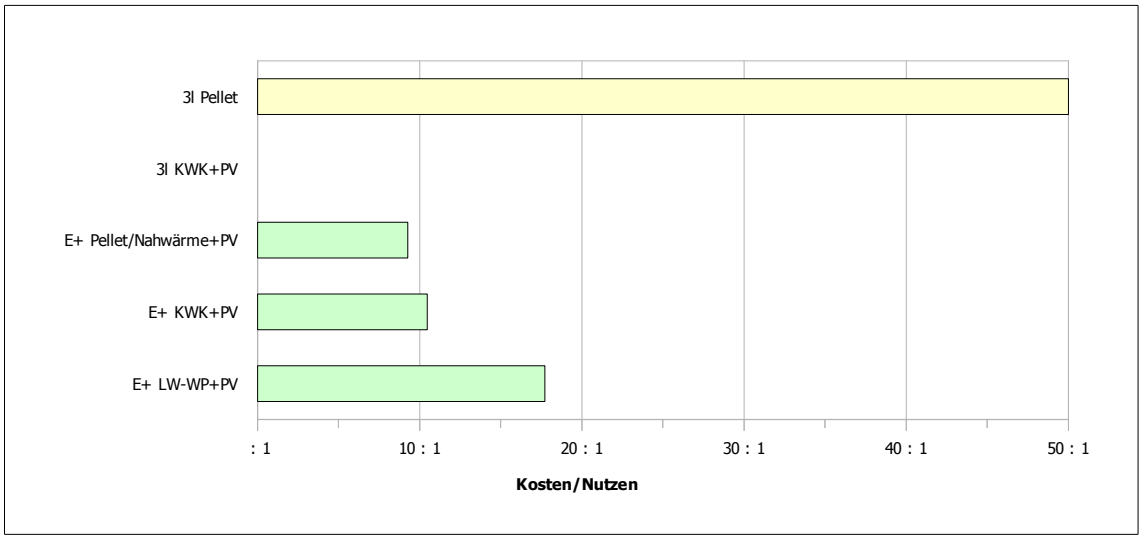


Abbildung 6: Kosten/Nutzen-Verhältnis MFH H-02

Die Plusenergievarianten mit Pelletheizung und fossiler KWK weisen vergleichbare Kosten/-Nutzenverhältnisse auf. Bei der KWK und Wärmepumpen steigen zunächst die Energiekosten gegenüber der Basis-Variante „$EnEV_{2016}$ Pellet“. Durch die schlechteren Primärenergiefaktoren der fossilen KWK und des Stroms wird eine deutlich größere Fotovoltaikanlage zur Kompensation des Primärenergiebedarfs benötigt. Andererseits steigen dadurch auch die Erträge aus der Fotovoltaikanlage. Der Primärenergiefaktor der KWK ist stark vom Modell und dessen Stromkennzahl abhängig. Je nach Modell könnten der Pimärenergiebedarf und damit die benötigte Fotovoltaikfläche auch noch geringer ausfallen.

Im Mietverhältnis hängen die Wirtschaftlichkeit für den Vermieter und den Mieter stark vom Betreiberkonzept der KWK und der Fotovoltaikanlage ab. Bei KWK und Wärmepumpen ist zunächst mit steigenden Energiekosten für den Mieter zu rechnen. Nur wenn die Mieter von günstigem Strom aus Fotovoltaik profitieren, können diese Mehrkosten ausgeglichen werden.

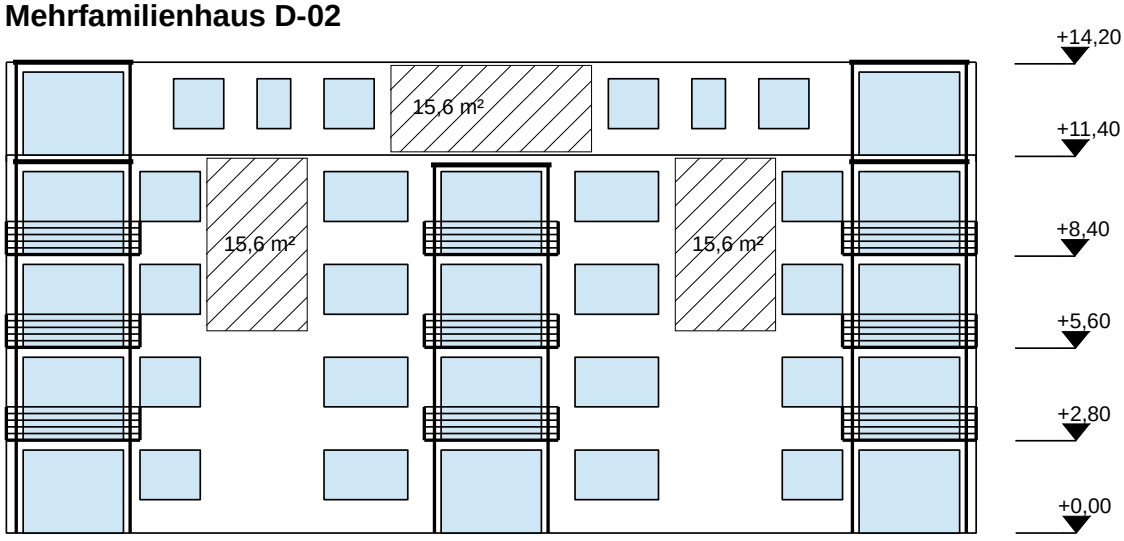
5 Mehrfamilienhaus D-02

5.1 Gebäudebeschreibung MFH D-02

Gebäudetyp	Mehrfamilienhaus
Bauweise	Massivbauweise mit Wärmedämmverbundsystem
Geschosszahl	4 Vollgeschosse + Staffelgeschoss
Wohneinheiten (Annahme)	14
beheizte Bruttogrundfläche (ohne Treppenhäuser)	gesamt: 1.553,0 m² (inkl. Staffelgeschoss) EG/1.-3 OG: 1.312 m²; Staffelgeschoss: 241 m²
beheizte Wohnfläche (Annahme)	1.090,0 m²
Gebäudenutzfläche A_N nach EnEV	1.430,4 m²
wärmeübertragende Umfassungsfläche A	1.945,6 m²
beheiztes Volumen V_e	4.470,0 m²

Tabelle 7: Gebäudedaten D-02

Mehrfamilienhaus D-02



Ansicht Süd

Fensterflächenanteil 47,5%

Abbildung 7: Ansichten MFH D-02

Mehrfamilienhaus D-02

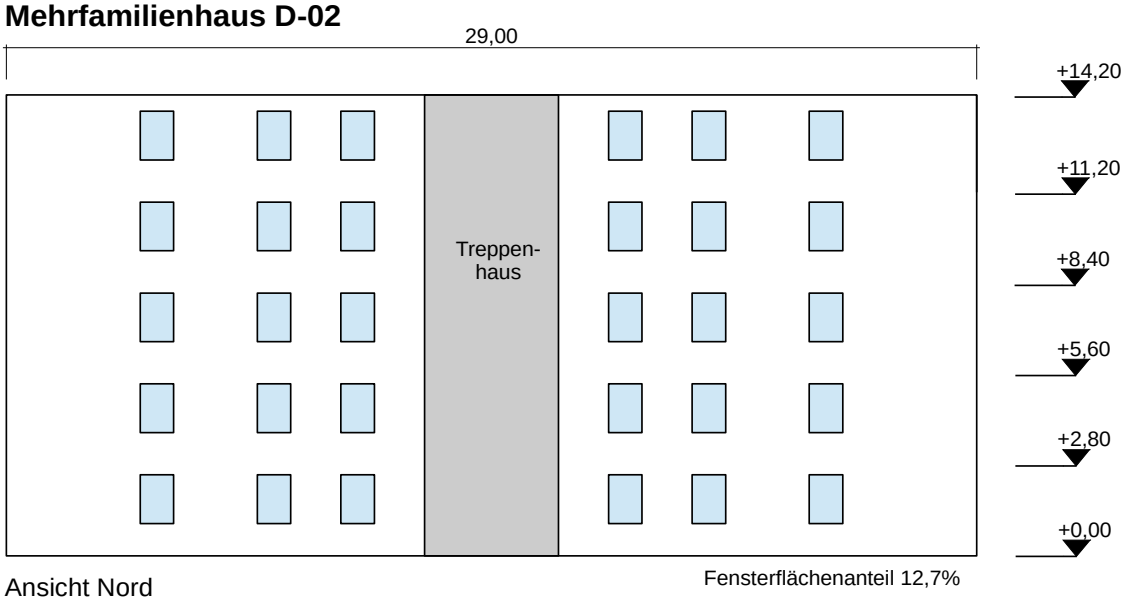


Abbildung 8: Ansichten MFH D-02

Mehrfamilienhaus D-02

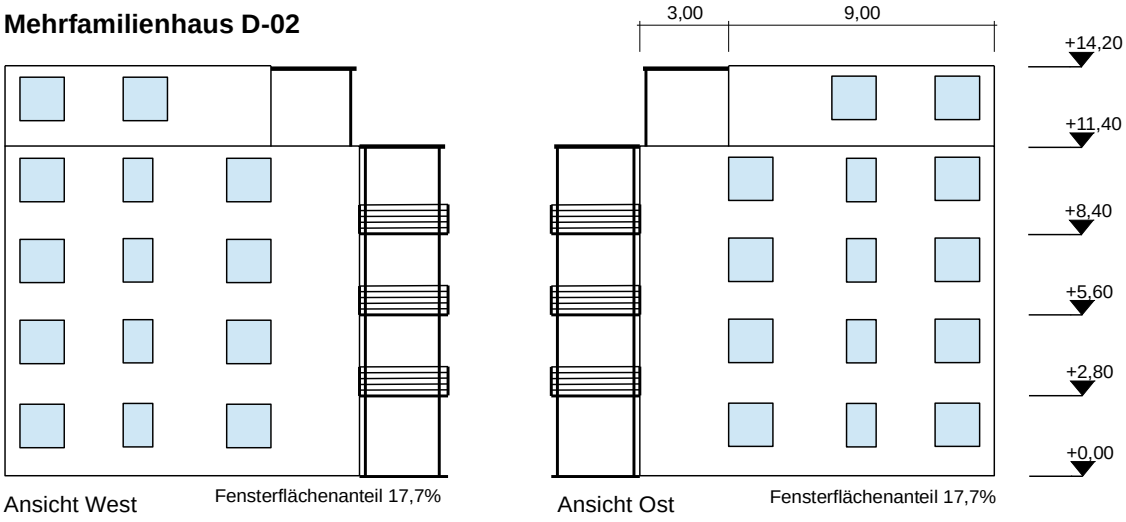


Abbildung 9: Ansichten MFH D-02

Das Mehrfamilienhaus D/02 hat 4 Geschosse plus Staffelgeschoss. Es steht auf einer Tiefgarage und ist teilweise unterkellert. Die Treppenhäuser liegen außerhalb der thermischen Hülle des Gebäudes. Die Wohnungen sind nach Osten und Westen orientiert. Je Geschoss wurden drei Wohnungen, im Staffelgeschoss zwei Wohnungen vorgesehen.

Mögliche Flächen für Solarthermie oder Fotovoltaik wurden auf dem Dach des Staffelgeschosses (160,0 m²), der Südfassade des Staffelgeschosses (15,0 m²), der Südfassade des 3. und 4. Geschosses (31 m²) und als Balkonüberdachung (52,0 m²) vorgesehen. Die

Solarflächen in der Fassade des 3. und 4. Geschosses sind jedoch stark durch die Balkone verschattet und wurden daher für Fotovoltaik nicht berücksichtigt.

5.2 Variantenbeschreibung MFH D-02

In Tabelle 8 sind die wesentlichen Parameter der Gebäudehülle und der technischen Gebäudeausrüstung sowie Größe und Anordnung der Fotovoltaikanlagen aller untersuchten Varianten des Gebäudes D-02 in einer Übersicht zusammengestellt.

EnEV$_{2016}$ Pellet

(Vergleichsvariante Mindestanforderung EnEV ab 2016)
Die Wärmedämmung orientiert sich am Referenzgebäude der EnEV$_{2014}$ mit Dämmebene in der Keller-/Tiefgaragendecke und unbeheiztem Keller. Geringfügige Unterschreitungen der U-Werte des Referenzgebäudes resultieren aus auf 2 cm gerundeten Dämmstoffstärken. Das Gebäude verfügt über eine mechanische Abluftanlage mit kontrollierter Zuluft über Zuluft-Ventile und Überströmöffnungen zwischen den Räumen. Heizung und Warmwasserbereitung erfolgen zentral über eine Pelletheizung mit automatischer Pelletförderung im Keller. Die Räume werden über Heizkörper beheizt. Eine Fotovoltaikanlage ist nicht installiert.

3l Pellet

(Vegleichsvariante „Lörracher-3-Liter-Haus-Niveau")
Wie Variante „EnEV$_{2016}$ Pellet" jedoch mit leicht verbesserter Wärmedämmung entsprechend Mindestanforderung des „Lörracher-3-Liter-Haus-Niveaus".

3l KWK+PV

(Vegleichsvariante „Lörracher-3-Liter-Haus-Niveau")
Wie Variante „3l Pellet" jedoch mit zentraler Wärmeversorgung für Heizung und Warmwasser über eine KWK-Anlage mit Primärenergiefaktor 0,67 bestehend aus Blockheizkraftwerk mit Gas-Spitzenlastkessel. Die KWK-Anlage ist in Kap. 2.4.2 Kraft-Wärme-Kopplung genauer beschrieben. Um die Mindestanforderung an den Primärenergiebedarf des „Lörracher-3-Liter-Haus-Niveaus" zu erfüllen, ist zusätzlich eine kleine Fotovoltaikanlage auf dem Dach erforderlich.

E+ Pellet/Nahwärme+PV

Wie Variante „EnEV$_{2016}$ Pellet" jedoch mit deutlich verbesserter Wärmedämmung. Die Wärmedämmung entspricht nicht ganz den Anforderungen an ein KfW-Effizienzhaus 40 (spezifischer Transmissionswärmeverlust $H_T' \leq 55$ % des Referenzgebäudes EnEV$_{2014}$).
Die Wärmeverluste über Wärmebrücken werden detailliert berechnet. Die Verteilleitungen

der Heizungs- und Warmwasseranlage wurden mit den doppelten Mindestdämmstärken der $EnEV_{2014}$ wärmegedämmt. Zur Kompensation des Primärenergiebedarfs dient eine Fotovoltaikanlage.

Alternativ zur Pelletheizung kann das Gebäude auch über ein Nahwärmenetz auf Basis Erneuerbarer Energien mit Wärme versorgt werden. Primärenergetisch gleichwertig zur Pelletheizung wäre eine Nahwärmeversorgung mit einem Primärenergiefaktor von ca. 0,24.

E+ KWK+WRG+PV

Wie Variante „E+ Pellet/Nahwärme+PV“ jedoch mit zentraler Wärmeversorgung für Heizung und Warmwasser über eine KWK-Anlage entsprechen Variante „3l KWK+PV“. Die Lüftung erfolgt über eine Zu-/Abluftanlage mit 85 % Wärmerückgewinnung. Trotzdem ist mit den verfügbaren Solarflächen kein Plusenergiestandard erreichbar.

Variantenübersicht

Mehrfamilienhaus D-02 4 Geschosse + Staffelgeschoss Südorientierung	$EnEV_{2016}$ Pellet	3l Pellet	3l KWK+PV	E+ Pellet/Nahwärme+PV	E+ KWK+WRG+PV
Plusenergiestandard erreicht				X	
Gebäudehülle					
U-Werte [W/m²K]					
Außenwand	0,27	0,21	0,21	0,14	0,14
Kelleraußenwand					
Kellerbodenplatte					
Dach	0,19	0,12	0,12	0,12	0,12
Kellerdecke	0,26	0,23	0,23	0,16	0,16
Wand zum Treppenhaus	0,31	0,26	0,26	0,26	0,26
Fenster	1,30	1,30	1,30	0,95	0,95
Wärmebrücken [W/m²K]	0,050	0,050	0,050	0,030	0,030
Lüftungsanlage					
Abluftanlage + Zuluftventile	X	X	X	X	
Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung					X
Heizungs- und Warmwasseranlage					
Lage der Heizungs- und Warmwasserverteilung					
unbeheizter Keller					
innerhalb der Dämmebene	X	X	X	X	X
Verbesserte Leitungsdämmung				X	X
HK-Temperaturen					
55/45 °C	X	X	X	X	X
35/28 °C					
Wärmeübergabe					
Heizkörper an Außenwänden	X	X	X	X	X
Fußbodenheizung					
Solarthermie (TW-Bereitung)					
Aperturfläche [m²]					
Lage					
Fotovoltaikanlage					
Eigennutzungsanteil (Simulation)			~ 90 %	~ 30 %	~ 30 %
Dach					
verfügbare Fläche [m²]	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0
benötigte Fläche [m²]			31,0	160,0	219,0
Fassade					
verfügbare Fläche [m²]	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
benötigte Fläche [m²]				15,0	15,0
Balkonüberdachung					
verfügbare Fläche [m²]	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0
benötigte Fläche [m²]				46,5	52,0

Tabelle 8: Variantenübersicht MFH D-02

5.3 Ergebnisse MFH D-02

Die folgende Tabelle zeigt die erforderlichen Mehrinvestitionen der Varianten gegenüber den ab 2016 geltenden Mindestanforderungen der EnEV sowie deren Energiekosteneinsparungen und Einspeisevergütungen. Die untersuchte Variante „E+ KWK+WRG+PV" erfüllten den Plusenergiestandard nicht. Die energetisch bedingten Mehrkosten, Förderung und Energiekosteneinsparungen umfassen alle Maßnahmen an der Gebäudehülle sowie der technischen Gebäudeausrüstung (ohne Fotovoltaikanlage).

	gesamt		Fotovoltaikanlage			Gebäude		
	Mehrinvestition abzügl. Förderung	Einsparungen und Eigennutzung	Investitionskosten	Einspeisevergütung	Stromkosten-einsparung durch Eigennutzung	energetisch bedingte Mehrkosten	Förderung[1)]	Energiekosten-einsparung
	[€]	[€/a	[€]	[€/a]	[€/a]	[€]	[€]	[€/a]
3l Pellet	23.000	350	0	0	0	23.000	0	350
3l KWK+PV	-2.800	-2.520	6.900	30	950	-9.700	0	-3.500
E+ Pellet/Nahwärme+PV	72.000	6.500	49.000	2.200	2.900	93.000	70.000	1.400
E+ KWK+WRG+PV	105.000	6.030	63.000	3.000	2.800	112.000	70.000	230

1) Tilgungszuschuss KfW-Effizienzhaus 55 (5 % der Darlehenssumme von 50.000 € je Wohneinheit) zzgl. 2.500 € Zinsvorteil je Wohneinheit

Tabelle 9: Mehrkosten und Einsparungen DHH D-02

Die KWK-Anlagen wurden in einem „Contractor"-Modell betrachtet. Die Investitionskosten für die Wärmeerzeugungsanlagen sind in den Energiekosten (Wärmepreis) enthalten. Somit entfallen für die Varianten mit KWK die Kosten für die Wärmeversorgungsanlagen. Dafür steigen die Energiekosten. Dies führt zu negativen Mehrkosten und negativen Einsparungen.

Das im Folgenden dargestellte Kosten/Nutzen-Verhältnis setzt die Energiekosteneinsparungen und Einspeisevergütungen durch Gebäudekonstruktion, technischer Gebäudeausrüstung und Fotovoltaikanlage ins Verhältnis zu den gesamten Mehrkosten der Varianten abzüglich Förderung. Es entspricht einer statischen Amortisation (z.B. Kosten/Nutzen 10/1 = Amortisation 10 Jahre) ohne Berücksichtigung der marktüblichen Finanzierungskosten und Energiepreissteigerungen und dient dem Vergleich der Wirtschaftlichkeit von Energiesparmaßnahmen untereinander. Die tatsächlichen Amortisationszeiten können auch deutlich kürzer ausfallen. Aufgrund der höheren Energiekosten (negativen Einsparungen) der Variante 3l KWK+PV kann für diese Variante kein Kosten-Nutzen-Verhältnis (Amortisation) angegeben werden.

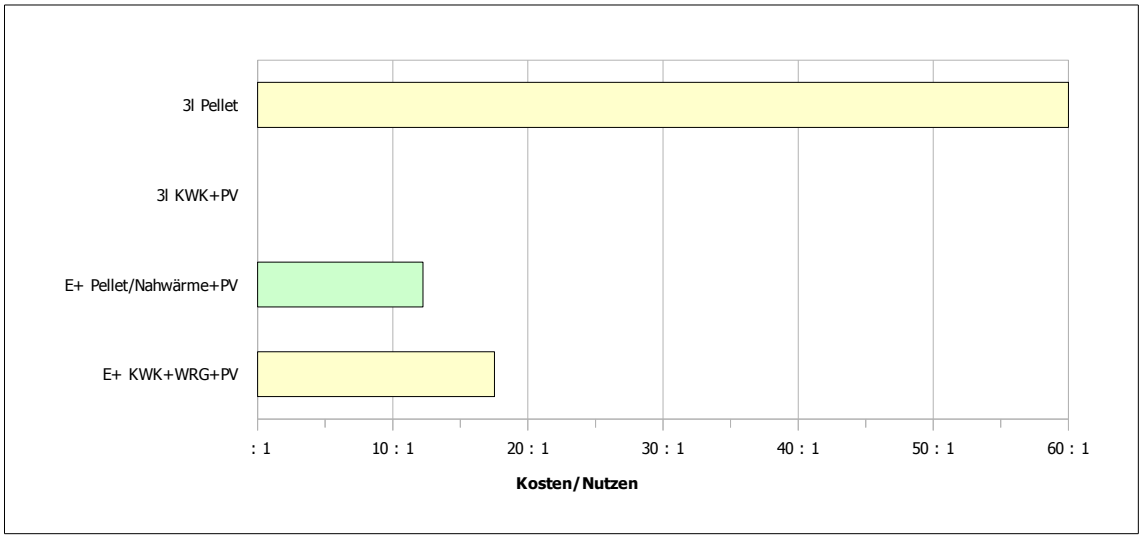


Abbildung 10: Kosten/Nutzen-Verhältnis MFH D-02

Im viergeschossigen Mehrfamilienhaus sind die Möglichkeiten zur Umsetzung eines Plusenergiestandards sehr eingeschränkt. Dem höheren Energiebedarf steht eine insbesondere durch das Staffelgeschoss stark reduzierte Solarfläche gegenüber. Die einzige verbleibende Möglichkeit ist eine Wärmeversorgung auf der Basis von Biomasse (Pelletheizung/Nahwärme). Jedoch auch bei größeren Solarflächen ohne Staffelgeschoss wären alternative Energieversorgungsvarianten nur mit zusätzlichen Maßnahmen zur Energieeinsparung wie z. B. die Lüftungswärmerückgewinnung möglich.

6 Zusammenfassung und Empfehlung

Bei allen untersuchten Gebäuden ist die vollständige Kompensation des Primärenergiebedarfs durch Fotovoltaikanlagen auf und am Gebäude grundsätzlich möglich. Bei kleineren Gebäude (weniger Geschosse) bietet sich eine große Bandbreite von Möglichkeiten zur Umsetzung eines Plusenergiehauses. Je mehr Geschosse ein Gebäude aufweist, desto geringer wird die Dachfläche je m² Wohnfläche, und desto eingeschränkter sind die Möglichkeiten zur Umsetzung eines Plusenergiehauses. Beim Mehrfamilienhaus D-02 mit vier Geschossen plus Staffelgeschoss bleibt nur noch die Wärmeversorgung über Biomasse als Pelletheizung im Gebäude oder Nahwärme aus regenerativen Brennstoffen.

Die spezifischen Zusatzinvestitionen gegenüber den ab 2016 geltenden Mindestanforderungen der $EnEV_{2014}$ sind hingegen bei kleinen Gebäuden deutlich höher als bei den größeren, kompakteren Gebäuden. Bei den Doppelhaushälften A-03/04 ist mit Mehrkosten ohne Berücksichtigung von Fördermitteln von ca. 45.000 € je Doppelhaushälfte zu rechnen. Dies entspricht etwa 265 € je m² Wohnfläche. Bei den Mehrfamilienhäusern H-02 und D-02 entstehen in den untersuchten Varianten Mehrkosten von 130 bis 185 € je m² Wohnfläche. In allen Fällen amortisieren sich die Mehrkosten jedoch unter Berücksichtigung derzeitiger öffentlicher Fördermittel innerhalb der Lebensdauer der Maßnahmen.

Das „Effizienzhaus Plus“ (Definition Stand: Juni 2014, siehe Kap. 2.2) ist deutlich schwerer erreichbar. Die Kompensation des Endenergiebedarfs durch Fotovoltaik würde allein für den Haushaltsstrom fast 0,3 m² Dachfläche je m² Wohnfläche benötigen. In den Doppelhäusern A-03/04 und im dreigeschossigen Mehrfamilienhaus H-02 wäre diese Anforderung nur noch mit Wärmepumpen zu erfüllen. Im viergeschossigen Gebäude mit Staffelgeschoss wären massive Investitionen in zusätzliche Energiesparmaßnahmen (z. B. Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, Passivhauskomponenten, effizientere Haustechnik) erforderlich. Das „Effizienzhaus Plus“ würde damit die Umsetzungsmöglichkeiten einschränken und die Anforderungen an mehrgeschossige Gebäude deutlich erhöhen.

Daher wird als Mindestanforderung für das Baugebiet lediglich die Kompensation des Primärenergiebedarfs empfohlen. Für die Umsetzung eines „Effizienzhaus Plus“ mit vollständiger Kompensation des Endenergiebedarfs werden geplante zukünftige Förderprogramme weitere Anreize schaffen. Beim Primärenergiebedarf als alleinige Anforderungsgröße wäre es jedoch möglich, einen hohen Endenergiebedarf durch niedrige Primärenergiefaktoren zu kompensieren und damit die gewünschte energiesparende Bauweise zu umgehen. Daher sollte zusätzlich ein Mindestmaß an Wärmedämmung gefordert werden. Eine Unterschreitung der ab 2016 geltenden Anforderungen der $EnEV_{2014}$ an den spezifischen Transmissionswärmeverlust H_T' um mindestens 30 % wird von allen untersuchten Gebäuden und Varianten eingehalten und wird als Nebenanforderung empfohlen.

Im Sinne einer „Plusenergiesiedlung“ ist die Kompensation des Primärenergiebedarfs nicht unbedingt am Gebäude erforderlich. Insbesondere den mehrgeschossigen Gebäuden könnte die Kompensation des Primärenergiebedarfs auf Ersatzflächen (z. B. Carportüberdachung) innerhalb des Neubaugebiets die Einhaltung des Plusenergiestandards erleichtern.

Die Eigennutzung des erzeugten Stroms auch als Haushaltsstrom ist grundsätzlich wünschenswert. Eine Pflicht zur Eigennutzung müsste im Wohnungsbau jedoch auch auf Mieter oder Wohnungseigentümer übertragen werden. Eine Verpflichtung zur Eigennutzung wird daher nicht empfohlen. Bei den zukünftigen Einspeisevergütungen ist die Einspeisung von regenerativ erzeugtem Strom in das öffentliche Netz deutlich unwirtschaftlicher als die Eigennutzung. Dadurch entsteht beim Betreiber der Anlage ohnehin ein hohes Eigeninteresse zur Nutzung des Stroms innerhalb des Gebäudes. Eine Eigennutzung in zentralen Analgen des Gebäudes, deren Strombedarf als Gemeinstrom oder Heizkosten über die Nebenkosten abgerechnet werden kann, ist hingegen auch im Wohnungsbau unproblematisch.

Für den Plusenergiestandard werden die folgenden Anforderungen vorgeschlagen:

6.1 Definition „Lörracher-Primärenergie-Plus-Niveau“

- Der Primärenergiebedarf des Gebäudes inklusive Haushaltsstrom und Stromertrag aus erneuerbaren Energien darf maximal 0,0 kWh/a betragen. Der Energiebedarf des Gebäudes und der Stromertrag aus erneuerbaren Energien im räumlichen Zusammenhang mit dem Gebäude oder auf Ersatzflächen innerhalb des Baugebiets sind nach DIN V 18599: 2011-12 berichtigt durch DIN V 18599 Berichtigung 1: 2013-05 zu bestimmen. Der Haushaltsstrom ist mit 20 kWh je m² Wohnfläche und Jahr, maximal jedoch 2.500 kWh je Wohneinheit und Jahr anzusetzen und über 365 Kalendertage gleichmäßig auf die Tage der einzelnen Kalendermonate aufzuteilen. Der monatliche Stromertrag aus erneuerbaren Energien ist vom monatlichen Strombedarf (Endenergiebedarf Strom) des Gebäudes und dem monatlichen Haushaltsstrom abzuziehen. Analog zu Anlage 1 Nr. 2.1.1 $EnEV_{2014}$ ist der danach verbleibende Strombedarf mit dem Primärenergiefaktor 1,8 und der überschüssige Stromertrag mit dem Primärenergiefaktor 2,8 zu bewerten.
- In den zentralen Einrichtungen des Gebäudes ist vorrangig der im räumlichen Zusammenhang mit dem Gebäude erzeugte Strom unmittelbar nach Erzeugung oder nach vorübergehender Speicherung selbst zu nutzen.
- Der spezifische Transmissionswärmeverlust H_T' muss die ab 2016 geltenden Anforderungen der Anlage 1 Nr. 1.2 $EnEV_{2014}$ um mindestens 30 % unterschreiten.

Anhang A Berechnungsergebnisse Doppelhaushälfte DHH A-03/04

spezifischer Transmissionswärmeverlust H'$_T$ in [W/(m²K)]

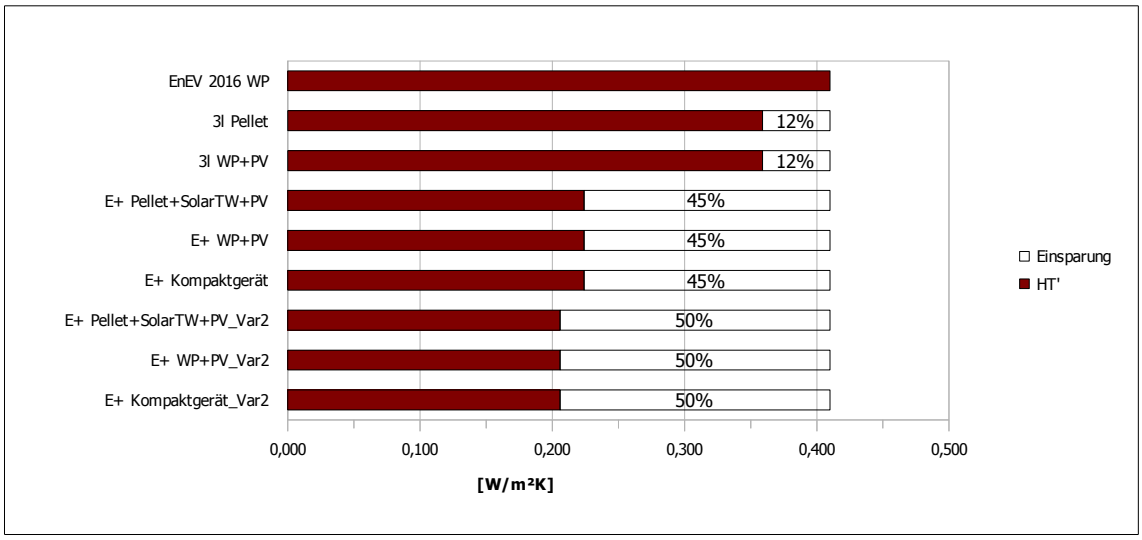


Abbildung 11: Spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T' DHH A-03/04

Heizwärmebedarf in [kWh/a)]

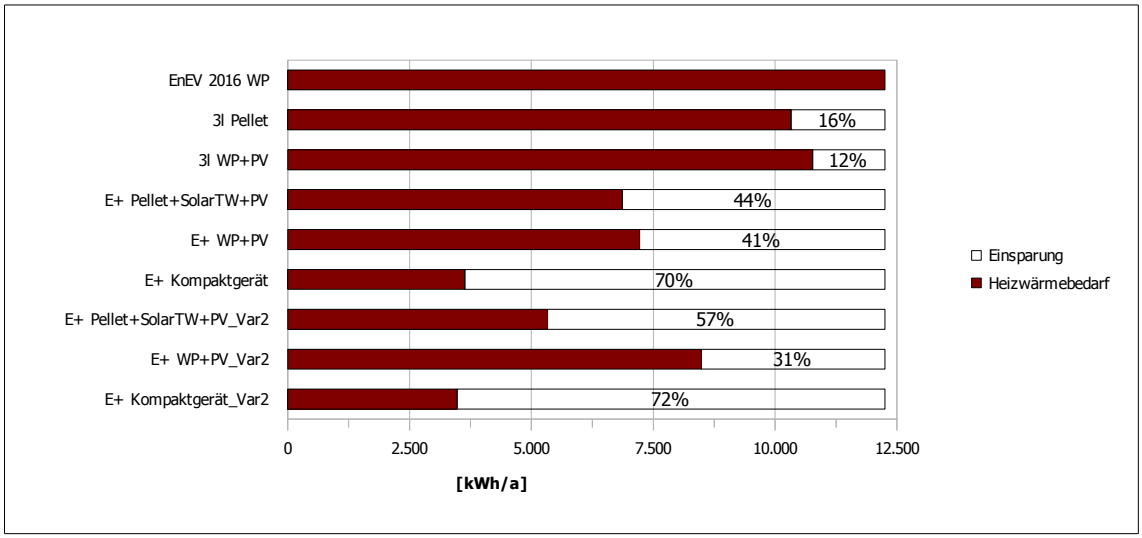


Abbildung 12: Heizwärmebedarf DHH A-03/04

Wärmeenergiebedarf in [kWh/a)]

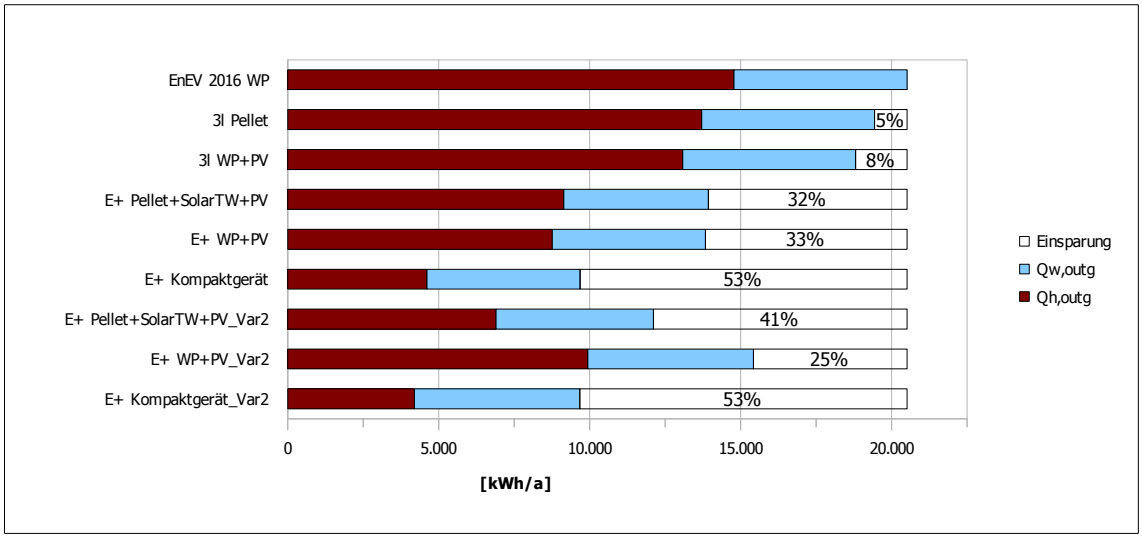


Abbildung 13: Wärmeenergiebedarf DHH A-03/04

	absoluter Wärmeenergiebedarf in [kWh/a]	spezifischer[1] Wärmeenergiebedarf in [kWh/(m²a)]	Gebäudeeffizienzklasse $EWärmeG_{2015}$
$EnEV_{2016}$ WP	20.500	88,0	D
3l Pellet	19.400	83,0	C
3l WP+PV	18.800	81,0	C
E+ Pellet+SolarTW+PV	13.900	60,0	B
E+ WP+PV	13.800	59,0	B
E+ Kompaktgerät	9.680	42,0	A
E+ Pellet+SolarTW+PV_Var2	12.100	37,0	B
E+ WP+PV_Var2	15.400	47,0	C
E+ Kompaktgerät_Var2	9.670	29,0	A

1) bezogen auf Gebäudenutzfläche A_N von 233 m² (Varianten mit beheiztem Keller ..._Var2: 330 m²)

Tabelle 10: Wärmeenergiebedarf und Gebäudeeffizienzklasse DHH A-03/04

Endenergiebedarf in [kWh/a)]

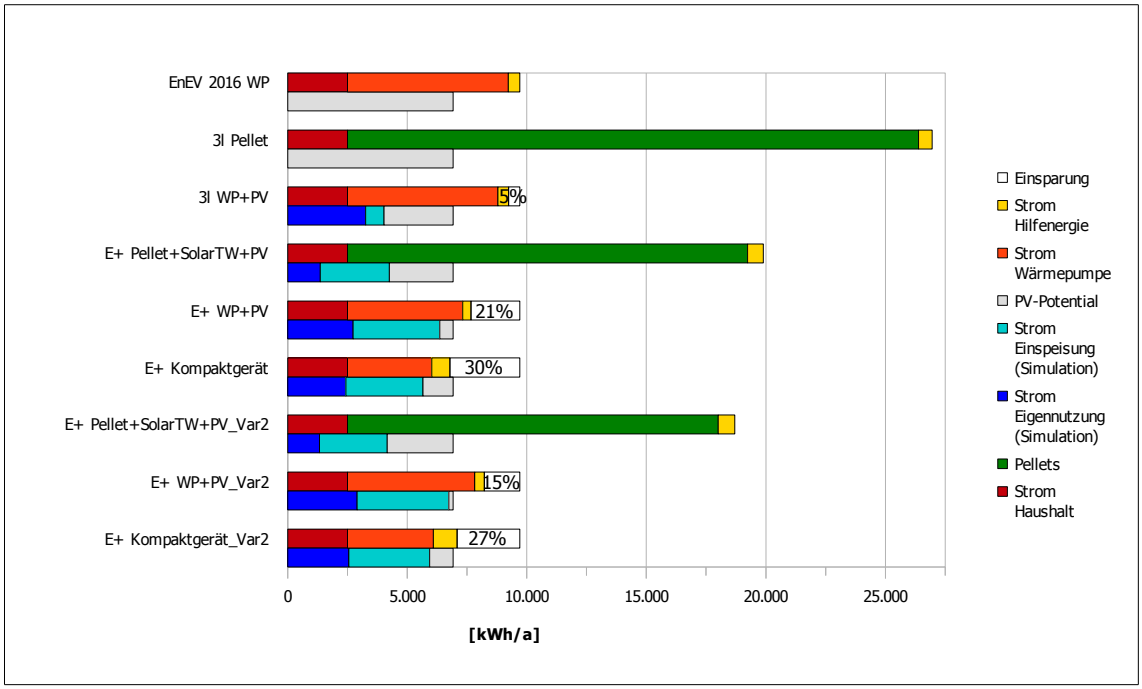


Abbildung 14: Endenergiebedarf DHH A-03/04

	absoluter Endenergiebedarf in [kWh/a]	spezifischer[1] Endenergiebedarf in [kWh/(m²a)]	Energieeffizienzklasse $EnEV_{2014}$
$EnEV_{2016}$ WP	7.210	31	A
3l Pellet	24.500	105	D
3l WP+PV	4.480	19	A+
E+ Pellet+SolarTW+PV	16.700	72	B
E+ WP+PV	2.670	11	A+
E+ Kompaktgerät	2.030	9	A+
E+ Pellet+SolarTW+PV_Var2	15.500	47	A
E+ WP+PV_Var2	3.010	9	A+
E+ Kompaktgerät_Var2	2.120	6	A+

1) bezogen auf Gebäudenutzfläche A_N von 233 m² (Varianten mit beheiztem Keller ..._Var2: 330 m²)

Tabelle 11: Endenergiebedarf und Energieeffizienzklasse DHH A-03/04

Primärenergiebedarf in [kWh/a)]

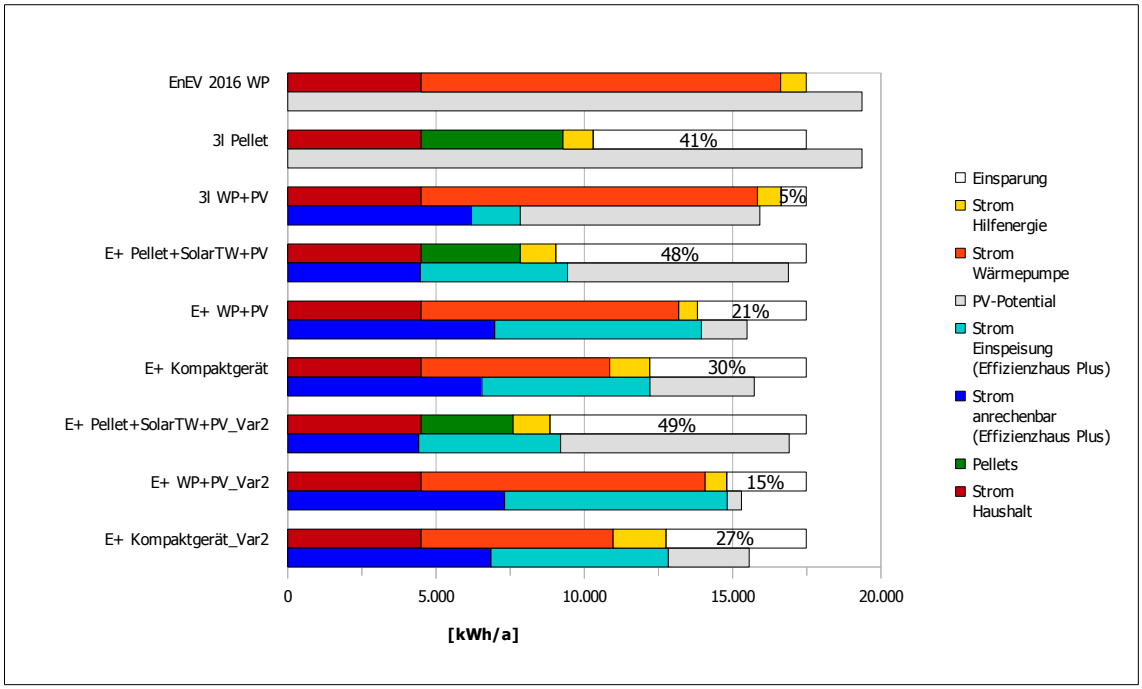


Abbildung 15: Primärenergiebedarf DHH A-03/04

	absoluter Primärenergiebedarf in [kWh/a]	spezifischer[1] Primärenergiebedarf in [kWh/(m²a)]
Referenzgebäude $EnEV_{2016}$	14000	60
$EnEV_{2016}$ WP	13.000	56
3l Pellet	5.800	25
3l WP+PV	8.060	35
E+ Pellet+SolarTW+PV	3.360	14
E+ WP+PV	4.810	21
E+ Kompaktgerät	3.650	16
E+ Pellet+SolarTW+PV_Var2	3.110	9
E+ WP+PV_Var2	5.420	16
E+ Kompaktgerät_Var2	3.820	12

1) bezogen auf Gebäudenutzfläche A_N von 233 m² (Varianten mit beheiztem Keller ..._Var2: 330 m²)

Tabelle 12: Primärenergiebedarf DHH A-03/04

Mehrkosten in [€]

	3l Pellet	3l LW-WP+PV	E+ Pellet+ SolarTW+PV	E+ LW-WP+PV	E+ Kompaktgerät	E+ Pellet+SolarTW+PV_Var2	E+ LW-WP+PV_Var2	E+ Kompaktgerät_Var2
Gebäudehülle								
Außenwand	2.500	2.500	7.600	7.600	7.600	5.100	5.100	5.100
Kelleraußenwand	0	0	530	530	530	5.800	5.800	5.800
Kellerbodenplatte	0	0	750	750	750	7.100	7.100	7.100
Dach	1.300	1.300	5.800	5.800	5.800	3.900	3.900	3.900
Kellerdecke	41	41	2.100	2.100	2.100	-620	-620	-620
Kellerinnenwand	0	0	410	410	410	-230	-230	-230
Fenster	0	0	12.000	12.000	12.000	7.400	7.400	7.400
Wärmebrückenberechnung	0	0	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Gebäudetechnik								
Wärmeerzeugung	730	0	730	0	0	730	0	4.800
Schornstein	4.100	0	4.100	0	0	4.100	0	0
Solaranlage	0	0	4.900	0	0	4.900	0	0
Verteilung und Übergabe	-3.700	0	-3.700	0	0	-3.700	0	0
Lüftungsanlage	0	0	0	0	4.800	0	0	4.800
Summe Gebäude	5.400	4.200	0	33.000	37.000	37.000	31.000	36.000
Fotovoltaik	0	7.700	8.200	13.000	11.000	7.900	14.000	12.000

Tabelle 13: Mehrkosten DHH A-03/04 gegenüber Variante „EnEV$_{2016}$ WP“

Anhang B Berechnungsergebnisse Mehrfamilienhaus H-02

spezifischer Transmissionswärmeverlust H'$_T$ in [W/(m²K)]

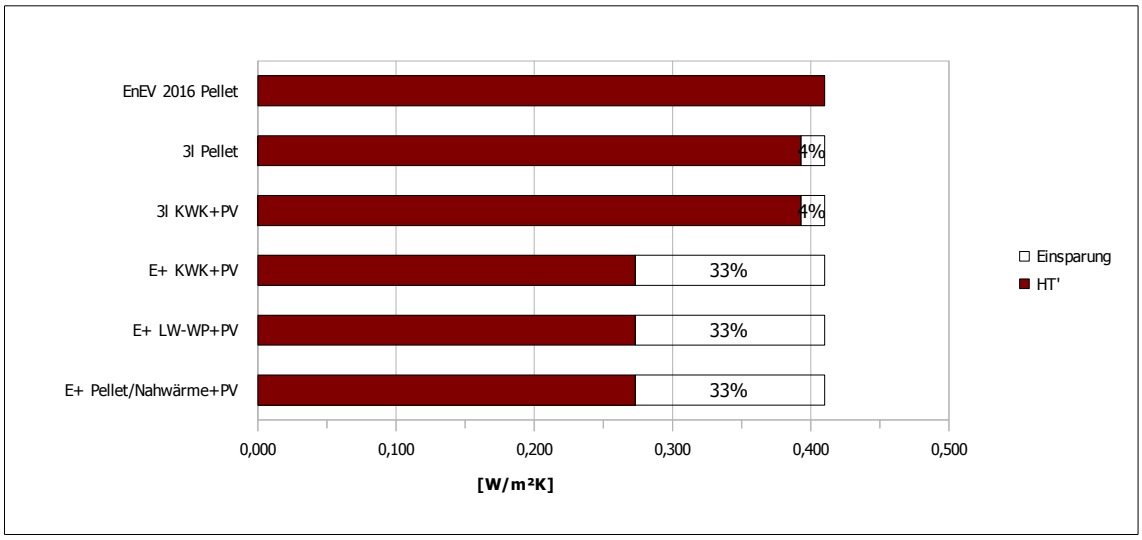


Abbildung 16: Spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T' MFH H-02

Heizwärmebedarf in [kWh/a)]

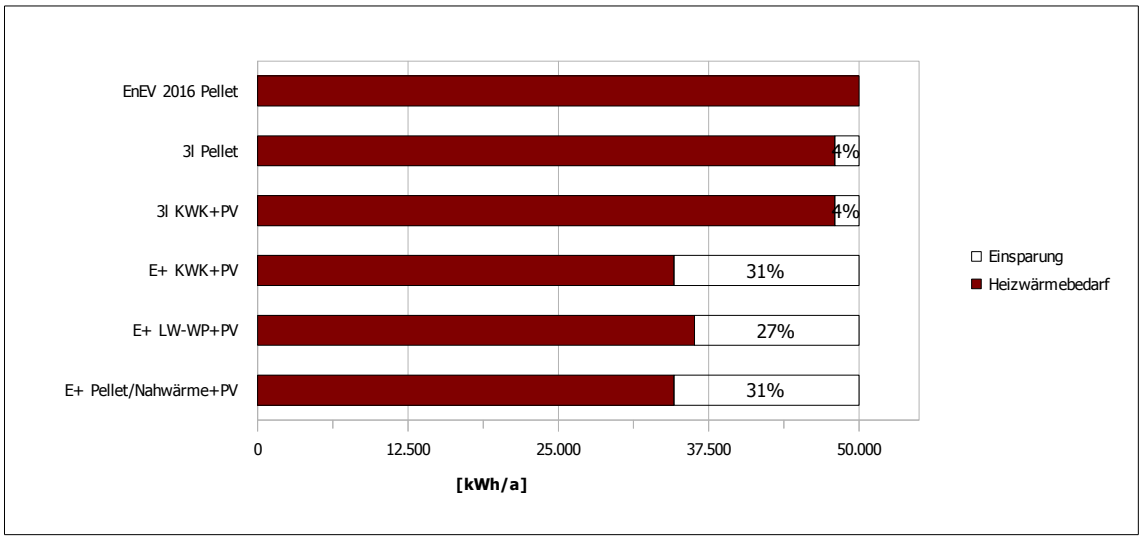


Abbildung 17: Heizwärmebedarf MFH H-02

Wärmeenergiebedarf in [kWh/a)]

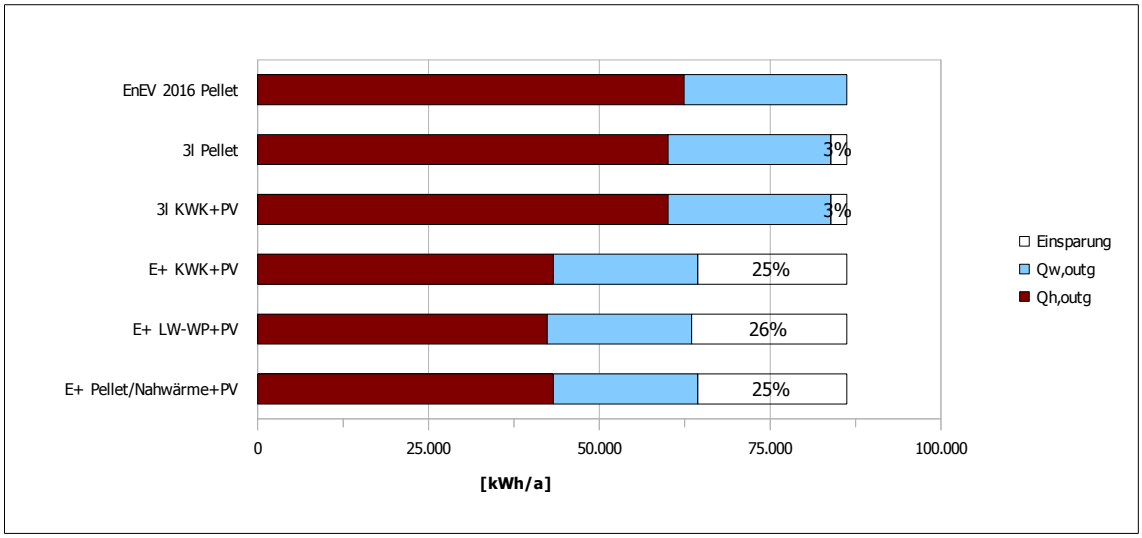


Abbildung 18: Wärmeenergiebedarf MFH H-02

	absoluter Wärmeenergiebedarf in [kWh/a]	spezifischer[1] Wärmeenergiebedarf in [kWh/(m²a)]	Gebäudeeffizienzklasse $EWärmeG_{2015}$
$EnEV_{2016}$ Pellet	86.200	83	C
3l Pellet	83.900	81	C
3l KWK+PV	83.900	81	C
E+ KWK+PV	64.400	62	C
E+ LW-WP+PV	63.500	61	C
E+ Pellet/Nahwärme+PV	64.400	62	C

1) bezogen auf Gebäudenutzfläche A_N von 1.035 m²

Tabelle 14: Wärmeenergiebedarf Gebäudeeffizienzklasse MFH H-02

Endenergiebedarf in [kWh/a)]

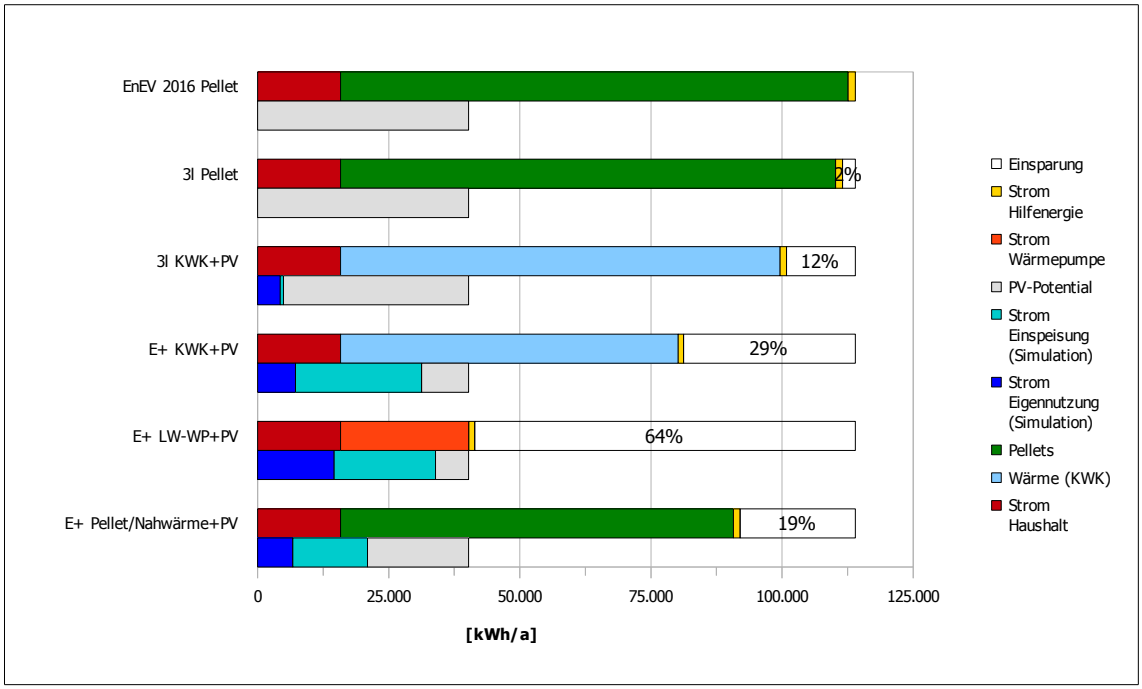


Abbildung 19: Endenergiebedarf MFH H-02

	absoluter Endenergiebedarf in [kWh/a]	spezifischer[1] Endenergiebedarf in [kWh/(m²a)]	Energieeffizienzklasse $EnEV_{2014}$
$EnEV_{2016}$ Pellet	98.200	95	C
3l Pellet	95.800	93	C
3l KWK+PV	84.000	81	C
E+ KWK+PV	64.400	62	B
E+ LW-WP+PV	13.500	13	A+
E+ Pellet/Nahwärme+PV	74.900	72	B

1) bezogen auf Gebäudenutzfläche A_N von 1.035 m²

Tabelle 15: Endenergiebedarf Energieeffizienzklasse MFH H-02

Primärenergiebedarf in [kWh/a)]

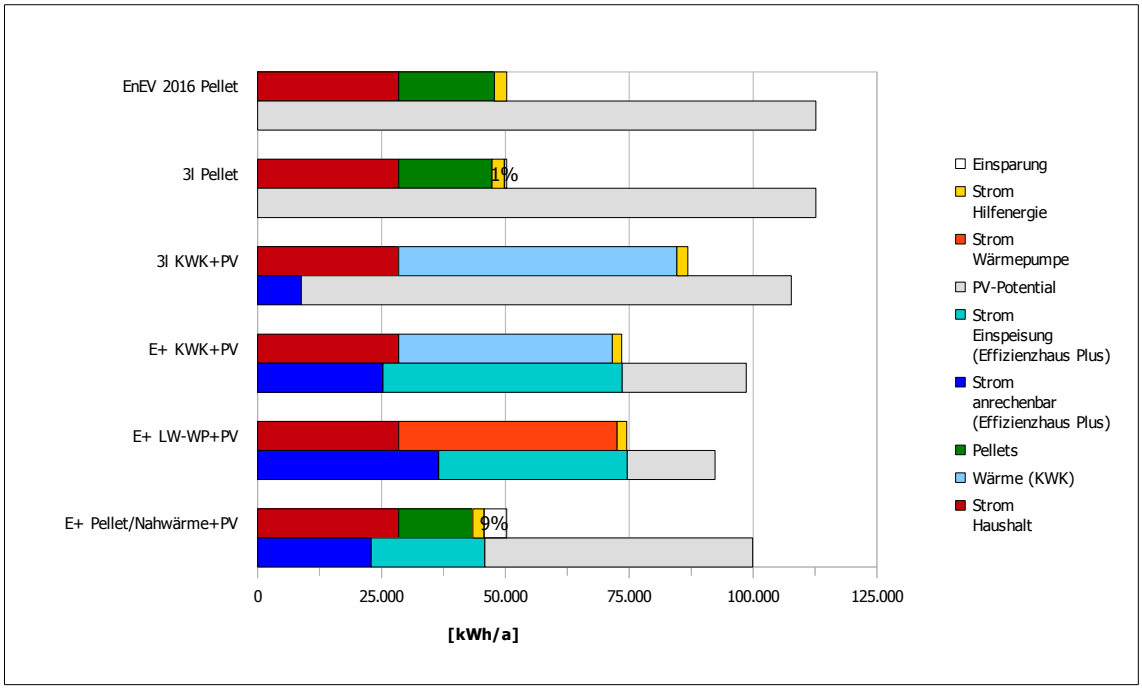


Abbildung 20: Primärenergiebedarf MFH H-02

	absoluter Primärenergiebedarf in [kWh/a]	spezifischer[1] Primärenergiebedarf in [kWh/(m²a)]
Referenzgebäude $EnEV_{2016}$	61.900	60
$EnEV_{2016}$ Pellet	21.800	21
3l Pellet	21.300	21
3l KWK+PV	56.500	55
E+ KWK+PV	43.100	42
E+ LW-WP+PV	24.300	23
E+ Pellet/Nahwärme+PV	14.900	14

1) bezogen auf Gebäudenutzfläche A_N von 1035 m²

Tabelle 16: Primärenergiebedarf MFH H-02

Mehrkosten in [€]

	3l Pellet	3l KWK+PV	E+ KWK+PV	E+ LW-WP+PV	E+ Pellet/Nahwärme+PV
Gebäudehülle					
Außenwand	3.100	3.100	16.000	16.000	16.000
Kelleraußenwand					
Kellerbodenplatte					
Dach	3.300	3.300	10.000	10.000	10.000
Kellerdecke			3.600	3.600	3.600
Kellerinnenwand			1.100	1.100	1.100
Fenster			30.000	30.000	30.000
Wärmebrückenberechnung			5.000	5.000	5.000
Gebäudetechnik					
Wärmeerzeugung		-27.000	-27.000	8.200	
Schornstein				-4.500	
Solaranlage					
Verteilung und Übergabe				16.000	
Lüftungsanlage					
Summe Gebäude	6.500	-20.000	39.000	85.000	66.000
Fotovoltaik		8.600	57.000	61.000	37.000

Tabelle 17: Mehrkosten MFH H-02 gegenüber Variante „EnEV$_{2016}$ Pellet“

Anhang C Berechnungsergebnisse Mehrfamilienhaus D-02

spezifischer Transmissionswärmeverlust H'$_T$ in [W/(m²K)]

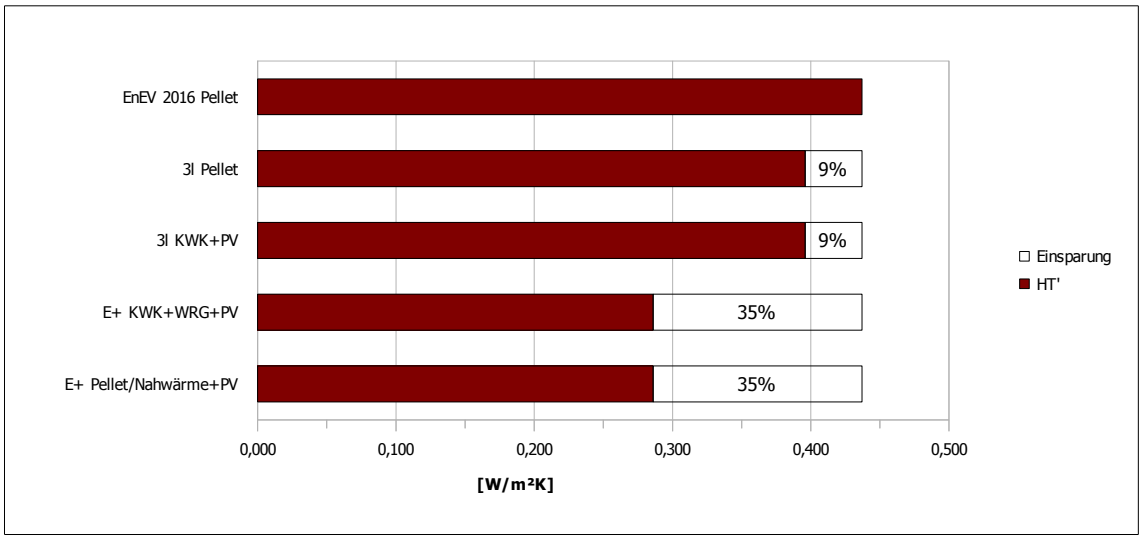


Abbildung 21: Spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T' MFH D-02

Heizwärmebedarf in [kWh/a)]

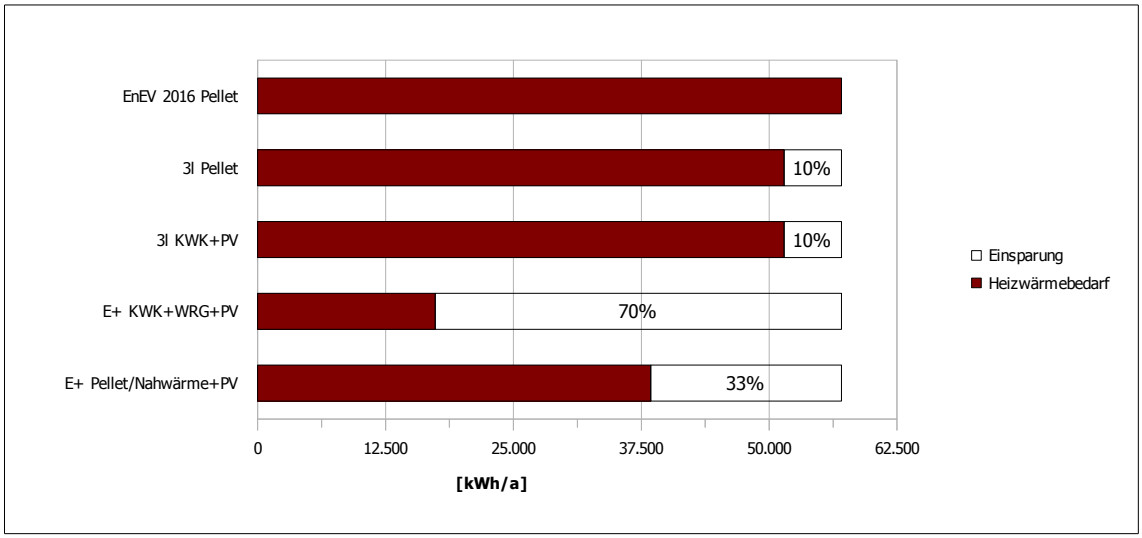


Abbildung 22: Heizwärmebedarf MFH D-02

Wärmeenergiebedarf in [kWh/a)]

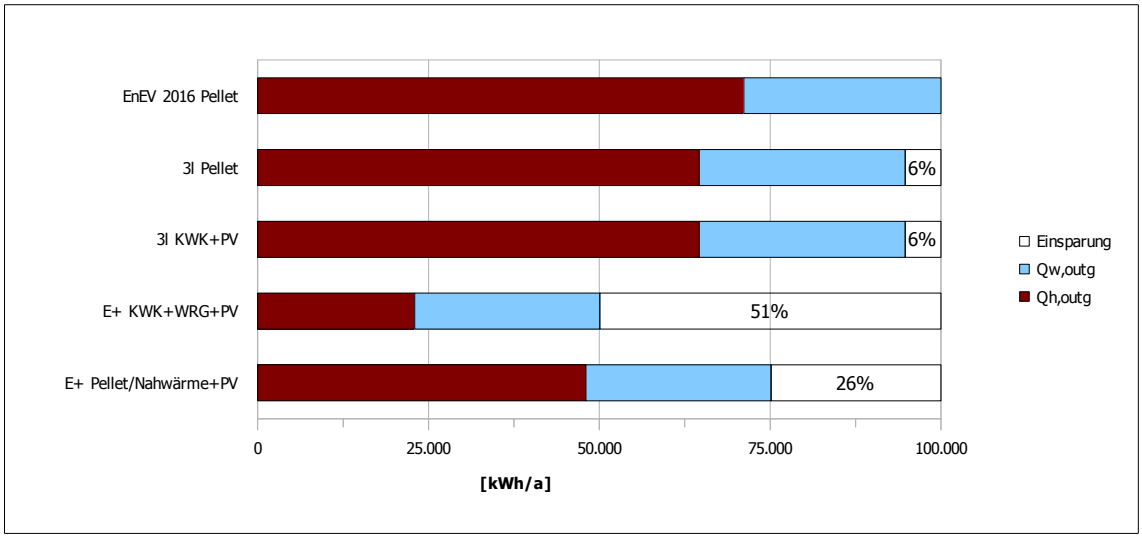


Abbildung 23: Wärmeenergiebedarf MFH D-02

	absoluter Wärmeenergiebedarf in [kWh/a]	spezifischer[1] Wärmeenergiebedarf in [kWh/(m²a)]	Gebäudeeffizienzklasse $EWärmeG_{2015}$
$EnEV_{2016}$ Pellet	101.000	71	C
3l Pellet	94.800	66	C
3l KWK+PV	94.800	66	C
E+ KWK+WRG+PV	50.100	35	A
E+ Pellet/Nahwärme+PV	75.100	53	B

1) bezogen auf Gebäudenutzfläche A_N von 1.430 m²

Tabelle 18: Wärmeenergiebedarf Gebäudeeffizienzklasse MFH D02

Endenergiebedarf in [kWh/a)]

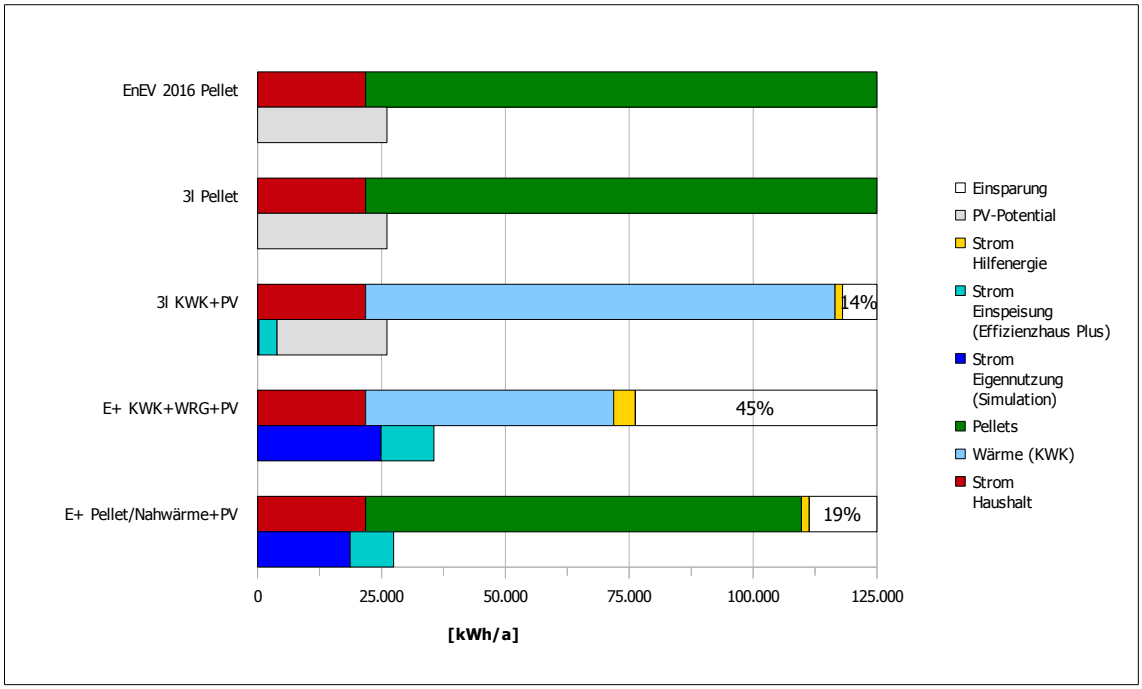


Abbildung 24: Endenergiebedarf MFH D-02

	absoluter Endenergiebedarf in [kWh/a]	spezifischer[1] Endenergiebedarf in [kWh/(m²a)]	Energieeffizienzklasse $EnEV_{2014}$
$EnEV_{2016}$ Pellet	116.000	81,0	C
3l Pellet	109.000	76,0	C
3l KWK+PV	95.000	67,0	B
E+ KWK+WRG+PV	50.800	36,0	A
E+ Pellet/Nahwärme+PV	88.000	62,0	B

1) bezogen auf Gebäudenutzfläche A_N von 1.430 m²

Tabelle 19: Endenergiebedarf Energieeffizienzklasse MFH D-02

Primärenergiebedarf in [kWh/a)]

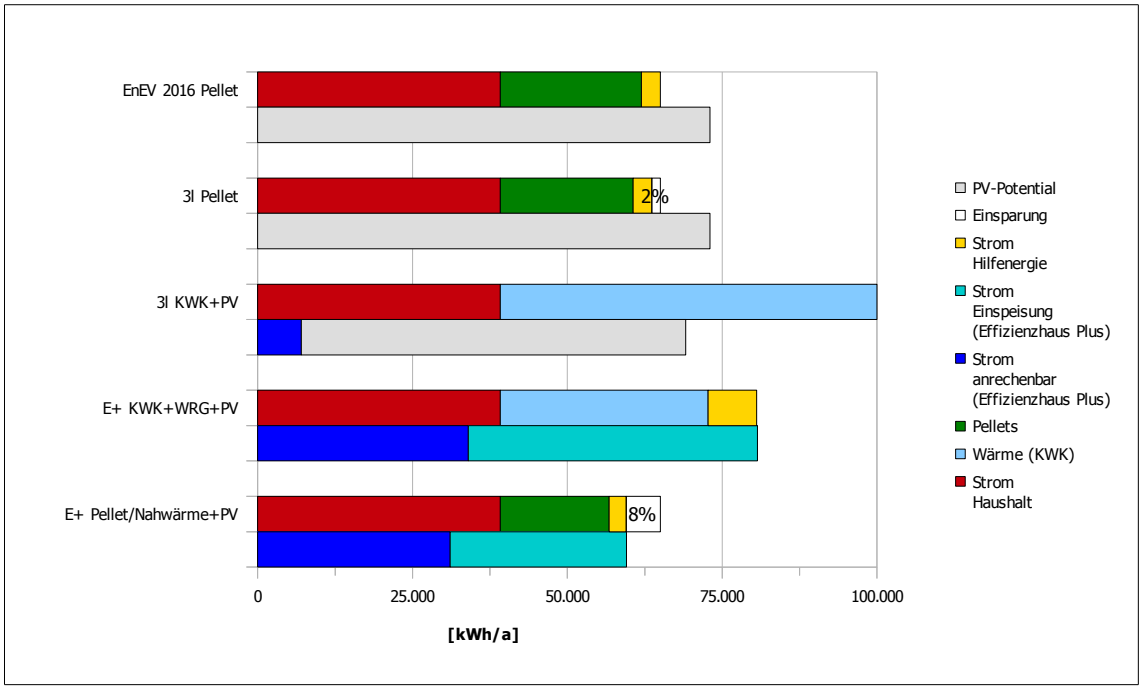


Abbildung 25: Primärenergiebedarf MFH D-02

	absoluter Primärenergiebedarf in [kWh/a]	spezifischer[1] Primärenergiebedarf in [kWh/(m²a)]
Referenzgebäude $EnEV_{2016}$	75.600	73
$EnEV_{2016}$ Pellet	25.800	25
3l Pellet	24.500	24
3l KWK+PV	64.100	62
E+ KWK+WRG+PV	34.900	34
E+ Pellet/Nahwärme+PV	17.700	17

1) bezogen auf Gebäudenutzfläche A_N von 1430 m²

Tabelle 20: Primärenergiebedarf MFH D-02

Mehrkosten in [€]

	3l Pellet	3l KWK+PV	E+ KWK+WRG+PV	E+ Pellet/Nahwärme+PV
Gebäudehülle				
Außenwand	9.800	9.800	30.000	30.000
Kelleraußenwand	0	0	0	0
Kellerbodenplatte	0	0	0	0
Dach	12.000	12.000	12.000	12.000
Kellerdecke	780	780	3.100	3.100
Kellerinnenwand	450	450	450	450
Fenster	0	0	43.000	43.000
Wärmebrückenberechnung	0	0	5.000	5.000
Gebäudetechnik				
Wärmeerzeuger	0	-32.000	-32.000	0
Schornstein	0	0	0	0
Solaranlage	0	0	0	0
Verteilung und Übergabe	0	0	0	0
Lüftungsanlage	0	0	51.000	0
Summe Gebäude	23.000	-9.600	112.000	93.000
Fotovoltaik	0	6.900	63.000	49.000

Tabelle 21: Mehrkosten MFH D-02 gegenüber Variante „$EnEV_{2016}$ Pellet“