

PILOTPROJEKT FÜR EINE ENERGIEEFFIZIENTE BAULEITPLANUNG



**BEBAUUNGSPLAN
NR.: 4346**
FÜR EIN GEBIET NÖRDLICH DER
STRASSE "AM BRÜCKWEG" UND
ÖSTLICH DER SECKENDORFSTRASSE

NÜRNBERG KORNBURG-NORD

Inhaltsverzeichnis

Teil 1 Städtebauliche Optimierung

1. Empfehlungen zum Gesamtkonzept	2
2. Städtebauliche Optimierung nach energetischen Parametern	4
3. Städtebauliche Kenngrößen und Festsetzungen	8
4. Empfehlungen zur Optimierung des Städtebaus	10
5. Energieeffiziente Optimierung der Haustypen	15
6. Verschattungssimulation und Optimierung der städtebaulichen Konzeption	22
7. Rechnerische Auswertung des Bebauungsvorschlags	36
8. Empfehlungen zur städtebaulichen Optimierung	40
9. Optimierungsschritte und ihre Festsetzungen	41

Teil 2 Optimierung der Wärmeversorgung

1. Grundlagenermittlung	42
2. Vergleich von Wärmeversorgungsvarianten	43
3. Entwicklung eines Gesamtkonzepts aus Sicht der Wärmeversorgung	55

Teil 3 Anhang - Definitionen

1. Definition der Begriffe	58
2. Definition von Standards	63

1. Empfehlungen zum Gesamtkonzept

Für das Baugebiet Kornburg-Nord wurde in einem Pilotprojekt ein zukunftsweisendes Energiekonzept entwickelt.

Besonders ist dabei, dass zu einem früheren Zeitpunkt des Bebauungsplanverfahrens von der Stadt die Gelegenheit ergriffen wurde, den Entwurf energetisch zu prüfen, zu optimieren und die Fragen nach einer energetisch intelligenten Versorgung vorab zu prüfen.

1.1 Städtebauliche Optimierung

Das Ergebnis der Verschattungssimulation zeigt, dass die Gebäude in verdichteter Bauweise in der zweiten und dritten Reihe komplett verschattet sind. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer veränderten Positionierung dieser Gebäudetypologie.

Wir schlagen vor, sie in Ost-West-Richtung am westlichen Quartiersrand zu positionieren und an ihrer Stelle Einzel- und Doppelhäuser vorzusehen.

Im westlichen Quartier 1 schlagen wir vor, die Typologie eines hochverdichteten zweigeschossigen Gartenhofhauses vorzusehen.

Die energetische Auswertung dieses Haustyps ist äußerst günstig, da seine solaren Einträge über den verglasten Innenhof unverschattet in die Bilanz eingehen.

Die Verbesserungen der im Bebauungsplan festgeschriebenen Festsetzungen der Gebäudetrauf- und Firsthöhen, der Erdgeschossfußbodenhöhen und der Dachformen sind aus energetischer Sicht zu überarbeiten.

Das stark geneigte Satteldach verursacht nicht nur ein schlechtes A/V-Verhältnis sondern verschattet auch durch die große Firsthöhe dahinterliegende Gebäude.

Insgesamt konnte durch die städtebauliche Optimierung eine Reduktion des Jahresheizwärmebedarfs von 7% erreicht werden. Dies bedeutet eine Reduktion des CO₂-Ausstoßes um 56 t/a.

Weitere erhebliche Energieeinsparungen können durch die Festlegung des Standards KfW 60 / KfW 40 oder Passivhaus erreicht werden. Längerfristig sind durch den stetigen Anstieg der Energiekosten verbesserte Standards wirtschaftlich.

Die energetische Optimierung der Bauqualität stellt ein großes Potential für die Reduktion des Jahresheizwärmebedarfs dar. Die Wärmebrückenfreiheit und die genaue Festlegung der Wärmedämmebene bei Gebäuden mit Keller ist in energieeffizienten Gebäudeanlagen unverzichtbar. Die Maßnahmen können jedoch nicht in einem B-Plan rechtlich verankert werden. Hier bleibt nur der Weg einer vertraglichen Vereinbarung bei der Veräußerung der Liegenschaften.

Die Erfahrung bei vergleichbaren Anlagen zeigt, dass eine qualitative Überprüfung durch ein unabhängiges Institut notwendig ist und wenn der Mehraufwand für den Käufer durch einen Nachlass am Grundstückspreis ausgeglichen wird, erzeugt dies einen großen Motivationschub.

1.2 Energiestandards und Anwendung

Die Festlegung von Energiestandards ist ein wichtiger Schritt in Richtung einer innovativen und zukunftsorientierten Bauweise und Wärmeversorgung. Er schreibt keine bestimmten Technologien, sondern nur ein Ziel vor.

Wir empfehlen den KfW 60-Standard als Mindestanforderung für das Gesamtgebiet festzulegen. Folgende Gründe sprechen dafür:

- Die Wärmeschutzmaßnahmen (HT') zum Erreichen des KfW 60-Standards sind mit vertretbarem Aufwand umsetzbar.
- Momentan ist eine Verschärfung der EnEV in der Diskussion, wodurch sich der Mehraufwand gegen über den gesetzlichen Mindestanforderungen in einigen Jahren ohnehin reduziert.
- Die Primärenergie-Anforderungen des KfW 60-Standards sind mit einer Reihe von Technologien umsetzbar, sowohl dezentral als auch zentral.
- Eine zentrale Versorgung ist dabei kostengünstiger zu realisieren als dezentrale.

Für die Ausführung eines innovativen Quartiers empfehlen wir, für dieses den KfW 40-Standard festzulegen.

1.2 Optionen der Wärmeversorgung

Auf den ersten Blick erscheint die zentrale Versorgung der Reihenhäuser als die bevorzugte Variante. Jedoch würde dies bedeuten, dass die Einzel- und Doppelhäuser von einer zentralen Versorgung abgeschnitten und auf die teurere dezentrale Umsetzung der Anforderungen angewiesen wären.

Im Zuge eines Gesamtkonzepts ist es günstiger, größere Versorgungseinheiten zu bilden, womit alle Gebäude zu erfassen sind. Die Größe dieser Einheiten ist von der vorgesehenen Abfolge und Geschwindigkeit der Aufsiedlung und der geplanten Größe der Bauabschnitte abhängig. Dies schließt nicht aus, dass in Einzelfällen auch kleine Versorgungsinseln für eine Reihenhäuserzeile sinnvoll sein können.

Die Versorgungseinheiten sollten nicht zu groß gewählt werden. Damit wird gewährleistet, dass

- die Vorfinanzierungskosten für das Wärmenetz und die Heizzentralen in Grenzen gehalten werden,
- mit fortschreitender Entwicklung der Technik in einigen Jahren neue Technologien eingesetzt werden können (z.B. Stromerzeugung mit Biomasse).

Wahl des Energieträgers:

Um die KfW 60 oder KfW 40 Anforderungen sicher zu erreichen, ist der Einsatz eines BHKWs oder eines Pelletskessels zu empfehlen.

Die Empfehlungen basieren auf dem gegenwärtigen Stand der Technik und der aktuellen Energiepreissituation. Um auf zukünftige technische Entwicklungen, auf Änderungen des Energiepreisgefüges sowie auf neue Förderprogramme reagieren zu können, sollten die Vorgaben nicht starr für das gesamte Baugebiet vorgegeben werden. Nur durch eine Anpassung der energetischen Anforderungen kann der innovative Charakter des Gebiets auch in Zukunft sichergestellt werden.

2. Städtebauliche Optimierung nach energetischen Parametern

Das Untersuchungsdesign sieht vor, in einem ersten Schritt, die maximale Bebaubarkeit durch die im Bebauungsplan definierten Festsetzungen zu ermitteln.

In einem Iterationsprozess werden Verschattungssimulationen und verbesserte Gebäudegeometrien wechselseitig untersucht.

2.1 Berechnungsmodell für Kornburg-Nord

Das Berechnungsmodell basiert auf Annahmen über eine größtmög-

liche Bebauung, die der Bebauungsplan mit den textlichen Festsetzungen zulässt. Für die jeweiligen Gebäudetypologien wurden Gebäudegeometrien entwickelt, die einer mögliche Bebauung entsprechen. Die Geometrie bestimmt sich über die zulässige Dachform, die zulässige Sockelhöhe und der gemittelten überbaubaren Grundstücksflächen der jeweiligen Gebäudetypologien.

Dieses Ausgangsmodell erfüllt die EnEV Anforderungen an H_T^+ , durch dieses Untersuchungsdesign können Rückschlüsse auf die Optimierung der neuen Gebäudeformen und deren Heizwärmebedarf gezogen werden. In den weiteren Schritten wird die Auswirkung der Formveränderung, der Dämmebenenänderung und die Veränderung des Energiestandards auf den Heizenergiebedarf untersucht.

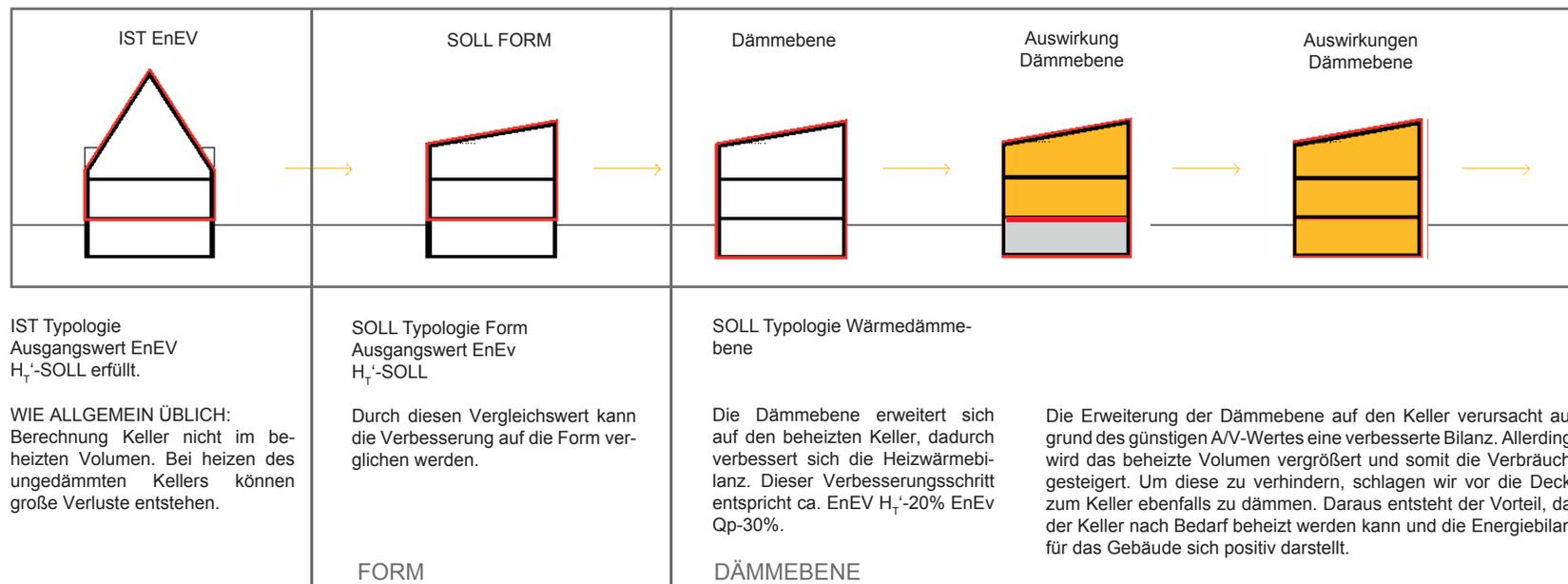


Abb. 1
Berechnungsmodell Optimierungsschritte

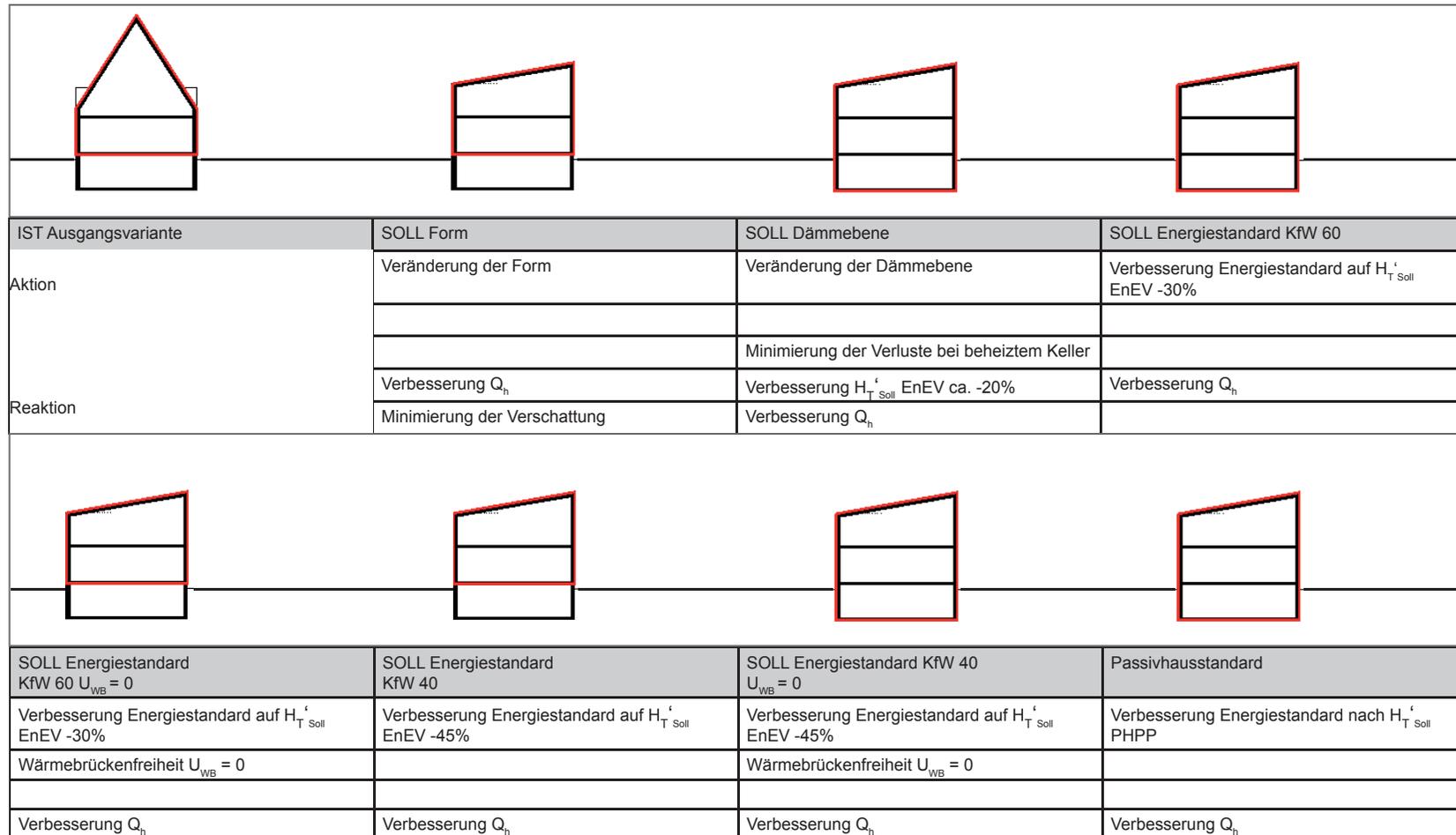


Abb. 2
Berechnungsmodell Optimierungsschritte

2.2 Städtebauliche Positionierung von Reihenhäusern

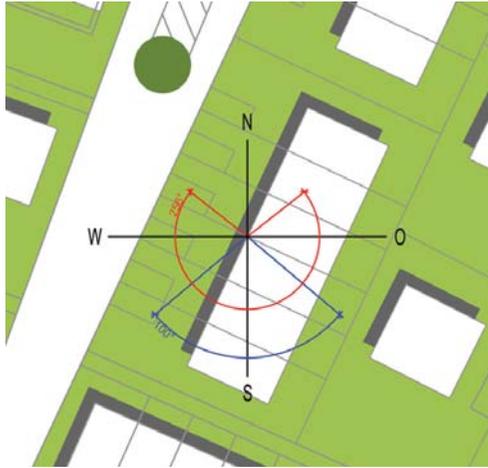


Abb. 3, Besonnung RH Ost-West

Die städtebauliche Positionierung von schmalen Reihenhäusern ist nur dann sinnvoll, wenn die Gebäudetypologie eine Orientierung der Wohn- und Schlafräume nach Süden zulässt. Aus dieser Schlussfolgerung sollte das südorientierte Gebäude eher breit als tief zugeschnitten werden. Die Orientierung der Reihenhausezeilen nach Ost-West bringt eine durchgehende Besonnung der Räume mit sich. Die Typologie kann eher schmal ausgeführt werden, da die Räume sich nach Osten und Westen orientieren können. Durch die schmale Grundgeometrie entsteht ein besseres A/V Verhältnis. Für Ost-West orientierte Gebäudehauszeilen entsteht im Winter eine durchgehende Besonnung, in den Sommermonaten wird eine Überhitzung der Räume reduziert. Diese Orientierung stellt sich für diese Gebäudetypologie als sehr vorteilhaft dar.



Abb. 4, Geometrie RH Nord-Süd

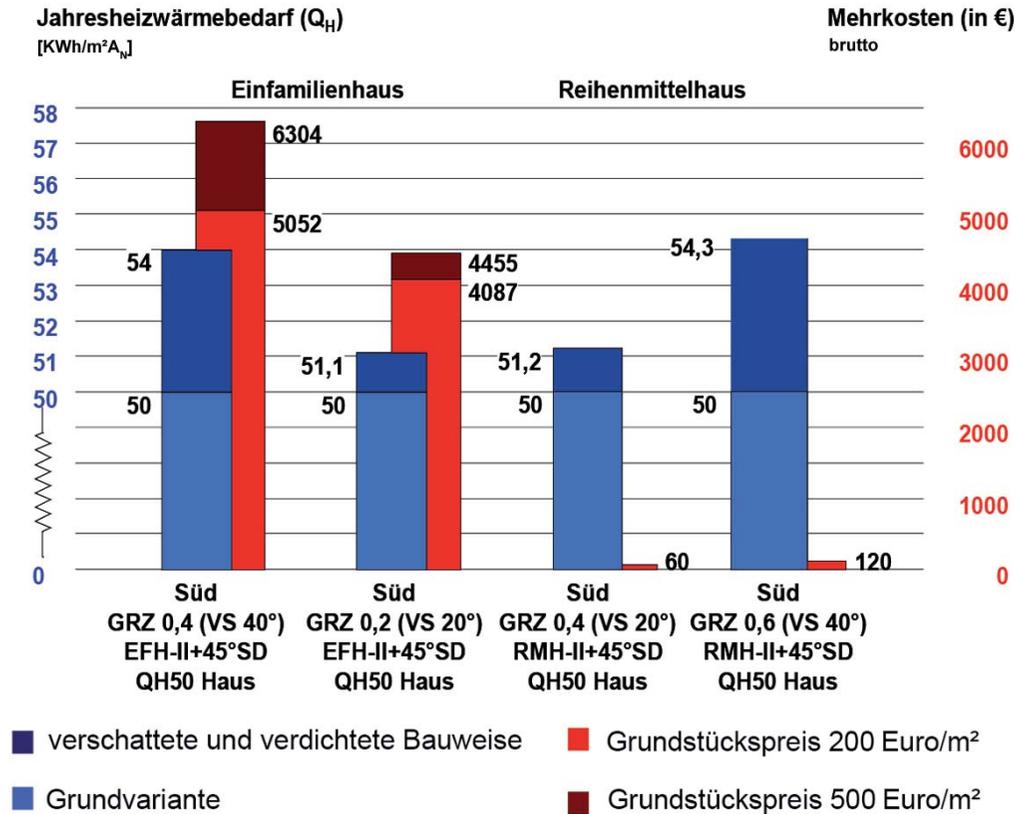


Abb. 5, Verschattung RH O-W

Durch die städtebauliche Positionierung der Reihenhaustypologien nach Ost-West reduziert sich die Verschattung gegenüber einer südorientierten Reihenhausezeile. Sehr lange Gebäudegeometrien die sich mit der Schmalseite nach Süden wenden, fallen im Schattenwurf weitaus minimaler aus, als Gebäude die sich mit der Breitseite nach Süden orientieren. Ost-West orientierte Gebäude können aus dieser Schlussfolgerung heraus dichter zusammengestellt werden und wirken sich weniger negativ auf die umgebende Bebauung aus. Die Gebäudezeilen können von der Geschossigkeit höher angesetzt werden als südorientierte Gebäude, da diese einen weitgefächerten Schattenwurf aufweisen. Gebäudezeilen die sich nach Süden orientieren sollten bei einer verdichteten Bebauung eher breiter und niedriger ausgeführt werden um die Verschattung auf die gegenüberliegende Bebauung zu reduzieren.



Abb. 6, Verschattung RH N-S



Reihenhäuser sind immuner gegen Fehlorientierung und Verschattung. Zwar wirken sich diese Faktoren ungünstig auf die Heizwärmebilanz aus, es entstehen jedoch keine nennbaren Kosten für zusätzliche Dämmmaßnahmen. Durch den geringen Außenwandanteil pro Wohneinheit lässt sich der Mehraufwand pro Wohneinheit sehr kostenneutral kompensieren. Aus dieser Erkenntnis heraus lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass Reihenhäuser nicht auf bevorzugte Grundstückssituationen mit einer Südorientierung angewiesen sind. Reihenhäuser können höher verdichtet angeordnet werden, woraus ein doppelter ökologischer Effekt entsteht; geringerer Flächenverbrauch und reduzierte CO₂ Emissionen.

Abb. 7
Mehraufwand an Jahresheizwärmebedarf durch Veränderung der GRZ am Q_n50-Haus als Einfamilienhaus freistehend und Reihemittelhaus. Die Mehrkosten entstehen durch bauliche Verbesserung und durch erhöhten Grundstücksmehrbedarf
Quelle: G.A.S. 2002

3. Städtebauliche Kenngrößen und Festsetzungen

3.1 Siedlungsstruktur

Der Kontext in dem ein Gebäude steht bestimmt das nutzbare solare und energetische Potenzial. In der Siedlungsplanung werden die Grundsteine für energieeffiziente Architektur gelegt. Komplexe Zusammenhänge wie Verschattung und solare Einträge, Verkehr, Lärm, städtebauliche Anbindung, Dichte, benachbarte Bebauung und Wärmeversorgung müssen in das Konzept miteingearbeitet werden. Die Faktoren müssen im Zusammenhang behandelt werden und sind nicht monokausal einzeln zu optimieren. In der städtebaulichen Planung wird durch diese Faktoren die Struktur der Bebauungsdichte und die Bebauungsorientierung festgelegt. Im Zusammenhang mit diesen Parametern wird durch die interne und externe Erschließungsplanung, die Parkierungen und die Freiflächenplanung ein integrales Konzept erarbeitet. Im städtebaulichen Kontext haben energetische Überlegungen andere Dimensionen. Die städtebaulichen Entscheidungen beeinflussen stark das Nutzerverhalten bezüglich der passiven Sonnennutzung, somit werden in der strukturellen Anordnungen die Grundsteine für Energie und Qualität gelegt.

3.2 Bebauungsdichte

In der ökologischen Stadtplanung ist eher eine höhere Dichte anzustreben. Reihenhäuser, Mehrfamilienhäuser etc. sind durch die Flächenausnutzung und die Kompaktheit effizienter als Einfamilienhäuser. Jedoch sollte die Wohnqualität nicht außer Acht gelassen werden. Die Anforderungen und Bedürfnisse müssen abgestimmt werden. Die erreichbare Dichte ist im Wesentlichen auch abhängig von der Verschattung der Gebäude und der Topographie und der damit verbundenen Anforderung an die Abstände. Die Formentwicklung des Gebäudes

ist prägend für die Schattenbildung. Für eine Festlegung der Kriterien kann ein Verschattungsdiagramm erstellt werden. Der Sonnenstand in Deutschland bei 48° Breitengrad erreicht am 21. Dezember um 12 Uhr mit einem Einstrahlwinkel von ca. 18°.

3.3 Verschattung

Die Verschattung von Gebäuden durch Nachbargebäude, Bäume und Topographie mindert die solaren Energiegewinne.

Als Richtwerte in der strukturellen Siedlungsplanung lassen sich folgende Pauschalwerte festlegen.

Verschattung durch Nachbargebäude:

Dichte Bebauung führt oft zu einer Reduzierung des solaren Potentials. Die Verschattungswirkung ist dabei abhängig vom Abstand der schattenwerfenden Kante und der Höhe des Nachbargebäudes.

Verschattungsgrad bei Einzelgebäuden:

Bei Einzelgebäuden ist der Verschattungsgrad vom A/H-Verhältnis, von der Länge der Baukörper und dem Abstand der Gebäude abhängig. Als Kennwert sollte das A/H-Verhältnis mindestens das 2,4-fache der Gebäudehöhe sein.

3.4 Form der Gebäude

In der Bauleitplanung wird die Kompaktheit der Gebäudeformen durch Festsetzungen beeinflusst. Dabei ist die Definition der Dachformen, der Geschossflächenzahl (GFZ) und der Grundflächenzahl (GRZ) wesentlich. Für die Geometrie der Gebäude und deren Ausformung ist die Ausgestaltung der Baufenster mit Baulinie und Baugrenze verantwortlich.

Letztendlich ist die Form der Gebäude mitverantwortlich für den Verschattungsgrad der gegenüberliegenden Fassaden.



Abb. 8
Bebauungsplan IST
Kornburg Nord, Nürnberg, 2007

3.5 Parameter energieeffizienter Bauleitplanung

Durch gezielte Festsetzungen in der Bauleitplanung werden die Grundsteine energieeffizienter Architektur gelegt. Durch Festsetzungen können solare Gewinne maximiert werden, und Verluste über die Gebäudeform minimiert werden.

Wesentliche Parameter energieeffizienter Bauleitplanung sind:

3.5.1 Überbaubare Grundstücksflächen (BauNVO §23)

Baulinien, Baugrenzen und Bebauungstiefen bestimmen über verschattungsrelevante Gebäudeabstände und über die spätere Orientierung, darüber hinaus werden die Grundvoraussetzungen für die Kompaktheit gelegt.

3.5.2 Höhe baulicher Anlagen (BauGB § 18)

Durch Festlegungen bezogen auf die Traufhöhe, Firsthöhe und Dachneigung wird die Verschattung im wesentlichen beeinflusst.

3.5.3 Bauweise (BauNVO § 22)

Die Festlegung der Bauweise bestimmt über die Kompaktheit der Gebäudetypen.

3.5.4 Stellung der baulichen Anlagen (BauGB § 9 (1))

Durch Festsetzungen der Stellung baulicher Anlagen wird über das Grundpotenzial passiv solarer Energienutzung bestimmt.

3.6 Städtebaulicher Vertrag

In städtebaulichen Verträgen kann der Handlungsspielraum bezüglich der Festlegung energetischer Standards erweitert werden. Durch einen

Vertrag zwischen Bauwilligen und Gemeinden können Maßnahmen bezüglich des Wärmeschutzes, der Nutzung regenerativer Energien vereinbart werden etc. (BauGB & 11). Die vertraglichen Leistungen müssen den Umständen angemessen sein.

3.7 Private Kaufverträge für kommunales Bauland

Eine große Vertragsfreiheit bietet ein privater Kaufvertrag nach BGB zwischen dem Bauherren und der Gemeinde als Grundstückseigentümer. Es können vertragliche Festsetzungen bezüglich

- eines festgesetzten Energiestandards
- maximalen Wärmedurchgangskoeffizienten einzelner Bauteile
- Wärmebrückenfreier Ausführung der Konstruktion
- maximale Emissionswerte der Heizungsanlagen
- Anforderungen an die Dämmebene

geregelt werden. Dabei können Nachweis und Berechnungsverfahren vereinbart werden.

4. Empfehlungen zur Optimierung des Städtebaus

4.1 Erläuterung des bestehenden Entwurfs

Der städtebauliche Entwurf weist eine fingerartige Struktur auf, die sich in nördliche Richtung erstreckt und in die freie Landschaft mündet. Die einzelnen Finger entwickeln sich aus dem Erschließungssystem, das durch das Aufgreifen von vorhandenen Wegebeziehungen und einer zur Straße „Am Bruckweg“ hin orthogonalen Anordnung entstanden ist. Die Strassen sollen als Mischverkehrsflächen ausgestaltet werden und dienen als Verbindung eines in Ost-West-Richtung geplanten Fuß-

und Radwegs am nördlichen Ortsrand. Darüber hinaus soll von der Straße „Am Bruckweg“ generell keine Erschließung von Einzelhäusern erfolgen. Durch die gewählte Erschließungsform ist außerdem eine abschnittsweise Realisierung des Baugebietes gegeben.

Mit der Ausweisung von Einfamilien-, Doppelhäusern und Hausgruppen soll insbesondere ein Angebot zur Schaffung von Wohneigentum gemacht werden, um dem Trend der Abwanderung junger Familien ins Umland entgegen zu wirken. Die Ortsränder sollen als deutliche Übergänge vom Siedlungsraum zur freien Landschaft ausgestaltet werden.

Der städtebauliche Anspruch an eine ruhige und nach einheitlichen Gestaltungsgrundsätzen gebaute Dachlandschaft kollidiert oftmals mit den Interessen der Bauherren nach einer maximalen Raumausnutzung und dem Wunsch nach individueller Ausgestaltung. Eine beliebige Ansammlung aller denkbaren Dachgestaltungen soll durch die Festsetzung jedoch verhindert werden, vielmehr sollen die Gebäude bzw. Häuserzeilen sich ohne weiteres als „herkömmlich“ oder „modern“ durch den Betrachter einordnen lassen. In den allgemeinen Wohngebieten wird deshalb bei geneigten Dächern generell gemäß § 2 Nr. 5.6 der Satzung die Kniestockhöhe auf maximal 50 cm begrenzt.

4.2 Empfehlungen zur Optimierung des Entwurfs

Der städtebauliche Entwurf überzeugt durch ein klares und gut strukturiertes Grundkonzept, das jedoch durch eine eher unklare Positionierung der Gebäude verzerrt wird. Des Weiteren gibt es in Nord-Süd-Richtung eine Steigerung der Geschossigkeit und der Dichte, die zu einer starken Verschattung der nördlich stehenden Häuser führen wird. Außerdem ist eine Art städtebauliches Rückgrat entlang der Strasse „Am Bruckweg“ aufgefallen, welches aus einer Kette von Reihenhäusern besteht, die aber leider nicht über die gesamte Länge des Plangebietes fortgeführt wurden.

Unsere Empfehlung verfolgt nun das Ziel, das fingerartige und überzeugend klar strukturierte städtebauliche Grundkonzept aufzugreifen, durch

eine Neuordnung der Gebäude energetisch zu optimieren und zudem den Entwurf zu schärfen. Dieser Prozess soll unter größtmöglicher Wahrung der eigentlichen Entwurfsgedanken, der Anzahl der Wohneinheiten und der Anteile an Gebäudetypen geschehen.

4.3 Reihenhäuser

Unser Vorschlag ist es, das Rückgrat des Entwurfes durch das Verschieben von Reihenhäusern zu kräftigen und zudem ein markantes Ende des inneren zentralen Bereiches zu setzen. Dadurch erreicht man außerdem eine Stärkung der fingerartigen Struktur und befreit die in den stark verschatteten Räumen positionierten Reihenhäuser aus ihrer ungünstigen Lage.

Dafür empfehlen wir eine neue Positionierung der nördlichen Reihenhäuser an der östlichen Seite der Erschließungsstrassen. Hierbei kommt es zu einer Drehung der Gebäude in eine Ost-West-Ausrichtung, die jedoch aus energetischer Sicht keine große Veränderung mit sich bringt. Denn Reihenhäuser sind wegen ihrer geringen Außenfläche relativ unempfindlich gegen eine Verdrehung. Auch die Wohnqualität wird dadurch nicht verschlechtert. Durch die Ost-West-Ausrichtung erhält das Reihnhaus eine beidseitige Belichtung und hat im Sommer keine Überhitzung der sonst rein südorientierten Terrasse zur Folge. Durch diese Umstrukturierung entsteht in jedem Abschnitt ein U-förmiger Rahmen aus Reihenhäusern, in den sich die Einzel- und Doppelhäuser einstreuen. Um nun diese inneren Bereiche mit Licht zu füllen und den Häusern zusätzlich ein möglichst gutes A/V-Verhältnis zu geben, wurden die Geschossigkeiten und die Dachformen untersucht.

Aus der Untersuchung entstanden hauptsächlich **II-geschossige Haustypen mit einem Pultdach** (optional auch Flachdach). Die Reihenhäuser an der Strasse „Am Bruckweg“ wurden z.B. um ein Geschoss abgesenkt und mit einem **Pultdach 0°-10°** versehen. Wichtig ist hierbei, dass bei den Nord-Süd-Reihenhäusern der **First auf der Südseite** liegt, um den maximalen Sonnenlichteinfall in die hinteren Bereiche zu ermöglichen. Zusätzlich wird der innere Teil über den Frei-

raum, der im Einfahrtsbereich der Erschließungsstrasse und oberhalb der Stellplätze zwischen den einzelnen Reihenhäusern liegt, belichtet. Die Ost-West-Reihenhäuser hingegen haben ihre III-Geschossigkeit behalten, da sie beim Sonnenhöchststand nur einen sehr geringen Schatten verursachen. Lediglich das Dach wurde zu einem Pultdach 0° - 10° umgeformt, um den Verschattungsgrad nach Osten zu verringern. Aus diesem Grund muss der First bei diesen Häusern auf der Westseite liegen.

4.4 Einzel- und Doppelhäuser

Für die Einzel- und Doppelhäuser, die nicht an die nördliche Grünfläche angrenzen, wurde ebenfalls eine II-geschossige Bauweise mit einem Pultdach 0° - 10° festgelegt. Auch hier muss darauf geachtet werden, dass der First auf der Südseite liegt. Die Einzelhäuser, die an die Grünfläche angrenzen, wurden in Ihrer Form nicht verändert, da sie keine Verschattung von benachbarten Häusern verursachen können. Um aber ein einheitliches städtebauliches Bild für dieses Quartier zu schaffen, würde sich auch in diesem Fall die Festsetzung eines Pult-/Flachdaches anbieten.

Im Westen des Plangebietes schlagen wir einen Sondertypen in Form eines Gartenhofhauses vor. Diesen Vorschlag machen wir zum einen wegen der Lage der Gebäude neben dem Lärmschutzwall und zum anderen, um zu verdeutlichen, wie stark man den energetischen Faktor verbessern kann, wenn man einen speziellen Gebäudetyp dafür entwickelt.

Allgemein sollte nun noch die Traufhöhe bei den II-geschossigen Gebäuden auf 6,20 m und bei den III-geschossigen Gebäuden auf 9,20m limitiert werden, um eine Überhöhung der Geschosse zu verhindern. Des Weiteren sollte man eine maximale Sockelhöhe von drei Stufen bzw. 50 cm (EFH über Grund) anordnen.



Abb. 9
Bebauungsplan IST - Aufteilung der Typologien
Kornburg Nord, Nürnberg, 2007



- starke Verdichtung und Verschattung durch fehlplatzierte RH
- ▭ Unterbrechung der städtebaulichen Raumkante
- ~ Solarer Eintrag

- III Anstieg der Geschossigkeit und der Dichte in Richtung Süden
- SD Durch Satteldächer entstehen unnötig hohe Gebäudehöhen

Abb. 10 Bebauungsplan IST - Problemanalyse G.A.S., Stuttgart 2007

5. Energieeffiziente Optimierung der Haustypen

IST Haustypen

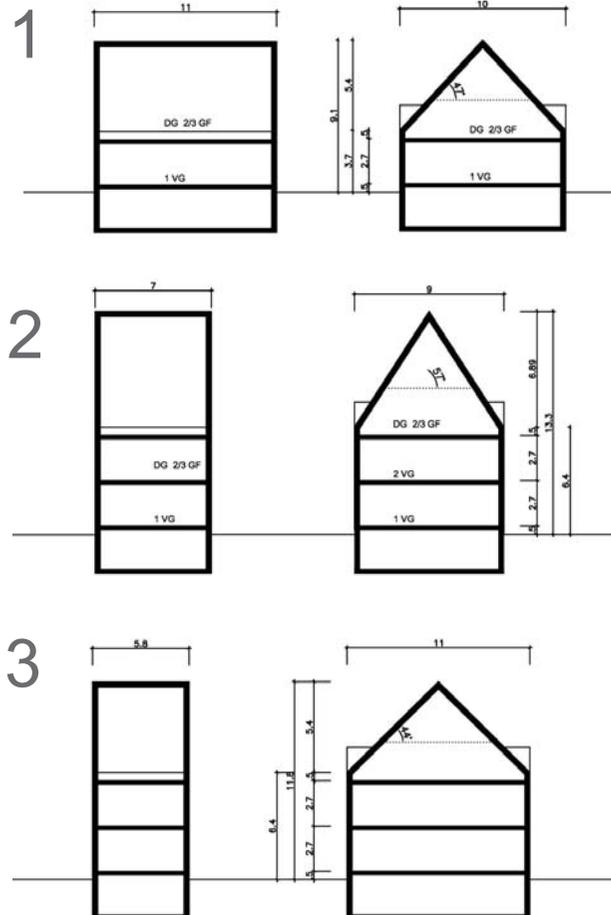


Abb. 11
Mögliche Haustypen nach B-Planentwurf IST
Kornburg Nord, Nürnberg, 2007

In den Teilbereichen, die neben der Festsetzung „I+D – Dachgeschoss als Vollgeschoss“ mit einem durchgehenden Firstpfeil oder mit der Signatur „SD - Satteldach“ gekennzeichnet sind, wird die Dachform als Satteldach mit einer Dachneigung zwischen 40° und 45° bestimmt. Dabei darf die Firsthöhe maximal 9,50 m über der der Bebauung an nächst gelegener Straßenoberkante betragen.

II Geschosse mit PD 0°-10° / FD und TH 6,20 m

In den übrigen Bereichen bestimmt die im Planteil getroffene Festsetzung „+ D – Dachgeschoss als Vollgeschoss“ darüber hinaus, dass es sich hierbei um ein weiteres Vollgeschoss handeln kann, das mit einem flacher als 40° oder steiler als 45° geneigten Dach versehen ist, und das maximal 2/3 der Fläche des darunter liegenden Geschosses aufweist.

II Geschosse mit PD 0°-10° / FD und TH 6,20 m

Innerhalb der höchstzulässigen III- geschossigen Bebauung darf das oberste zulässige Vollgeschoss entweder als Dachgeschoss oder als Terrassengeschoss errichtet werden. Die Grundfläche des Terrassengeschosses darf maximal 70 % des darunter liegenden Geschosses betragen.

III Geschosse mit PD 0°-10° / FD und TH 9,20 m

SOLL Haustypen

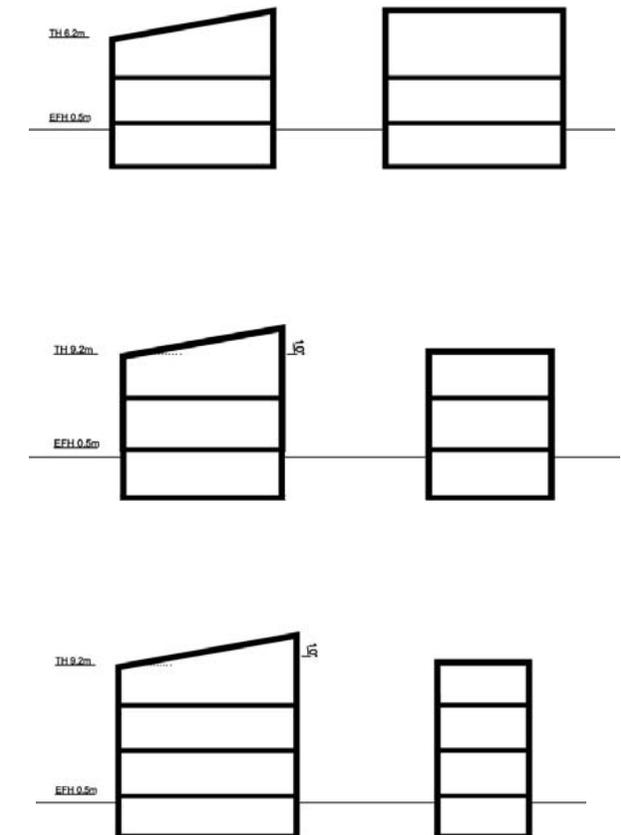


Abb. 12
Entwickelte Haustypen, Vorschlag
G.A.S., Stuttgart, 2007

5.1 Energieeinsparpotential durch typologische Veränderung der Hausgeometrien

Typologie 2 DH Vergleich IST / Optimierte FORM

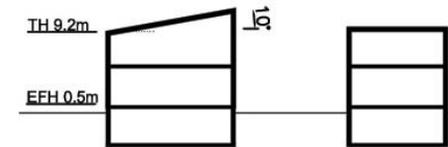
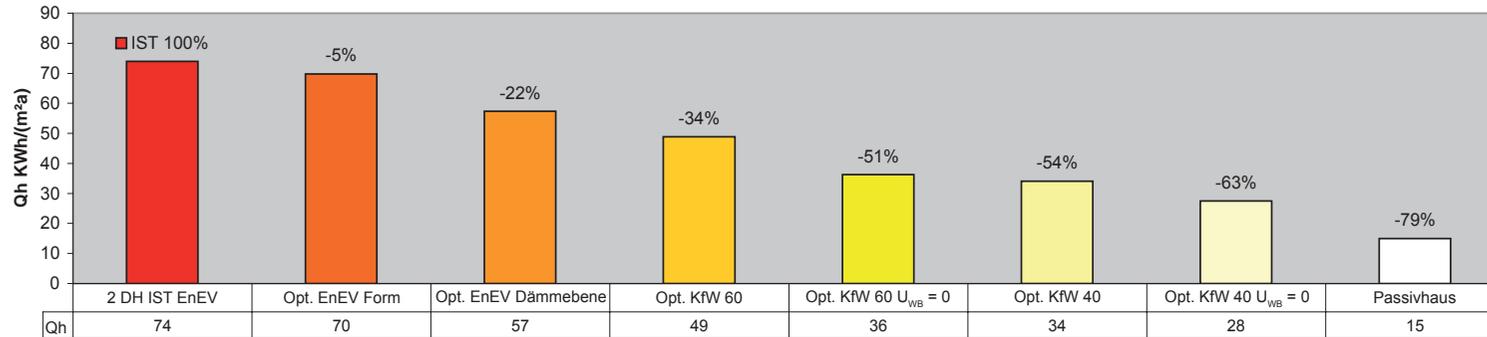


Abb. 13 Jahresheizwärmebedarf bezogen auf die Optimierung der Form, der Wärmedämmebene und der Energiestandards.
ANMERKUNG: Sockelgeschoss auf EFH + 0.5 m OK Gelände ist Grundlage. Bei Fehlen dieser Festsetzung sind bei Korrektur die Gewinnerträge um 3-4% höher.
G.A.S., Stuttgart 2007

Legende

IST Zustand nach EnEV H_T' SOLL
 SOLL neue Form EnEV H_T' SOLL
 SOLL neue Dämmebene entspricht ca. EnEV H_T' SOLL -20%
 SOLL KfW 60 Standard EnEV H_T' SOLL -30%

SOLL KfW 60 Standard Minimierung der Wärmebrücken U_{WB} = 0
 SOLL KfW 40 Standard H_T' SOLL -45%
 SOLL KfW 40 Standard Minimierung der Wärmebrücken U_{WB} = 0
 SOLL Passivhausstandard H_T nach PHPP

Typologie 3 RMH Ost / West Vergleich IST / Optimierte FORM

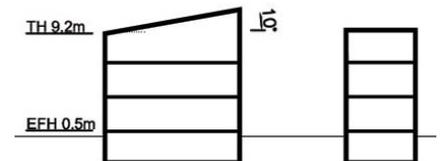
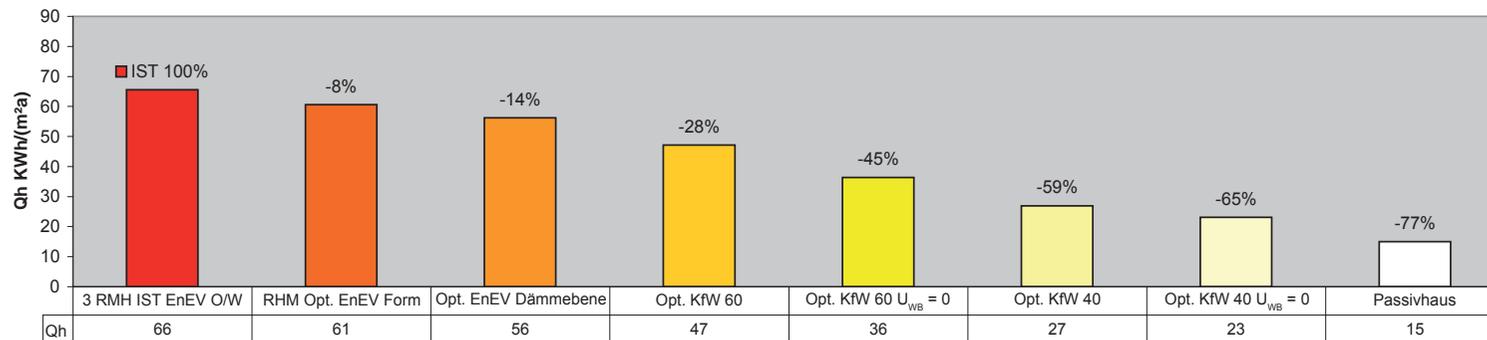


Abb. 14 Jahresheizwärmebedarf bezogen auf die Optimierung der Form, der Wärmedämmebene und der Energiestandards.
ANMERKUNG: Sockelgeschoss auf EFH + 0.5 m OK Gelände ist Grundlage. Bei Fehlen dieser Festsetzung sind bei Korrektur die Gewinnerträge um 3-4% höher.
G.A.S., Stuttgart 2007



- RH flankieren die aufgelockerten inneren Bereichen
- Schaffung von klaren räumlichen Kanten
- ~ Solarer Eintrag

- III die hohen Gebäude wurden in N/S-Richtung gedreht
- PD/FD max. Sonneneinfall durch flache Dächer

Abb. 15 Bebauungsplan SOLL - Konzept G.A.S., Stuttgart 2007



Abb. 16
 Bebauungsvorschlag SOLL - Verteilung der Typologien und Festsetzungen
 G.A.S., Stuttgart 2007



Abb. 17
Bebauungsvorschlag SOLL
G.A.S., Stuttgart 2007



Abb. 18
A/V Verhältnis Bebauungsplan IST
Kornburg-Nord, Nürnberg, 2007



bb. 19
A/V-Verhältnis Bebauungsvorschlag SOLL = Verbesserte A/V-Verhältnisse für alle Typologien
G.A.S., Stuttgart 2007

6. Verschattungssimulation und Optimierung der städtebaulichen Konzeption

Der städtebauliche Bbauungsvorschlag beinhaltet bereits die Ergebnisse der Verschattungssimulation, die wir hier nochmals nachweislich erläutern.

Insgesamt stellen die solaren Gewinne nur einen kleinen Teil dar, wenn

Sonnenstandsberechnung für Nürnberg
 Längengrad 11.06°
 Breitengrad 49.44°

Datum der berechneten Werte	21.12.2007		
Azimutwinkel	-52,27°		
Sonnenaufgang	8:15:23		
Sonnenuntergang	16:11:47		
Tageslänge	7:56:23		
Uhrzeit	Höhenwinkel	Azimutwinkel	
	in Grad°	in Grad°	
8:15:23	0,0	-52,3	Sonnenaufgang
8:30:00	1,8	-49,5	
9:00:00	5,4	-43,6	
9:30:00	8,6	-37,4	
10:00:00	11,3	-31,0	
10:30:00	13,6	-24,3	
11:00:00	15,3	-17,5	
11:30:00	16,5	-10,4	
12:00:00	17,1	-3,3	
12:13:27	17,1	0,0	Sonnenhöchststand
12:30:00	17,0	3,9	
13:00:00	16,4	11,1	
13:30:00	15,2	18,1	
14:00:00	13,4	25,0	
14:30:00	11,1	31,6	
15:00:00	8,3	38,0	
15:30:00	5,1	44,1	
16:00:00	1,5	50,0	
16:11:47	0,0	52,3	Sonnenuntergang

Abb. 20 Sonnenstandsberechnung für Nürnberg

man sie den Transmissionswärmeverlusten eines EnEV-Gebäudes gegenüber stellt. Jedoch wächst durch die eher gleichbleibende Qualität der solaren Energiegewinne, die Bedeutung dieses Parameters bei energieeffizienten Standards. Durch die sehr gute Wärmedämmung von energieeffizienten Gebäuden sind diese zwar gegen Fehlorientierung immuner, jedoch können durch das verbesserte Verhältnis von Verluste zu Gewinne, passive Solarhauskomponenten eine größere Rolle spielen.

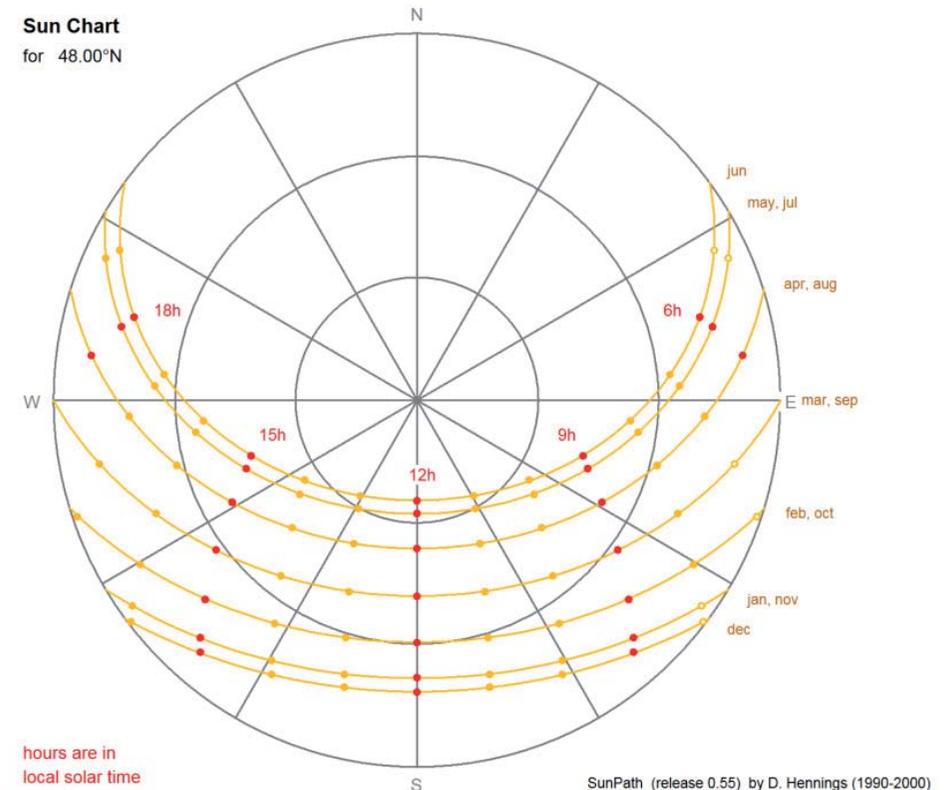


Abb. 21 Sonnenverlauf für den 48. Breitengrad Nord



bb. 22
 Verschattung IST 10:30 / 21. Dezember - große Verschattung hinter den südorientierten Reihenhäusern
 Kornburg-Nord, Nürnberg, 2007



bb. 23

Verschattung IST 11:30 / 21.Dezember - Ost-West Zeilen eher gut, sehr starke Verschattung bei Südorientierung!
Kornburg-Nord, Nürnberg, 2007



bb. 26

Verschattung IST 14:30 / 21. Dezember - überwiegend hinter südlichen Gebäudezeilen keine Besonnung möglich
Kornburg-Nord, Nürnberg, 2007



bb. 27

Verschattung Bauungsvorschlag SOLL 10:30 / 21.Dezember - nur geringe Verschattungen, auch hinter den südlichen Zeilen
G.A.S., Stuttgart, 2007



bb. 28

Verschattung Bebauungsvorschlag SOLL 11:30 / 21.Dezember - geringe Verschattungen, wenn Verschattung vorhanden, max. im EG
G.A.S., Stuttgart, 2007



bb. 29
 Verschattung Bebauungsvorschlag SOLL 12:15 / 21.Dezember - geringe Verschattungen!
 G.A.S., Stuttgart, 2007



bb. 30
 Verschattung Bebauungsvorschlag SOLL 13:30 / 21.Dezember - geringe Verschattungen!
 G.A.S., Stuttgart, 2007



bb. 31
Verschattung Bebauungsvorschlag SOLL 14:30 / 21. Dezember
G.A.S., Stuttgart, 2007

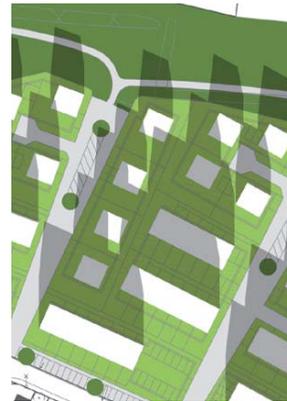
6.1 Vergleichende Verschattungssimulation in einem Quartier IST und Bebauungsvorschlag SOLL



Verschattung IST 10:30



Verschattung IST 11:30



Verschattung IST 12:15

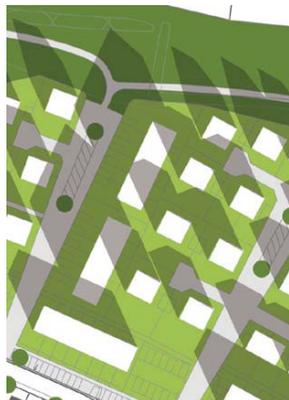


Verschattung IST 13:30



Verschattung IST 14:30

Sehr starke Verschattung der Gebäude hinter dem Reihenhausriegel. Viele Gebäude erfüllen nicht die Mindestanforderung an die Besonnung eines Wohnhauses



Verschattung SOLL 10:30



Verschattung SOLL 11:30



Verschattung SOLL 12:15



Verschattung SOLL 13:30



Verschattung SOLL 14:30

Durch Öffnung der südlichen Kante, wird die Besonnung der Einfamilienhäuser deutlich verbessert.

Abb. 32
Ausschnitte aus der Verschattungssimulation - Betrachtung eines Quartiers
G.A.S., Stuttgart, 2007

6.2 Vergleich der Verschattung auf der Südfassade eines Einfamilienhauses bei IST und Bebauungsvorschlag SOLL



Abb. 33
Verschattung IST 12:15 / 21. Dezember
Kornburg-Nord, Nürnberg, 2007



Abb. 34
Verschattung Bebauungsvorschlag SOLL 12:15 / 21. Dezember
G.A.S., Stuttgart, 2007

Mögliche Verschattung im IST Bestand auf der Südfassade einer 1 + D Typologie mit davor liegender 3-geschossigen Reihenhauszeile.

Zeit	Dez.	Jan.	Feb.	März
10:30	100%	100%	0%	0%
11:30	100%	100%	0%	0%
12:15	100%	100%	0%	0%
13:30	100%	100%	21%	0%
14:30	87%	89%	40%	0%

Fazit: Totale Verschattung in den Monaten Dezember und Januar

Mögliche Verschattung im SOLL Bestand auf die Südfassade.

Zeit	Dez.	Jan.	Feb.	März
10:30	2%	0%	0%	0%
11:30	2%	0%	0%	0%
12:15	6%	0%	0%	0%
13:30	20%	5%	0%	0%
14:30	27%	15%	0%	0%

Fazit: Die Verschattung der Südfassade des Einfamilienhauses ist in den Monaten Dezember und Januar nur noch geringfügig

6.3 Vergleich der Verschattung hinter dem III-geschossigen Reihenhaus südorientiert

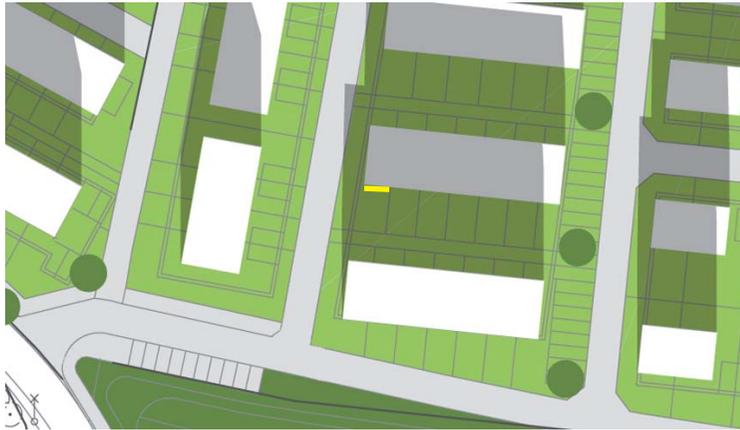


Abb. 35
 Verschattung IST 12:15 / 21. Dezember
 Kornburg-Nord, Nürnberg, 2007

Mögliche Verschattung im IST Bestand. 3 geschossiges Reihenhaus verschattet 2 geschossiges Reihenhaus.

Zeit	Dez.	Jan.	Feb.	März
10:30	100%	100%	24%	0%
11:30	100%	100%	7%	0%
12:15	100%	100%	1%	0%
13:30	69%	75%	4%	0%
14:30	2%	7%	0%	0%

Fazit: Fast vollständig verschattet in den Monaten Dezember und Januar

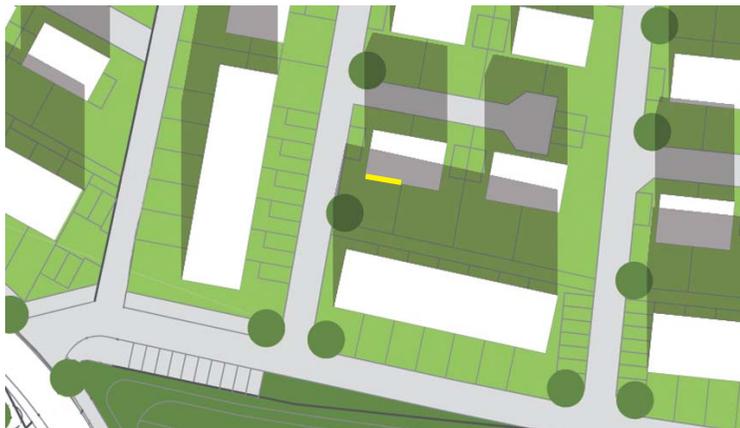


Abb. 36
 Verschattung Bebauungsvorschlag SOLL 12:15 / 21. Dezember
 G.A.S., Stuttgart, 2007

Mögliche Verschattung bei einer Optimierung SOLL auf die Südfassade.

Zeit	Dez.	Jan.	Feb.	März
10:30	50%	25%	0%	0%
11:30	36%	9%	0%	0%
12:15	30%	3%	0%	0%
13:30	31%	8%	0%	0%
14:30	3%	4%	0%	0%

Fazit: deutliche Verbesserung der Verschattung in den Monaten Dezember und Januar

7. Rechnerische Auswertung des Bebauungsvorschlages - Betrachtung eines Einzelgebäudes unter Einbezug der Geometrie und der Verschattung



Abb. 37 Verschattung IST
G.A.S., Stuttgart, 2007

Typologie 2 EFH
12:15 / 21. Dezember



Abb. 38 Verschattung SOLL
G.A.S., Stuttgart, 2007

Typologie 2 EFH
12:15 / 21. Dezember

Typologie 2 EFH Vergleich IST / Optimierte FORM + Einfluss Verschattung IST

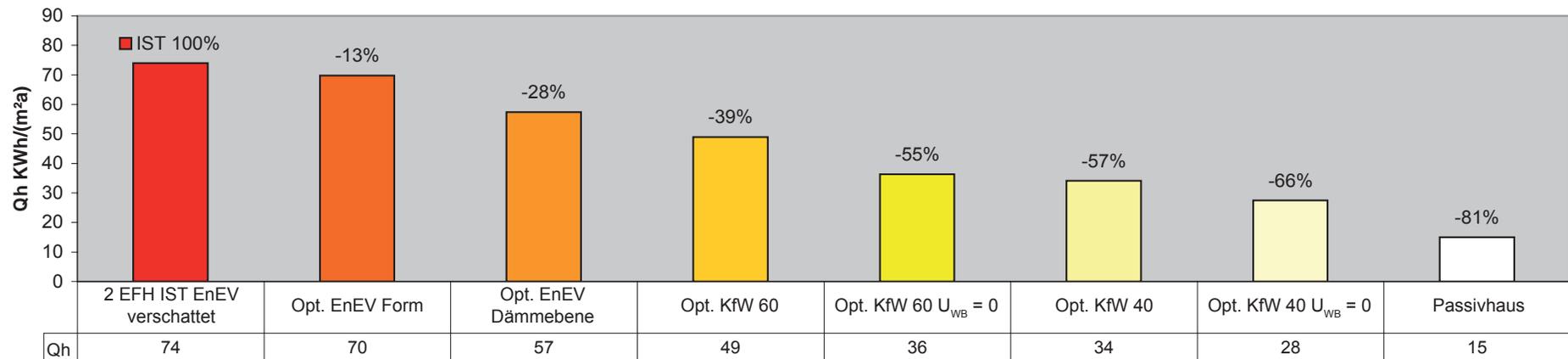


Abb. 39

Jahresheizwärmebedarf bezogen auf die Typologie 2 EFH bei einer Verschattung IST im Vergleich der unverschatteten optimierten Gebäudeform, bezogen auf die Energiestandards.

ANMERKUNG: Sockelgeschoss auf EFH + 0.5 m OK Gelände ist Grundlage. Bei Fehlen dieser Festsetzung sind bei Korrektur die Gewinnerträge um 3-4% höher.

G.A.S., Stuttgart, 2007

7.1 Rechnerische Auswertung des Bebauungsvorschlages - Betrachtung eines Regelquartiers unter Berücksichtigung der neuen Geometrie und der Verschattung

Quartiersbezogen werden die Spitzenwerte einzelner Optimierungen mit der typologischen Reduktion eines III- auf II-geschossigen Gebäudes teilweise aufgehoben. Dennoch sind Einsparpotentiale um ca. 8% möglich, die jedoch durch eine Neudefinition der Wärmedämmebene auf 18% gesteigert werden können.



Bilanzierung Quartier 6

Energetische Bilanz Abschnitt 6 IST / SOLL

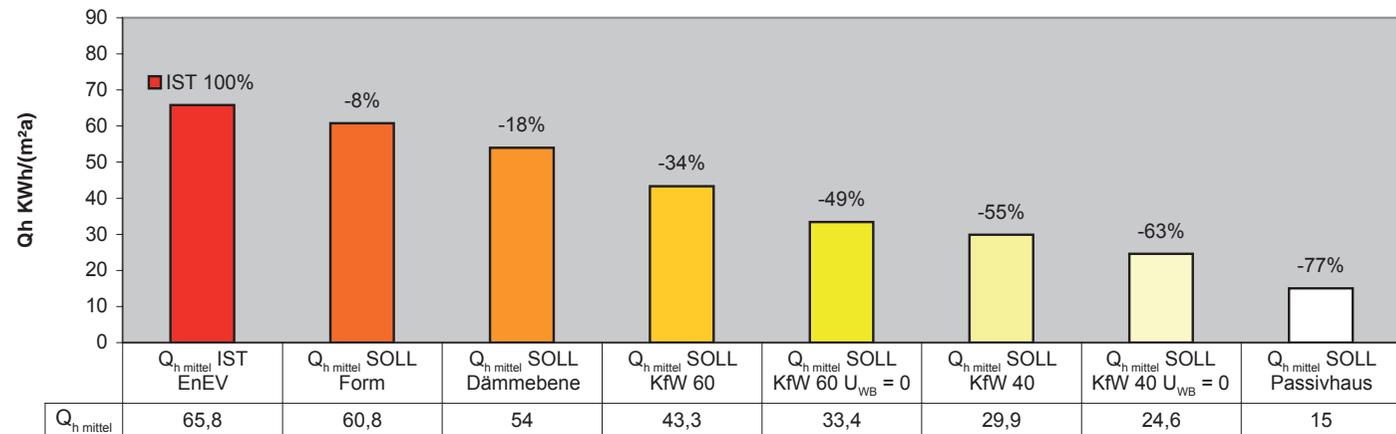


Abb. 40

Jahresheizwärmebedarf bezogen auf die energetische Optimierung des Quartiers 6 und der Energiestandards.

ANMERKUNG: Sockelgeschoss auf EFH + 0.5 m OK Gelände ist Grundlage. Bei Fehlen dieser Festsetzung sind bei Korrektur die Gewinnerträge um 3-4% höher.

G.A.S., Stuttgart, 2007

Legende

IST Zustand nach EnEV H_T' SOLL
 SOLL neue Form EnEV H_T' SOLL
 SOLL neue Dämmebene entspricht ca. EnEV H_T' SOLL -20%
 SOLL KfW 60 Standard H_T' SOLL -30%

SOLL KfW 60 Standard Minimierung der Wärmebrücken U_{WB} = 0
 SOLL KfW 40 Standard H_T' SOLL -45%
 SOLL KfW 40 Standard Minimierung der Wärmebrücken U_{WB} = 0
 SOLL Passivhausstandard H_T' nach PHPP

7.2 Rechnerische Auswertung des Bebauungsvorschlags - Betrachtung eines Sonderquartiers

Für das Sonderquartier schlagen wir eine Siedlung mit Gartenhofhäusern vor, die ihren Innenhof eventuell im Winter verschließen können. Die Einsparpotentiale aus Gebäudegeometrie und Verschattung sind deutlich höher als bei Standardhäusern.



RH Typologie IST



RH Typologie Gartenhofhaus, zusätzliche solare Gewinne über Innenhofsituation

Energetische Bilanz Vergleich Gebiet 1 IST / Gartenhofhaustypologie

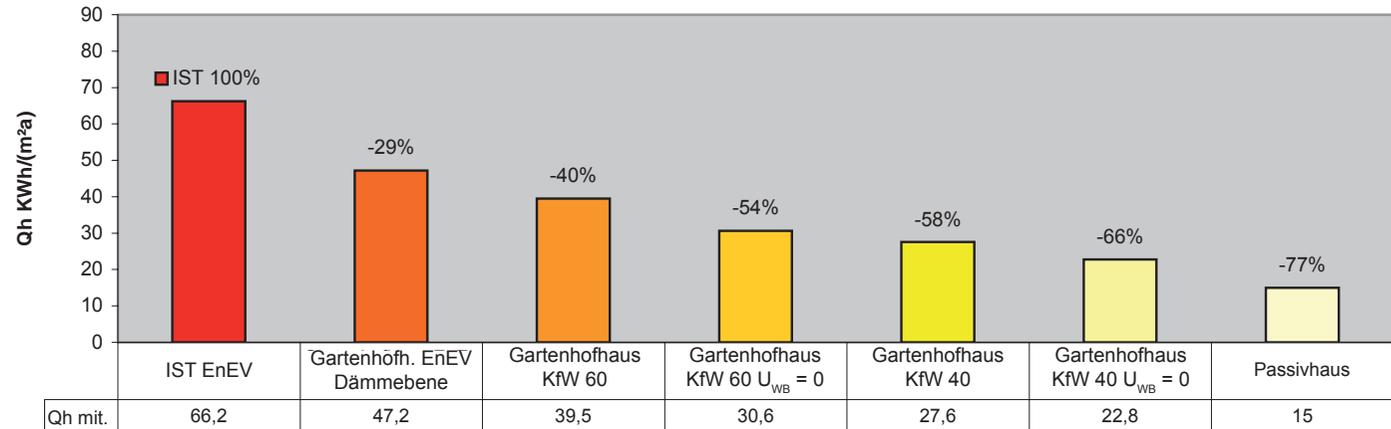


Abb. 41

Jahresheizwärmebedarf bezogen auf die energetische Optimierung des Quartier 1 durch Veränderung der Gebäudetypologie bezogen auf die Energiestandards. Gartenhofhäuser reagieren unabhängig gegen Verdrehung, durch eine Innenhofsituation gelangt zusätzliche solare Energie ins Gebäudeinnere.

ANMERKUNG: Sockelgeschoss auf EFH + 0.5 m OK Gelände ist Grundlage. Bei Fehlen dieser Festsetzung sind bei Korrektur die Gewinnerträge um 3-4% höher.

G.A.S., Stuttgart, 2007

Legende

- IST Zustand nach EnEV H_T' SOLL
- SOLL neue Form EnEV H_T' SOLL
- SOLL neue Dämmebene entspricht ca. EnEV H_T' SOLL -20%
- SOLL KfW 60 Standard H_T' SOLL -30%

- SOLL KfW 60 Standard Minimierung der Wärmebrücken U_{WB} = 0
- SOLL KfW 40 Standard H_T' SOLL -45%
- SOLL KfW 40 Standard Minimierung der Wärmebrücken U_{WB} = 0
- SOLL Passivhausstandard H_T' nach PHPP

7.3 Rechnerische Auswertung des Bebauungsvorschlages - Gesamtbetrachtung des Gesamtstädtebaus unter Einbezug der neuen Gebäudegeometrie und der Verschattung

Für das gesamte Quartier entsteht aus energetischer Optimierung und Verschattungsfreiheit eine Reduktion um 7% des Jahresheiwärmebedarfs (Q_h) und mit der Neudefinition der Wärmedämmebene immerhin ein Gesamtpotential um 20%.

Energetische Bilanz Gesamtgebiet IST / SOLL

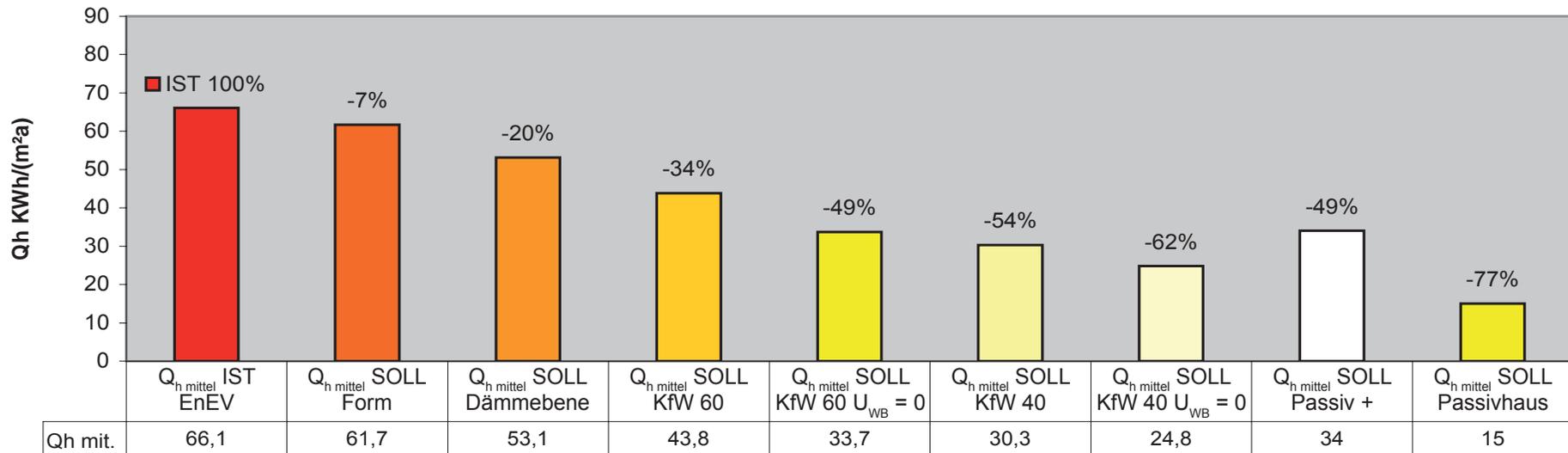


Abb. 42

Jahresheizwärmebedarf bezogen auf die energetische Optimierung des Gesamtgebietes, Verschattung des IST Zustandes ist mit eingerechnet, Verbesserungen entstehen durch die Optimierung der Verschattungsfreiheit und der Form.

ANMERKUNG: Sockelgeschoss auf EFH + 0.5 m OK Gelände ist Grundlage. Bei Fehlen dieser Festsetzung sind die bei Korrektur die Mehrerträge um 3-4% höher.

G.A.S., Stuttgart, 2007

Legende

IST Zustand nach EnEV H_T' SOLL

SOLL neue Form EnEV H_T' SOLL

SOLL neue Dämmebene entspricht ca. EnEV H_T' -20%

SOLL KfW60 Standard EnEV H_T' -30%

SOLL KfW60 Standard Minimierung der Wärmebrücken $U_{WB} = 0$

SOLL KfW 40 Standard EnEV H_T' -45%

SOLL KfW 40 Standard Minimierung der Wärmebrücken $U_{WB} = 0$

SOLL Östliches Gebiet im Passivhausstandard (Quartier 9-11),

KfW 60 für das westliche Gebiet (Quartier 1-8)

SOLL Passivhausstandard H_T' nach PHPP

8. Empfehlungen zur städtebaulichen Optimierung

Das Ergebnis der städtebaulichen Optimierung hat durch die Verbesserungen an den Bebauungsplanfestsetzungen eine Reduzierung des Jahresheizwärmebedarfs um 7% zur Folge. Dabei wurde das städtebauliche Grundkonzept des Stadtplanungsamtes respektiert und pro Jahr den Ausstoß an CO₂ um ca. 56 t/a verringert.

Die neuen Festsetzungen und der energetische Standard der Quartiere sollte in den Bebauungsplan aufgenommen werden. Wir schlagen vor mindestens den Standard KfW 60 festzusetzen. Hierdurch entsteht eine Verminderung des CO₂-Ausstoßes um ca. 1/3 gegenüber der jetzigen Planung. Bei steigenden Energiepreisen sind die Standards KfW 40 und Passivhaus langfristig wirtschaftlich. Wir empfehlen daher ein besonderes Quartier herauszugreifen, um den Standard exemplarisch zu realisieren.

Die Festlegungen bezüglich der qualitativen Ausbildung der Gebäude, wie z.B. die Bestimmung der Wärmedämmebene und die Wärmebrückenfreiheit können nur in einem Vertrag zwischen Erwerber und Stadt beim Kauf einer Liegenschaft vereinbart werden. Die Einsparungen gemessen am Jahresheizwärmebedarf sind verhältnismäßig groß. Daher wäre es sinnvoll, diese Baustandards auch zu erfüllen und durch ein unabhängiges Institut zu kontrollieren.

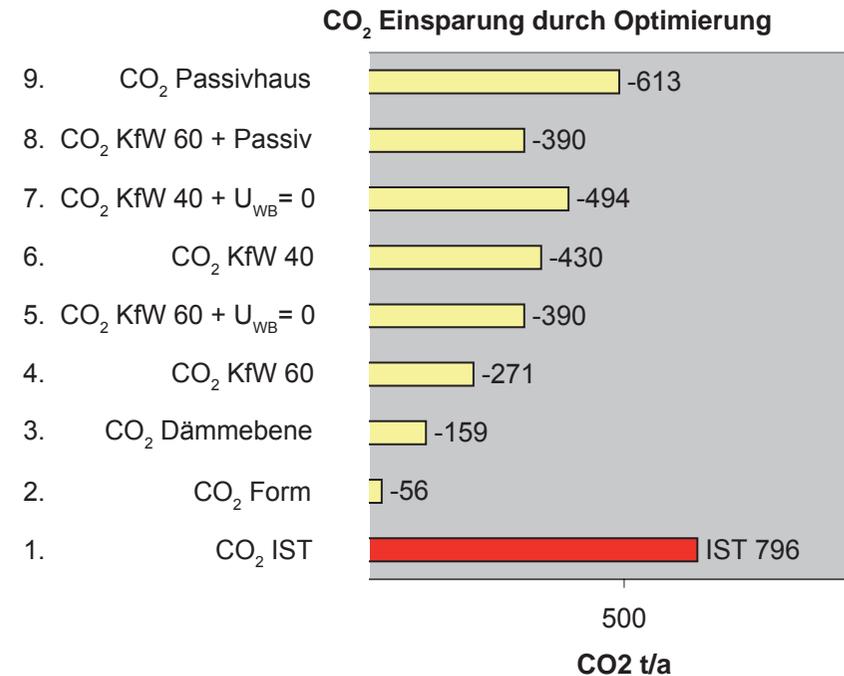


Abb. 43

CO₂ Einsparung durch Optimierungsschritte bei 0,27kg CO₂ / kWh Endenergie

Legende

1. IST Zustand nach EnEV H_T' SOLL
2. SOLL neue Form EnEV H_T' SOLL
3. SOLL neue Dämmebene entspricht ca. EnEV H_T' SOLL -20%
4. SOLL KfW 60 Standard H_T' SOLL -30%
5. SOLL KfW 60 Standard Minimierung der Wärmebrücken U_{WB} = 0
6. SOLL KfW 40 Standard H_T' SOLL -45%
7. SOLL KfW 40 Standard Minimierung der Wärmebrücken U_{WB} = 0
8. SOLL Östliches Gebiet im Passivhausstandard (Quartier 9-11), KfW 60 für das westliche Gebiet (Quartier 1-8)
9. SOLL Passivhausstandard H_T' nach PHPP

9. Optimierungsschritte und ihre Festsetzungen

IST	1	2	3	4
	Verbesserung der Form	Festlegung des Dämmstandards	Festlegung der Wärmedämmebene	Festlegung der Wärmebrückenfreiheit $U_{WB} = 0$
	B-Plan Festlegungen	B-Plan Festlegungen oder Vertragliche Festlegungen	Vertragliche Festlegungen	

Abb.44 Optimierungsschritte und Festlegungsmöglichkeiten

- Festlegung Schritt 1: Festlegung bezüglich der Baukörper Geometrien können im Bebauungsplan festgelegt werden.
- Festlegung Schritt 2: Festlegung bezüglich des Wärmedämmstandards können vertraglich geregelt werden und sollte im B-Plan festgeschrieben werden.
- Festlegung Schritt 3: Festlegung bezüglich der Wärmedämmebene können vertraglich geregelt werden. Durch diese Festlegung steigen die baulichen Mehrkosten an, jedoch steigt auch der Nutzwert der Gebäude an.
- Festlegung Schritt 4: Festlegung bezüglich der Wärmebrücken freien Ausführung können vertraglich geregelt werden. Es entstehen nur planerische Mehrkosten, jedoch keine baulichen Mehrkosten.

Empfehlung Schritt 1: Festlegung im Bebauungsplan.

Empfehlung Schritt 2: Festlegung auf Energiestandard KfW 60, KfW 40 oder Passivhausstandard.

Empfehlung Schritt 3: Vertragliche Festlegung im Kaufvertrag.

Empfehlung Schritt 4: um eine baulich korrekte Ausführung zu gewährleisten, empfehlen wir die vertragliche Festsetzung auf $U_{WB} = 0$ bei KfW 60, KfW 40 und Passivhausstandard.

Um eine Qualitätssicherung zu wahren empfehlen wir vertraglich ein Nachweisverfahren der Energiestandards und der baulichen Ausführung festzulegen. Für partielle Abnahmen und Überprüfungen der Berechnungen sollte ein wissenschaftliches Institut herangezogen werden.

Teil 2: Wärmeversorgungskonzept

In Teil 2 der Studie werden auf Basis einer optimierten Ausgestaltung des B-Plans zukunftsorientierte Varianten der Wärmeversorgung untersucht. Eine aussagekräftige Gegenüberstellung erfordert einen Vergleich hinsichtlich der erzielbaren Reduzierung von Umweltbelastungen (Primärenergiebedarf oder CO₂-Emissionen) sowie hinsichtlich der damit verbundenen Kosten (Investitions- und Betriebskosten).

1. GRUNDLAGENERMITTLUNG

1.1. Flächen und Wärmebedarf

Der Wärme- und Heizleistungsbedarf der Gebäude wird aus flächenbezogenen Energiekennwerten ermittelt. Dafür werden die nach B-Plan maximal zulässigen Bruttogrundflächen zu Grunde gelegt. Als maximal möglich wurden ermittelt:

BGF: 41.350 m²
Wohnfläche: 33.080 m²

Die Ermittlung des Heizwärmebedarfs erfolgt auf Basis von 4 unterschiedlichen Energiestandards. Hierbei wird der Mindestwärmeschutz nach EnEV, nach KfW 60 sowie nach KfW 40 vorausgesetzt. Zusätzlich wird der Wärmebedarf für den Passivhausstandard ermittelt. Als Kennwerte werden die in Teil 1 ermittelten Bedarfswerte nach Optimierung des B-Plans zu Grunde gelegt. Diese Werte werden um etwa 5 kWh/m²a erhöht, um zusätzliche hausinterne Wärmeverteilverluste zu berücksichtigen.

Für die Berechnung des Brauchwasserbedarfs wird der in der EnEV vorgegebene Pauschalwert von 12,5 kWh/m²a ebenfalls um einen Anteil für Speicher- und Verteilverluste auf 18 kWh/m²a erhöht.

Der Heizleistungsbedarf wird aus den Heizwärmebedarfswerten mit einer Volllaststundenzahl von, je nach Energiestandard, etwa 1.200-1.600 h/a ermittelt.

Aus diesen Basiswerten ergeben sich folgende Bedarfswerte für das Gesamtgebiet.

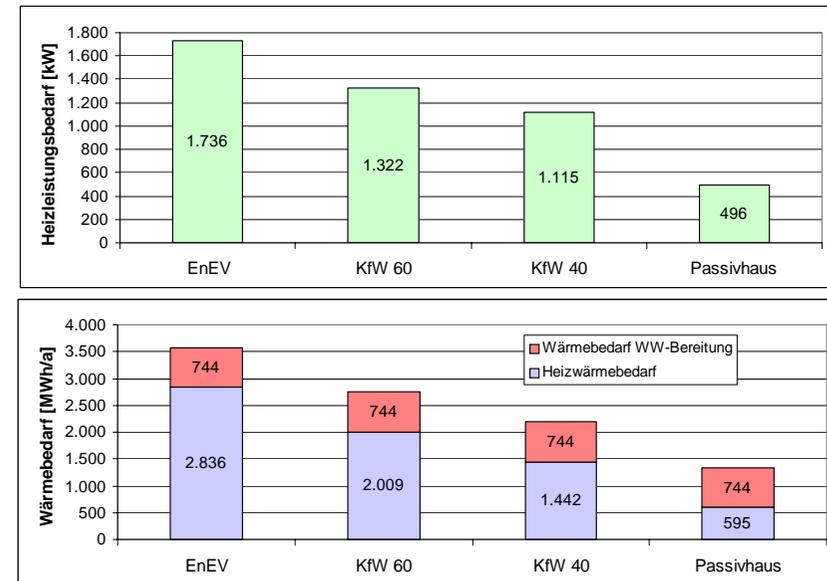


Bild 1: Heizleistungs- und Jahreswärmebedarf bei unterschiedlichen Wärmeschutzstandards

Die Variantenberechnungen in Kap. 2 werden zunächst auf Basis des Wärmebedarfs für den **KfW 60-Standard** durchgeführt. Dieser beträgt

Heizwärmebedarf [MWh/a]	WW-Bedarf [MWh/a]	Wärmebedarf gesamt [MWh/a]	Heizleistungsbedarf [kW]
2.010	740	2.750	1.320

Tabelle 1: Wärme- und Heizleistungsbedarf für das Gesamtgebiet bei KfW 60-Standard

1.2. Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen

Der Wirtschaftlichkeitsvergleich von Wärmeversorgungsarten wird auf Grundlage aktueller Energiekosten geführt. Dazu wurden vom örtlichen Energieversorger die für den jeweiligen Anwendungsfall gültigen Energietarife sowie die Anschlusskosten abgefragt. Zudem wurden die derzeitigen Marktpreise von nicht leitungsgebundenen Energieträgern ermittelt.

Vorbemerkung: Alle Kostenangaben sind netto, ohne die gesetzliche Mehrwertsteuer.

Erdgas:

Örtlicher Energieversorger ist die N-Ergie AG, Nürnberg.

- Anschlusskosten
 - je nach Anschlussleistung: 2.000 - 5.000 €
 - Baukostenzuschuss: ca. 10 €/kW
- Gastarife
 - Grundpreis: zwischen 120 und 900 €/a
 - Arbeitspreis: zwischen 42,9 und 44,7 €/MWh_{Ho}

Strom:

Örtlicher Energieversorger ist ebenfalls die N-Ergie AG, Nürnberg

Haushaltstarif: 14,1 ct/kWh

- WP-Tarif:
 - Arbeitspreis: 10,1 ct/kWh (Mittel aus HT und NT)
 - 2-Tarif-Zähler: 50,40 €/a

Der WP-Tarif beinhaltet die Berechtigung des Energieversorgers, tagsüber den WP-Betrieb zweimal für 2 h zu unterbrechen. Zur Überbrückung dieser Zeiten ist die Installation eines Pufferspeichers sinnvoll.

Für eine Heizzentrale ist ein eigener Strom- und Wasseranschluss erforderlich: Dadurch entstehen, je nach Größe, folgende Zusatzkosten:

- Strom und Wasser: ca. 4.000 - 5.000 €

Holzpellets:

Für Holzpellets existiert inzwischen ein flächendeckendes Netz von Herstellern und Lieferanten. Pellets werden in den hier benötigten Mengen üblicherweise im Tanklastzug angeliefert. Die Preise sind, wie z.B. beim Heizöl auch, von der Abnahmemenge abhängig.

- EFH (ca. 3 - 5 to): 190 €/to bzw. 38 €/MWh_{Hu}
- Heizzentrale (ab 15 to): 170 €/to bzw. 34 €/MWh_{Hu}

Pflanzenöl:

Der aktuelle Preis für naturbelassenes Pflanzenöl liegt bei 70 ct/l. Dies entspricht 7,5 ct/kWh_{Hu}.

2. VERGLEICH VON WÄRMEVERSORGUNGSVARIANTEN

2.1. Kriterien für die Variantenauswahl

Neben einer Reihe von dezentralen Versorgungsoptionen sollen zentrale Wärmeversorgungsmöglichkeiten untersucht werden. Hier bietet sich ein weites Feld von technischen Möglichkeiten, die im Vorfeld auf ein sinnvolles Maß von Vergleichsvarianten zu begrenzen sind. Folgende Kriterien sind zu beachten:

- Die Geschwindigkeit der Aufsiedlung beeinflusst die Größe möglicher Versorgungseinheiten.
- Größe der Versorgungseinheiten hat Auswirkungen auf mögliche Betreiberformen (zu große Einheiten sind für eine Verwalt.

tung durch die Nutzer selbst zu groß, zu kleine Einheiten sind für professionelle Betreiber mit zu viel Aufwand verbunden).

- Bestimmte Technologien sind nicht in allen Größen sinnvoll einsetzbar (Pellets bis ca. 400 kW, darüber Holzhackschnitzel; Einspeisevergütung für BHKW < 50 kW_{el} ist deutlich höher als bei größeren Anlagen).

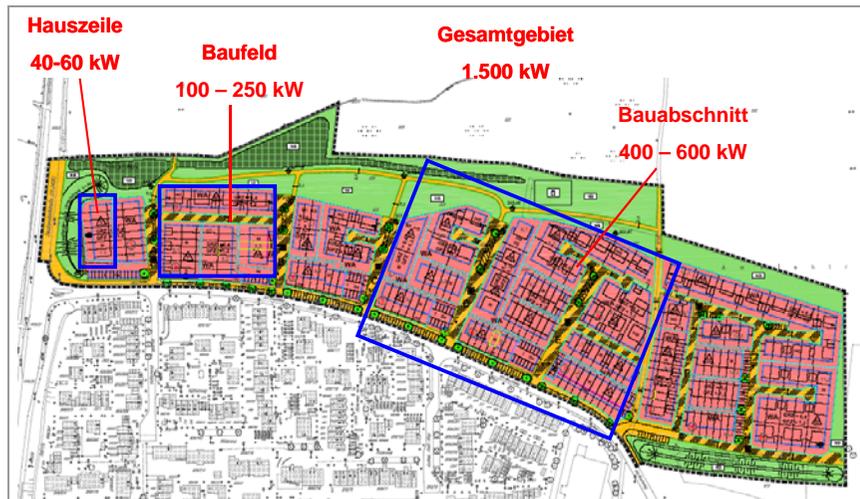


Bild 2: Mögliche Größen von zentralen Wärmeversorgungseinheiten

Bild 3 zeigt eine Auswahl von Wärmeerzeugern und ihre typischen Einsatzbereiche innerhalb des Wohngebiets Kornburg Nord.

	Hauszeile (40-60 kW)	Baufeld (100-250 kW)	Bauabschnitt (400-600 kW)	Gesamtgebiet (1.500 kW)
Solaranlagen	grün	grün	gelb	grün
Pelletsessel	grün	grün	grün	grün
Holzhackschnitzel			gelb	grün
Gas-BHKW	grün	grün	grün	grün
Pflanzenöl-BHKW	grün	grün	grün	grün

Bild 3: Sinnvoller Einsatz von Technologien in den o.g. Versorgungseinheiten (grün=geeignet / gelb=bedingt geeignet)

Der folgende Variantenvergleich bezieht sich in den zentralen Varianten zum einen auf die Versorgung einer Hauszeile, zum anderen auf eine deutliche größere Einheit eines möglichen ersten Bauabschnittes.

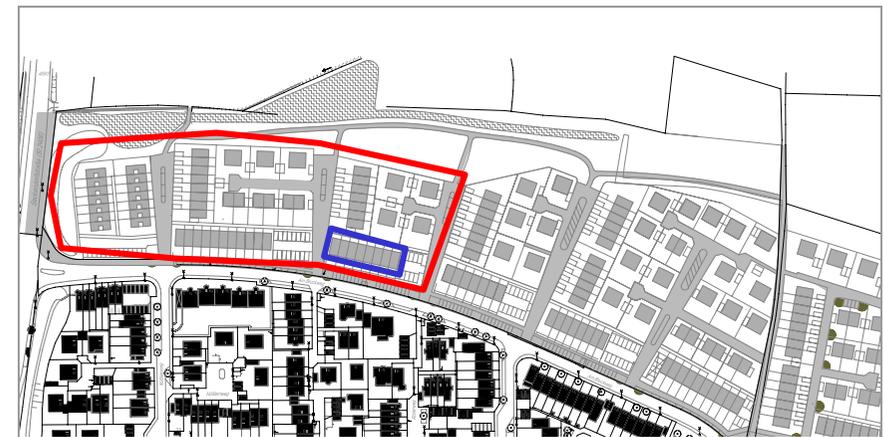


Bild 4: Untersuchte Versorgungsgebiete

Eine zentrale Versorgung für das Gesamtgebiet ist auf Grund der unsicheren Dauer der Aufsiedlung nicht sinnvoll, da in diesem Fall die Dauer der Vorhaltung von Versorgungsstrukturen (v.a Netz und Heizzentrale) unverhältnismäßig aufwändig wäre. Zudem vergrößern sich

bei einem größeren Gebiet die Nennweiten der Versorgungsleitungen und damit die anteiligen Netzverluste sowie die Kosten. Bei Gebieten mit hohen Anteilen an Einfamilienhäusern werden dabei Netzverluste von 20% und mehr erreicht, was nicht mehr hinnehmbar ist.

Folgende Wärmeversorgungsarten wurden untersucht:

2.2. Variantenbeschreibung und Investitionskostenschätzung

Vorbemerkungen:

- Den Variantenuntersuchungen wird ein Wärmeschutz gemäß KfW 60-Standard zu Grunde gelegt.
- Alle Kostenangaben sind netto, ohne die gesetzliche Mehrwertsteuer. Kosten für die Planung sind in den Angaben enthalten.

2.2.1 Dezentrale Wärmeversorgung

Bei einer dezentralen Wärmeversorgung erhält jedes Gebäude einen eigenen Wärmeerzeuger. Dazu erforderlich ist für jedes Gebäude die entsprechende Versorgungsleitung oder ein entsprechender Brennstofflagerraum.

A1: Gas-Brennwerttherme

Vergleichsvariante ist die konventionelle Lösung einer Wärmeerzeugung mit Gas. Jedes Gebäude erhält einen Gasanschluss sowie eine Gas-Brennwerttherme mit WW-Bereiter. Die Anlage wird häufig im Dachgeschoss installiert, die Abgase werden über eine kurze Leitung ins Freie abgeführt. Ein konventioneller Schornstein ist damit nicht mehr erforderlich.

Die Anlagen werden meist als wandhängende Thermen mit untergestelltem WW-Bereiter ausgeführt, so dass zur Aufstellung eine Fläche von 1 m² ausreicht.

Die Kosten für die Gesamtanlage werden auf 9,8 T€ geschätzt. Darin enthalten ist u.a. der Gasanschluss mit einem Anteil von 2,5 T€.

A2: Gas-Brennwerttherme und solare WW-Bereitung

In Variante A2 wird die o.g. Anlage um eine thermische Solaranlage zur WW-Bereitung erweitert. Der WW-Bereiter wird durch einen größeren Solarspeicher ersetzt, für eine EFH werden etwa 5-6 m² Kollektoren benötigt. Die Solaranlage führt zu Mehrkosten von ca. 5 T€ damit ergeben sich Gesamtinvestitionen von 14,8 T€. Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) fördert Solaranlagen dieser Größe mit 412 €.

Die Solaranlage kann etwa 50-60% des WW-Wärmebedarfs decken.

A3: Pelletskessel

Holzpelletskessel sind auch in der hier benötigten Größe von etwa 10 kW verfügbar. Neben dem etwas größeren Platzbedarf für den Heizkessel ist ein Pelletslagerraum erforderlich, der etwa einen Jahresbedarf von 3 to oder 4-5 m³ fasst. Im EFH werden dazu häufig Gewebetanks eingesetzt (s. Bild 5). Die Pellets werden über eine Förderschnecke oder ein Saugsystem dem Kessel zugeführt. Der Anlagenbetrieb ist vollautomatisch. Lediglich die anfallende Asche muss wenige Male im Jahr geleert werden.



Bild 5: Holzpellets, Kessel u. Lagerbehälter für EFH, Anlieferung im Tanklastzug

Da Pelletskessel in der Regel im Keller aufgestellt werden und Brennwertgeräte noch kaum verfügbar sind, ist ein konventioneller Schornstein (gemauert oder Edelstahl) erforderlich. Die Kosten für die Gesamtanlage incl. WW-Bereiter werden auf 16,1 T€ geschätzt. Vom BAFA wird die Anlage mit 1.500 € gefördert.

A4: Pelletskessel und solare WW-Bereitung

Der o.g. Pelletskessel wird ebenfalls um eine thermische Solaranlage erweitert. Dies ist für den praktischen Anlagenbetrieb sehr sinnvoll: Ein Pelletskessel hat eine deutlich größere Masse als eine Gastherme. Obwohl im Sommer der Kessel für die WW-Bereitung nur wenige Male am Tag in Betrieb geht, ist er den ganzen Tag warm. Dies führt zu hohen Wärmeverlusten. Mit einer thermischen Solaranlage kann der Heizkessel im Sommer ganz abgeschaltet werden.

Die Gesamtkosten für die Anlage betragen etwa 20,8 T€. Davon werden 1.912 € durch die Förderung gedeckt.

A5: Erdsonden-Wärmepumpe

Eine Erdsonde entzieht dem Erdreich über Erdsonden Wärme, die Wärmepumpe bringt diese auf das für die Heizung und WW-Bereitung erforderliche Temperaturniveau. In der Wärmepumpe werden dabei aus 1 kWh elektrischer Energie ca. 3,5 bis 4 kWh Wärme erzeugt. Dieser Vorteil führt dazu, dass mit Wärmepumpen die Energiekosten gegenüber einer Gasheizung deutlich sinken.

Für ein EFH wird eine Wärmepumpe mit etwa 8-10 kW sowie eine Erdsonde mit einer Tiefe von 80-100 m benötigt. Um einen kontinuierlichen WP-Betrieb zu erreichen und um die Abschaltzeiten des Energieversorgers zu überbrücken, ist ein Pufferspeicher erforderlich.

Die Investitionskosten für die Gesamtanlage betragen etwa 20,7 T€.

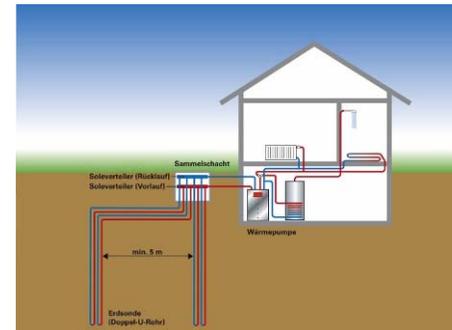


Bild 6: Schema einer Wärmepumpen-Heizung mit Erdsonden

2.2.2 Gemeinsame Versorgung für eine Reihenhauszeile

Eine gemeinsame Versorgung einer ganzen Hauszeile unterscheidet sich in folgenden Punkten von einer Einzelversorgung der Gebäude:

➤ Technische Erfordernisse

Es wird nur eine Wärmezentrale errichtet. Diese sollte jederzeit von außen zugänglich sein. Im UG eines Reihenhauses ist dies schwer zu gewährleisten. Es bieten sich folgende Alternativen an:

- abgetrennter Raum oder Anbau an eine Garage
- unterirdischer Anbau an ein Reihendendhaus (mit Zugang von außen)
- Container

Zur Wärmeverteilung von der Zentrale zu den einzelnen Gebäuden ist ein zusätzliches Leitungsnetz erforderlich. Ein solches Netz mit nur wenigen Abnehmern wird in der Regel als 4-Leiter-Netz ausgeführt. Der WW-Bereiter steht dabei in der Heizzentrale. Alternativ könnte die Wärme über ein 2-Leiter-Netz verteilt werden. Dazu wären dezentrale WW-Bereiter erforderlich.

Zur Abrechnung sind für jedes Gebäude Messeinrichtungen, z.B. ein Wärmemengenzähler für die Heizwärme und ein Wasserzähler für die WW-Menge, erforderlich.

➤ Organisatorische Erfordernisse

Zu klären ist die Betreiberform. Erforderlich ist ein Investor, der die Anfangsinvestitionen tätigt, sowie ein Betreiber, der für Wartung, Reparaturen, Energieeinkauf und Abrechnung verantwortlich ist. Dabei bieten sich u.a. drei Formen an:

- Investition und Betrieb durch Eigentümergemeinschaft, Verwaltung durch die Eigentümer
- Investition durch Eigentümergemeinschaft, Betrieb und Verwaltung durch einen Hausverwalter (im Namen der Eigentümergemeinschaft)
- Investition und Betrieb durch professionellen Contractor, Verkauf von Wärme an die Gebäudenutzer.

In allen Fällen sind die Rechte zur Führung der Versorgungsleitungen durch die Gebäude sowie evtl. die Nutzung eines privaten Raumes als Heizraum durch Grunddienstbarkeiten abzusichern.

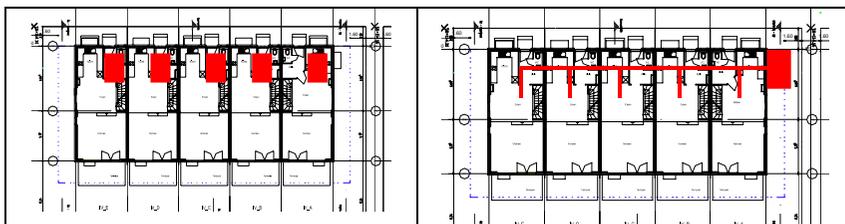


Bild 7: Einzelversorgung (links) und gemeinsame Versorgung (rechts)

Die Versorgung einer Hauszeile aus einer gemeinsamen Heizanlage wird am Beispiel des in Bild 4 blau markierten Bereichs untersucht. Für die 8 Gebäude wurde ein Heizleistungsbedarf von 49 kW ermittelt. Der Gesamtwärmebedarf der Gebäude beträgt 103 MWh/a. Bei der Wärmeverteilung über ein 4-Leiter-Netz sind mit zusätzlichen Wärmever-

lusten von 15 MWh/a zu rechnen. Der Wärmeverlust, bezogen auf die im Heizraum erzeugte Wärme, beträgt damit 13%.

Die Kosten für die Wärmeverteilung sowie die Messeinrichtungen werden auf etwa 10 T€ geschätzt, außerdem sind für die Zentrale ein eigener Wasser- und Stromanschluss (4 T€) erforderlich.

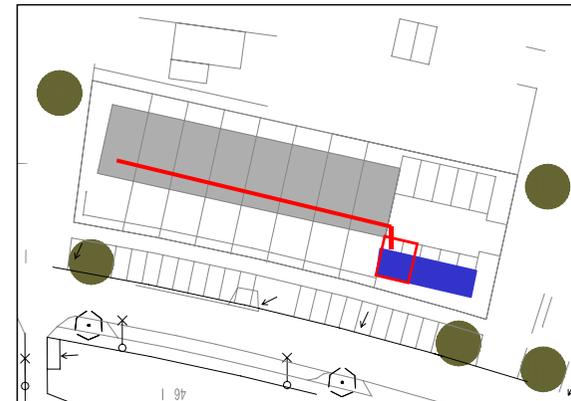


Bild 8: Anordnung von HZ und ggfs. Kollektoren

Folgende Varianten einer gemeinsamen Wärmeversorgung werden betrachtet:

B1: Pelletskessel

Als Wärmeerzeuger in der Heizzentrale dient ein Pelletskessel mit einer Leistung von 50 kW. Zur Pelletslagerung wird ein Raum mit etwa 30 m³ benötigt.

Die Gesamtinvestitionen für die Ausstattung der HZ incl. WW-Bereiter, für die Errichtung des Raumes selbst sowie die oben beschriebene Wärmeverteilung werden auf 73 T€ geschätzt. Die Förderung beträgt 1,5 T€

B2: Pelletskessel und solare WW-Bereitung

Die Wärmeversorgung wird auch hier um eine solare WW-Bereitung erweitert. Benötigt werden etwa 45 m² Kollektoren. Diese können auf den Carports oder Garagen untergebracht werden. Dabei ist auf die Baumbepflanzung zu achten, um unnötige Verschattung zu verhindern.

Die Investitionskosten der Solaranlage betragen etwa 30 T€. Die Gesamtkosten für die Wärmeversorgung incl. baulicher Anlagen und Wärmeverteilung werden auf 113 T€ geschätzt. Die Förderung für Pelletskessel und Solaranlage beträgt 4,2 T€.



Bild 9: Anordnung von Kollektoren auf einer Garagenzeile

B3: Gasmotor-BHKW und Gas-Spitzenkessel

Beim BHKW wird die bei der Stromerzeugung anfallende Wärme zur Gebäudebeheizung genutzt. Dies unterscheidet es von der Stromerzeugung im Großkraftwerk, bei der nur etwa 40% der eingesetzten Energie tatsächlich genutzt werden.

Ein BHKW wird so ausgelegt, dass es etwa 25% der erforderlichen Heizlast abdeckt. Damit wird im Sommer die gesamte, übers Jahr etwa 70% der benötigten Wärme im BHKW erzeugt. Den Rest deckt ein

kostengünstiger Gaskessel ab. Die erwartete Laufzeit des BHKW's liegt bei 6.500 h/a.

Der erzeugte Strom kann ins öffentliche Netz eingespeist oder in den angeschlossenen Gebäuden verbraucht werden. Die Einspeisevergütung ist im KWKG-Gesetz geregelt und setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

- Grundvergütung ("üblicher Preis"), Quartals-Mittelwert für Grundlaststrom an der Strombörse Leipzig EEX
- Vergütung für vermiedene Netznutzung
- KWKG-Zulage

Damit ist derzeit eine Einspeisevergütung von etwa 9 ct/kWh zu erreichen. Deutlich höher liegt der Stromerlös bei Verbrauch des Stroms in den Gebäuden. Hier ist gegen die Kosten für vermiedenen Strombezug zu rechnen. In der Wirtschaftlichkeitsberechnung wird die Einspeisung des erzeugten Stroms zu Grunde gelegt.

Zusätzlich wird für das im BHKW eingesetzte Gas die Mineralölsteuer in Höhe von 0,55 ct/kWh_{Ho} vom Hauptzollamt auf Antrag zurückerstattet. Dies entspricht einem Anteil von 12% des Gaspreises.

Bei einem Heizleistungsbedarf von 49 kW bietet sich die Installation eines Kleinst-BHKW's an. Im Leistungsbereich von 5-7 kWel bzw. 10-15 kWth sind mehrere Anbieter auf dem Markt. In den Berechnungen wird ein Modul mit 5,5 kWel / 12,5 kWth zu Grunde gelegt.

Die Investitionskosten für das BHKW incl. Pufferspeicher liegen bei etwa 20 T€. Die Gesamtinvestitionen für die komplette Wärmeversorgung incl. Heizraum werden auf 78 T€ geschätzt.

2.2.3 Zentrale Versorgung für einen Bauabschnitt

Eine zentrale Versorgung für ein größeres Gebiet, wie hier für die Quartiere 1 bis 4, ist nicht mit einer reinen Vergrößerung der Anlagenkomponenten realisierbar, sondern erfordert eine Anpassung des Gesamtsystems:

- Die Heizzentrale wird unter Umständen in einem separaten Gebäude auf einem eigenen Grundstück untergebracht werden.
- Das Wärmenetz wird als 2-Leiter-Netz auszuführen sein. Dies erfordert in jedem Gebäude eine Übergabestation und einen eigenen WW-Bereiter.
- Die Errichtung und der Betrieb der Anlagen werden sinnvollerweise durch einen professionellen Betreiber übernommen.

Um die Kosten für die Wärmeverteilung und die Wärmeverluste auf ein Minimum zu begrenzen, wird folgende Vorgehensweise empfohlen:

- Verwendung von PEX-Rohren (Kunststoff-Mediumrohre), bei kleinen Nennweiten Einsatz von DUO-Rohren (Vor- und Rücklauf in einer Dämmhülle)
- Leitungsführung möglichst durch die Keller der Gebäude (v.a. in Reihenhäusern sinnvoll), dies erfordert i.d.R. eine entsprechende Grunddienstbarkeit
- Einsatz von Kompakt-Übergabestationen

Beim Übergang zwischen den Reihenhäusern ist auf die Belange des Schall- und Brandschutzes zu achten.



Bild 10: Wärmenetz mit PEX-Rohr, Verbindung zwischen 2 RH, Kompakt-Übergabestation



Bild 11: Mögliche Netzverlegung durch die Reihenhauszeilen, Kollektorflächen auf Carport-Dächern

Variante C1: Pellets

Bei dieser Variante erfolgt die Wärmeversorgung zentral für einen Bauabschnitt. Die Heizzentrale wird in einem separaten Gebäude untergebracht. Die Versorgungsleitungen werden durch die Keller verlegt. Die Wärmelieferung erfolgt über einen Pelletskessel mit 400 kW. Ein Pufferspeicher mit 8 m³ fängt Leistungsspitzen ab und ermöglicht einen gleichmäßigeren und somit effizienteren Betrieb des Pelletskessels. Der Raumbedarf für Heizzentrale und Pelletslager beträgt ca. 250 m³ bei einer Raumhöhe von ca. 3,30 m.

Die Gesamtinvestitionen betragen 665 T€. Darin enthalten sind die Kosten für die Heizzentrale in Höhe von 255 T€ und die Kosten für das Nahwärmenetz und für die Übergabestationen in Höhe von 410 T€.

Variante C2: Gasmotor-BHKW und Gas-Spitzenkessel

Da sich ein BHKW erst bei hohen Laufzeiten lohnt, wird nur ein Teil der maximalen Heizlast durch das BHKW abgedeckt. Für den Spitzenlastbedarf wird ein Gaskessel eingesetzt.

Mit einem Gasmotor-BHKW ($50 \text{ kW}_{\text{el}} / 100 \text{ kW}_{\text{th}}$) ist eine Laufzeit von etwa 6.500 h/a zu erwarten. Es werden 650 MWh/a Wärme erzeugt. Dies entspricht einem Wärmeanteil von 70%. Die Spitzenlast wird durch einen Gaskessel mit 300 kW gedeckt.

Die elektrische Leistung des BHKW's beträgt $50 \text{ kW}_{\text{el}}$. Der erzeugte Strom von ca. 325 MWh/a wird ins öffentliche Netz eingespeist. Die Vergütung erfolgt nach dem KWK-Gesetz. Die Einspeisevergütung beträgt mit 9 ct/kWh (siehe Variante B3) ca. 30 T€ pro Jahr.

Die Gesamtinvestitionen für die Heizzentrale betragen ca. 230 T€. Hinzu kommen Kosten in der Höhe von 410 T€ für das Nahwärmenetz und die Übergabestationen. Somit betragen die Gesamtinvestitionen ca. 640 T€.

Variante C3: Pflanzenöl-BHKW und Pflanzenöl-Spitzenkessel

Wie bei der vorherigen Variante wird die Grundlast durch ein BHKW ($75 \text{ kW}_{\text{el}} / 105 \text{ kW}_{\text{th}}$), die Spitzenlast durch einen zusätzlichen Ölkessel (300 kW) abgedeckt. Als Brennstoff dient Pflanzenöl, durch dessen Einsatz die CO₂-Emissionen drastisch reduziert werden.

Anstelle des Gasanschlusses wird bei dieser Variante ein Öltank mit ca. 50 m³ Volumen benötigt.

Die Einspeisevergütung beträgt nach EEG (Strom aus Biomasse) und dem KWK- und NaWaRo-Bonus bei einer Inbetriebnahme vor 2010 185 €/MWh. Daraus ergibt sich bei einer Stromerzeugung von ca. 490 MWh/a eine Einspeisevergütung von ca. 90 T€ pro Jahr.

Die Investitionskosten für die Heizzentrale werden auf ca. 315 T€ geschätzt. Hinzu kommen Kosten von 410 T€ für das Nahwärmenetz und die Übergabestationen, womit sich Gesamtkosten von 725 T€ ergeben.

Variante C4: Solaranlage mit Mehrtagesspeicher und Gaskessel

Bei dieser Variante erfolgt die Wärmeerzeugung durch eine Solaranlage und einen Mehrtagesspeicher.

Damit auch einige Tage schlechter Witterung im Sommer bzw. der Übergangszeit überbrückt werden können, wird eine Kollektorfläche von 700 m² und ein Speichervolumen von 100 m³ vorgesehen. Damit werden 25% des Gesamtwärmebedarfs gedeckt. Die restliche Wärme wird durch einen Gaskessel von 400 kW bereit gestellt.

Eine mögliche Aufstellung der Solarkollektoren ist auf den Carports. Der Mehrtagesspeicher muss aufgrund seiner Größe außerhalb der Heizzentrale aufgestellt werden. Möglichkeiten der Integration siehe Bild 12.

Die Investitionskosten betragen für die Heizzentrale incl. der gesamten Anlagentechnik 450 T€. Darin enthalten sind die Kosten für die Solaranlage incl. Pufferspeicher und Solarleitungen in Höhe von 275 T€. Zusammen mit den Kosten für das Nahwärmenetz und die Übergabestationen in Höhe von 410 T€ ergeben sich Gesamtinvestitionskosten von 860 T€. Die Förderung durch das Programm Solarthermie 2000plus beträgt ca. 83 T€ für die Solaranlage.



Bild 12: Thermische Solaranlagen und architektonische Integration von Wärmespeichern

Ergänzung zu diesem Kapitel:

Das östliche Quartier (Baufelder 9-11) sollte ebenfalls auf seine Eignung für solare Versorgung untersucht werden. Dabei ist die Unterbringung der Kollektoren auf dem Lärmschutzwall einzubeziehen: Dieses Quartier ist von der Anzahl der Gebäude vergleichbar mit dem oben beschriebenen. Der Anteil der freistehenden Häuser ist etwas höher, was den Aufwand für die Wärmeverteilung erhöht. Die erforderliche Kollektorfläche ist mit 820 m² um ca. 15% höher als in der obigen Betrachtung. Insgesamt sind die Ergebnisse direkt auf das östliche Quartier übertragbar.

Die Aufstellung von Kollektoren auf einem Lärmschutzwall wurde in der Vergangenheit an mehreren Standorten umgesetzt, z.B. in Neckarsulm und in Crailsheim. Die folgenden Bilder zeigen die Aufstellung der Kollektoren:



Bild 13: Aufstellung von Kollektoren auf einem Lärmschutzwall

2.3. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die in Kapitel 2.2 beschriebenen **Investitionskosten** beziehen sich auf unterschiedlich große Versorgungseinheiten. Um sie vergleichbar zu machen, werden sie alle auf die Kosten pro Haus umgerechnet.

Bild 14 zeigt diese Investitionskosten aller untersuchten Varianten im Vergleich. Aus der Gegenüberstellung sind folgende Aussagen abzuleiten:

- Die höchsten Mehrinvestitionen für effiziente und innovative Wärmeerzeugungsanlagen entstehen bei kleinen, dezentralen Anlagen. Hier können sich die Kosten mehr als verdoppeln.
- Die gemeinsame Wärmeversorgung für eine Reihenhauszeile führt zu enormen Einsparungen bei den Wärmeerzeugern bei nur geringem Aufwand für die Wärmeverteilung.
- Zentrale Versorgungseinheiten mit Gas-BHKW oder Pelletskessel sind nicht oder nur geringfügig teurer als eine dezentrale Wärmeerzeugung mit Gas.
- Der Einsatz von Solaranlagen führt zu einer spürbaren Erhöhung der Investitionen.

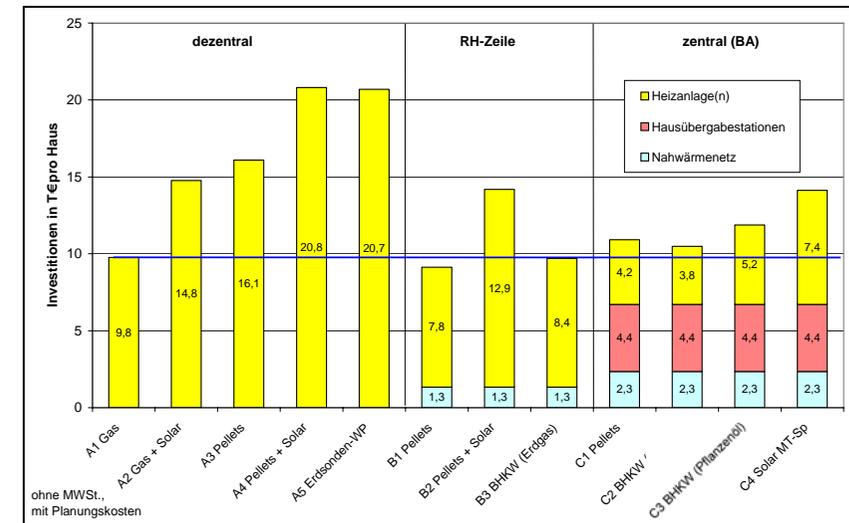


Bild 14: Investitionskosten für Wärmeerzeugung

Die beschriebenen Förderprogramme decken nur einen geringen Betrag der Investitionen ab. Berücksichtigt wurden:

- BAFA, Marktanzreizprogramm (neue Förderrichtlinien ab 2.8.07):
Pelletskessel: 1.500 €
Solaranlagen: 60 €/m²,
- Solarthermie 2000plus:
Solaranlagen >100 m²: 30% der Investitionen

Lediglich bei den Varianten A3, A4 und C4 ergibt sich daraus eine Förderung von mehr als 1.000 € pro Haus (bis zu 1.900 € bei Variante A4 und 1.400 € bei Variante C4).

Die Jahresgesamtkosten (nach VDI 2067) setzen sich zusammen aus den

- Kapitalkosten (ermittelt aus den Investitionen bei einem Zinssatz von 5%)
- den Kosten für Instandsetzung, Wartung und Betrieb
- den Energiekosten
- und ggfs. den Erlösen für den im BHKW erzeugten Strom.

Die Berechnungen basieren zunächst auf den jetzigen Investitionskosten sowie den aktuellen Energiepreisen. Sie geben somit die aktuelle Kostensituation wieder.

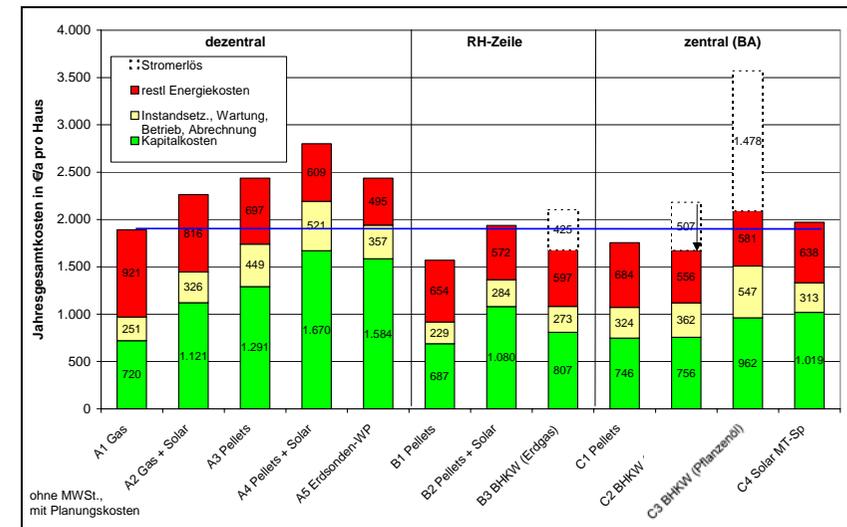


Bild 15: Vergleich der Jahresgesamtkosten

- Die gemeinsame Zentrale für eine Hauszeile stellt sich fast durchgängig als nicht teurer dar als die konventionelle Wärmeversorgung.
- Die kostengünstigste Art der zentralen Versorgung ist die mit Holzpellets oder einem Gas-BHKW.
- Der Einsatz eines Pflanzenöl-BHKW's führt zu sehr hohen Energiekosten, der jedoch eine hohe Einspeisevergütung gegenübersteht (nach EEG gesichert über 20 Jahre). Trotzdem ergeben sich bei Versorgung mit Pflanzenöl die höchsten Gesamtkosten aller zentralen Varianten).

Die beschriebenen Förderprogramme haben nur einen geringen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit. Die Jahreskosten reduzieren sich um höchstens 150 €/a (bei absoluten Kosten von etwa 2.000 €/a).



Bild 16: Jahresgesamtkosten mit Einbeziehung der Förderung

Die Kapitalkosten bleiben im Laufe der Nutzungszeit einer Anlage annähernd konstant, auch die Kosten für Instandsetzung, Wartung und Betrieb steigen üblicherweise nur im Rahmen der allgemeinen Preisentwicklung. Als Unsicherheitsfaktor besteht v.a. die Entwicklung der Energiepreise.

Energiesysteme, die weniger Energie verbrauchen oder prinzipiell kostengünstigere Energieträger verwenden, sind demnach weniger anfällig gegenüber Energiepreisansteigerungen.

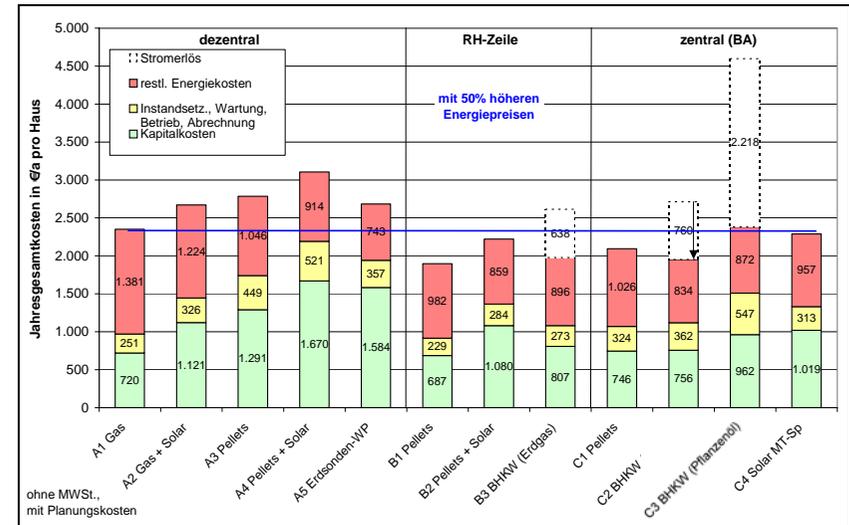


Bild 17: Jahresgesamtkosten mit um 50% höheren Energiepreisen

Untersuchungen für andere Energiestandards:

Die Kosten der bisherigen Berechnungen basieren auf dem Wärmeschutzstandard "KfW 60". In einem weiteren Schritt wurden dieselben Berechnungen für alle in Kap. 1.1 genannten Wärmeschutzstandards durchgeführt. Dazu wurden die jeweiligen Bedarfswerte aus Bild 1 verwendet. Außerdem wurden die Investitionskosten an den geänderten Heizleistungsbedarf angepasst. Für einige Anlagenteile bleiben die Kosten unverändert:

- Die Investitionskosten für dezentrale Anlagen im EFH sind meist unabhängig vom Leistungsbedarf, da ohnehin der kleinste zur Verfügung stehende Wärmeerzeuger gewählt wird (Gas- oder Pelletskessel mit ca. 10 kW). Solaranlagen für die WW-Bereitung sind nicht vom Wärmeschutzstandard, sondern vom WW-Bedarf abhängig. Lediglich bei der Variante Wärmepumpe (A5) ergeben sich

Kostenänderungen durch die Anpassung der Erdsondenlänge und der WP-Leistung.

- Geändert wurden die Kosten für die meisten Komponenten in den Heizzentralen. Dies gilt für das BHKW nur zum Teil, da dessen Leistung nicht durch die erforderliche Heizleistung, sondern durch die 50 kW-Grenze des KWK-Gesetzes festgelegt wurde.
- Nicht geändert wurden auch die zentralen Solaranlagen, da ihre Auslegung im Wesentlichen durch den WW-Bedarf bestimmt wird, der sich nicht verändert.
- Für den Passivhausstandard wurde lediglich die zentrale Versorgung in die Betrachtung einbezogen. Für eine dezentrale Versorgung ist eine Vielzahl von Systemen verfügbar, die zudem in sonstige Haussysteme (z.B. Lüftung) integriert sind, so dass verlässliche Kostenangaben allein auf Basis von Gebäudetypologien nicht möglich sind.

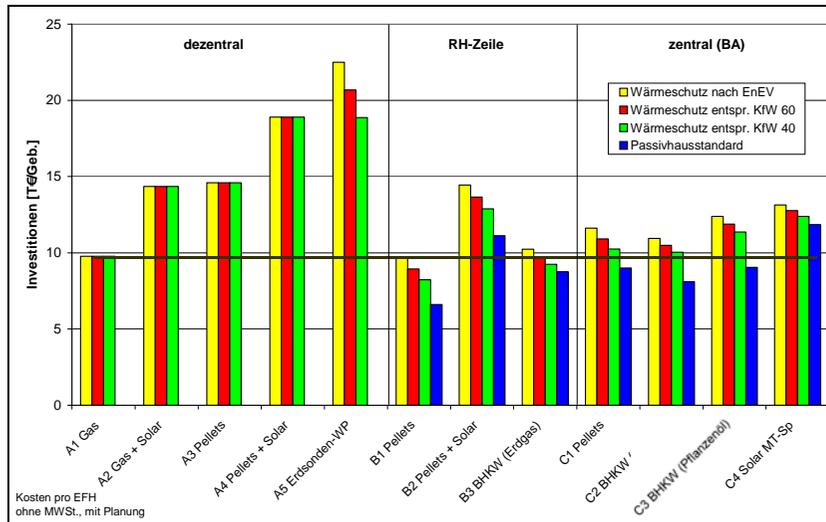


Bild 18: Investitionskosten bei unterschiedlichen Wärmeschutzstandards (mit Förderung)

Mit den geänderten Investitionskosten (Bild 18) wurden die entsprechenden Jahresgesamtkosten (Bild 19) neu berechnet:

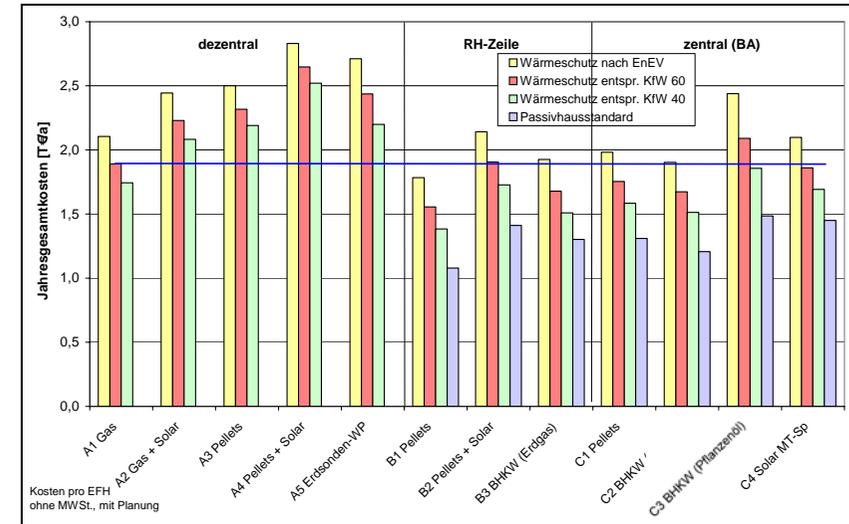


Bild 19: Jahresgesamtkosten bei unterschiedlichen Wärmeschutzstandards

Der geänderte Wärmebedarf und die geänderten Kapitalkosten führen zu folgenden Änderungen gegenüber den ursprünglichen Berechnungen für den Wärmeschutzstandard KfW 60 (rot):

Wärmeschutz nach EnEV (gelb): Die Wärmeversorgungskosten liegen etwa 10 bis 15% höher. (Zu berücksichtigen ist auch, dass der Aufwand für den Wärmeschutz je nach Gebäudetyp etwa 1 bis 5 T€ geringer ist als beim Standard KfW 60.)

Wärmeschutz nach KfW 40 (grün): Die Wärmeversorgungskosten liegen etwa 5 bis 10% niedriger. (Der Mehraufwand für den besseren Wärmeschutz beträgt etwa 5 bis 10 T€ pro Gebäude.)

Passivhausstandard (blau): Die Wärmeversorgungskosten liegen etwa 20 bis 30% niedriger als bei Standard KfW 60.

Eine wesentliche Änderung der Kostenrelation zwischen den einzelnen Varianten ist nicht zu erkennen. Damit ändert sich nichts an den bereits für den Standard KfW 60 getroffenen Grundaussagen.

2.4. Ökologische Bewertung

Eine ökologische Bewertung erfolgt meist nach den Faktoren CO₂-Emissionen oder Primärenergiebedarf. Da die Zielgröße der EnEV und der KfW-Energiestandards jeweils der Primärenergiebedarf ist, wird dieser in der folgenden Bewertung betrachtet. Die CO₂-Emissionen korrelieren ungefähr mit denen der Primärenergie, so dass sich im Vergleich der Varianten ähnliche Ergebnisse einstellen. Bild 20 zeigt den Primärenergiebedarf bei allen untersuchten Versorgungsvarianten bei einem Wärmeschutz gemäß KfW 60-Standard.

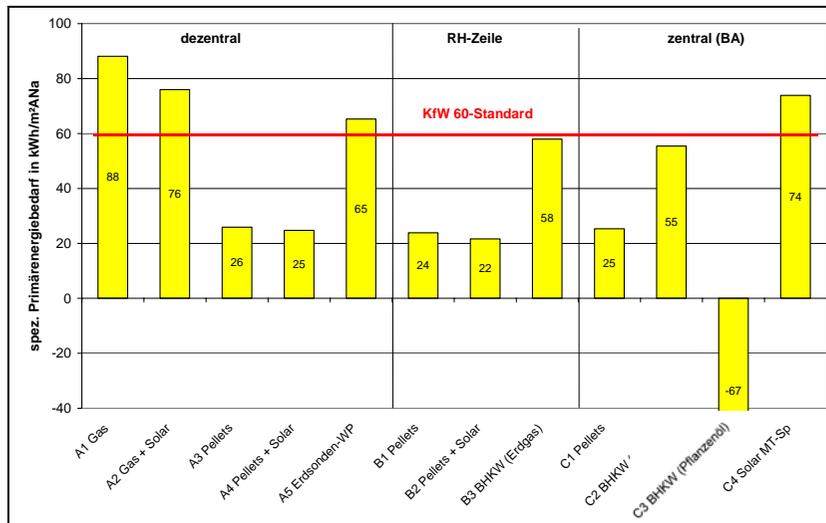


Bild 20: Primärenergiebedarf bei Wärmeschutz gemäß KfW 60 (bezogen auf die Nutzfläche A_N)

- Mit Holz (und ergänzend Sonne) als Energieträger (A3+4; B1+2; C1) wird der Primärenergiebedarf gegenüber der Referenzvariante um 70-75% reduziert.
- Mit einem BHKW als Grundlastwärmeerzeuger (B3; C2) lässt sich der Primärenergiebedarf um 30-35% reduzieren.
- Mit einer dezentralen Solaranlage (A2) reduziert sich der PE-Bedarf um etwa 15%. Das gleiche Ergebnis wird erreicht mit einer deutlich größer dimensionierten zentralen Anlage (C4), allerdings bei geringeren Kosten.
- Die dezentrale Erdsonden-Wärmepumpe (A5) reduziert den PE-Bedarf um ca. 25%.
- Mit einem Pflanzenöl-BHKW ergibt sich rechnerisch ein negativer Wert, in der tatsächlichen Bewertung ein Ergebnis von 0. Dies resultiert aus der Tatsache, dass ein erneuerbarer Brennstoff eingesetzt wird, mit dem auch noch Strom erzeugt wird, d.h. an anderer Stelle der Einsatz fossiler Brennstoffe ersetzt wird.

Ebenso wie die Kosten wurde auch der PE-Bedarf für alle in Kap. 1.1 beschriebenen Wärmeschutzstandards ermittelt. Bild 21 zeigt, welcher Primärenergiebedarf bei unterschiedlicher Art der Wärmeerzeugung in Verbindung mit den 4 verschiedenen Wärmeschutzstandards erreicht werden kann.

Anmerkung: Die zu Grunde liegenden Berechnungen wurden für einen Mix aus freistehenden EFH, Doppel- und Reihenhäusern durchgeführt. Die Bedarfswerte für freistehende EFH sind in der Regel deutlich höher als für die kompakteren Reihenhäuser. Das bedeutet, dass es vorkommen kann, dass bei gleichem Wärmeschutzstandard und gleicher Wärmeversorgung z.B. ein Reihnhaus einen angestrebten Standard erreicht, ein freistehendes EFH aber nicht.

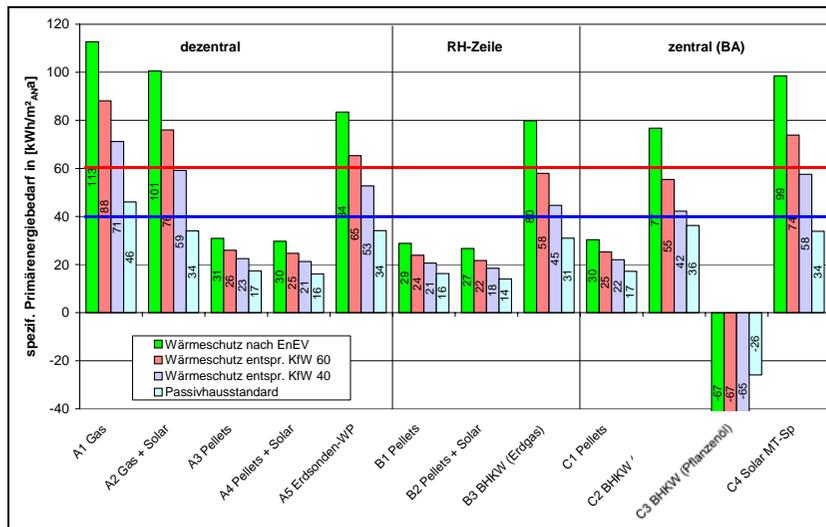


Bild 21: Primärenergiebedarf (bezogen auf die Nutzfläche A_N)

der KfW 60-Standard nur erreicht werden, wenn zusätzliche Maßnahmen wie z.B. ein nochmal deutlich verbesserter Wärmeschutz, zur Anwendung kommen.

- Etwas günstigere Werte als mit Solaranlage ergeben sich beim dezentralen Einsatz einer Wärmepumpe. Aber auch hier werden zusätzlich zu den Mindestanforderungen an den Wärmeschutz weitere Einsparmaßnahmen erforderlich.

Neben den energetischen und wirtschaftlichen Aspekten einer Wärmeversorgung gibt es eine Reihe von weiteren Faktoren, die eine Entscheidung für ein bestimmtes System beeinflussen. Diese sind in der folgenden Tabelle gegenübergestellt:

Für die angestrebten Energiestandards KfW 60 bzw. 40 bedeutet dies:

- Mit Holz als Brennstoff (A3, A4, B1, B2, C1) sind ohnehin nur die Anforderungen an die Gebäudehülle (H_T') zu erfüllen, so dass sich bei entsprechendem Wärmeschutz keine weiteren Schwierigkeiten bei der Umsetzung erhöhter Energiestandards ergeben. Gleiches gilt bei Wärmeversorgung auf der Basis von Pflanzenöl (C3).
- Bei Versorgung mit Gas-BHKW (B3, C2) wird mit dem jeweiligen Wärmeschutzstandard rechnerisch der KfW 60-Standard erreicht, der KfW 40-Standard jedoch verfehlt. Laut Aussage der KfW gilt aber auch hier, dass bei KfW 60 und KfW 40 nur die Anforderungen an die Hülle (H_T') einzuhalten sind, sofern der Anteil der Wärme aus dem BHKW mehr als 70% beträgt. Dies kann bei üblicher BHKW-Auslegung erfüllt werden.
- Bei einer Wärmeversorgung auf Basis von Solaranlagen in Kombination mit herkömmlicher Wärmeerzeugung mit Gas (A2, C4) kann

Energiesystem / Technik	Energieoptimiertes Bauen	Erdgas-Kessel	Solarenergie	Holzpellets	Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)		Wärmepumpe / Erdsonden
					Erdgas	Pflanzenöl	
Erläuterung	Reduzierung des Wärmebedarfs durch bauliche Maßnahmen und effiziente Gebäudetechnik	konventionelle Technik (Vergleichsmaßstab für sonstige Systeme)	Wärmeerzeugung aus Solarstrahlung (Kollektoren)	Wärmeerzeugung aus Holzpellets im Heizkessel	gemeinsame Erzeugung von Wärme und Strom durch Verbrennung von Erdgas bzw. Pflanzenöl, hohe Effizienz gegenüber konventioneller Stromerzeugung durch Abwärmenutzung		Nutzung der oberflächennahen Geothermie (10-20°C) mittels Wärmepumpen
Verfügbarkeit / Potenzial	bei nahezu allen Gebäuden möglich, Einsparung bis ca. 50% möglich	vor Ort ausreichend Versorgungskapazitäten vorhanden, global zunehmende Verknappung zu erwarten	grundsätzlich unendlich, v.a. jedoch nutzbar für WW-Bereitung, mit Speichern auch für Heizung (30-50% Anteil)	Holz derzeit in ausreichendem Maße vorhanden, Produktionskapazität für Pellets stark steigend	s. bei Erdgas im Wohnungsbau ganzjähriger Betrieb möglich, 60-80% Deckung durch BHKW möglich	bisher kleiner Pflanzenölmarkt	für EFH flächendeckend möglich, erfordert Niedertemperatur-Heizsystem
Einsparpotenzial / Energiestandards	Grundvoraussetzung für verbesserten Energiestandards, als alleinige Maßnahme meist nicht ausreichend	-	keine Emissionen im Betrieb für KfW 60 bzw. 40 allein meist nicht ausreichend	CO ₂ -neutraler Brennstoff, da das bei der Verbrennung freiwerdende CO ₂ beim Pflanzenwachstum gebunden wurde; KfW 60 bzw. 40 problemlos umsetzbar	KfW 60 bzw. 40 problemlos realisierbar, wenn Wärmeannteil aus BHKW größer als 70%	nahezu CO ₂ -neutraler Brennstoff, zudem Stromgutschrift; KfW 60 bzw. 40 problemlos umsetzbar	ca. 25-30% KfW 60 mit vertretbarem Mehraufwand umsetzbar, KfW 40 meist nur mit zusätzlicher Solaranlage und Wärmerückgewinnung möglich
Stand der Technik	Vielzahl an ausgereiften Produkten verfügbar / ständige Weiterentwicklungen, z.B.: Wärmedämmung, Wärmeschutzverglasung, Wärmerückgewinnung	gängige Technik	marktreife Technik, v.a. Flachkollektoren im Einsatz	ausgereifte Verbrennungstechnik, erste Brennkessel in Betrieb, Abgasreinigung in Entwicklung	ausgereifte Technik	Technik mit weiterem Entwicklungsbedarf, z.T. Probleme mit Zuverlässigkeit	ausgereifte Technik
Einsetzbarkeit in zentralen und dezentralen Systemen	-	beides möglich, zentrale Anlagen aber wegen zusätzlicher Wärmeverluste nicht sinnvoll	beides möglich, Langzeitspeicher überwiegend in größeren Einheiten	beides möglich, Kesselgröße meist bis ca. 500 kW, darüber Holzackschnitzel	beides möglich, Einsatz im EFH wegen geringer Auslastung wirtschaftlich nicht sinnvoll		günstig für dezentralen Einsatz, für zentrale Systeme ungünstig wegen höherer Systemtemperaturen
zeitliche Festlegungen	Vorgabe von Energiestandards im B-Plan oder Grundstücksverträgen, Umsetzung bei Gebäudeplanung	Gasnetz bei Erschließung	bei dezentralen Anlagen erst bei Planung der Gebäude; Nahwärmenetze erfordern Festlegung im B-Plan bzw. vor der Erschließung			erst bei Gebäudeplanung	
Wirtschaftlichkeit		geringe Anfangsinvestitionen, unsichere Preisentwicklung	sehr hohe Anfangsinvestitionen, fast keine Betriebskosten	hohe Investitionen, niedrige Energiepreise f. Holz, insgesamt konkurrenzfähig mit Gas und Öl	Wirtschaftlichkeit bei Anlagen < 50 kWel und bei Eigennutzung des Stroms, hohe Laufzeiten erforderlich, Abhängigkeit von 2 Energiepreisen (Gas und Stromerlös)	hohe Investitionen, hoher Brennstoffpreis, hohe Einspeisevergütung nach EEG (ca. 19 ct/kWh)	hohe Investitionen für Erdsonden oder Brunnen, niedrige Energiekosten
Kombinationsmöglichkeiten	mit nahezu allen Arten innovativer Wärmeerzeugung kombinierbar	mit allen Arten von erneuerbaren Energien kombinierbar, häufig zur Spitzenlastdeckung eingesetzt	mit fossilen Wärmeträgern oder mit Holz; mit BHKW ungünstig	monovalent oder als Grundlastwärmeerzeuger, Kombination mit thermischen Solaranlagen sehr günstig	Grundlastwärmeerzeuger, meist kombiniert mit Spitzenkessel (Gas oder Pflanzenöl)		im EFH monovalent
Förderprogramme	KfW 60/40		Marktanreizprogramm (BA-FA) Solarthermie 2000plus (für Anlagen > 100 m ²)	Marktanreizprogramm (BA-FA)	KWK-Gesetz (Einspeisevergütung)	EEG (Einspeisevergütung)	

Abb.22 Vergleich von Energieversorgungsvarianten

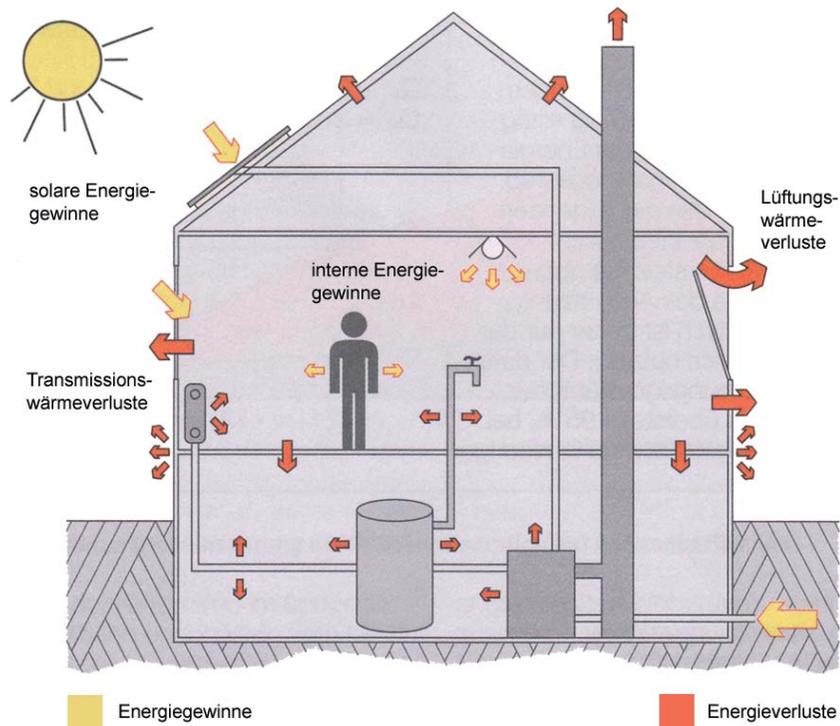


Abb. 1
Energiehaushalt
Quelle: Arbeitsgemeinschaft Ziegel, EnEV Energiesparverordnung

Teil 3 Anhang

1. Definition der Begriffe

Energiebilanz

Um während der Heizperiode eine definierte Temperatur aufrechtzuerhalten, muss dem Gebäude Energie zugeführt werden. Ein Teil dieser Energie kommt von außen durch die Sonneneinstrahlung sowie aus internen Wärmequellen wie Beleuchtung, Personen und Abwärme von Geräten. Die Gebäudehülle verliert über Transmissionsverluste Wärme, durch den Sauerstoffbedarf im Wohnrauminneren lassen sich Lüftungswärmeverluste nicht vermeiden. In der Heizwärmebilanz werden die Wärmegewinne mit den Wärmeverlusten verrechnet. Die Heizenergiebilanz ist von einer Vielzahl städtebaulicher, bauphysikalischer, formspezifischer, nutzerspezifischer und äußerer Einflussgrößen bestimmt.

Wärmeverluste

Der Wärmeverlust eines Gebäudes setzt sich aus dem Transmissionswärmeverlust und Lüftungswärmeverlusten zusammen. Die Verluste sind sowohl von äußeren Faktoren wie Klima und Nutzerverhalten, als auch von gebäudespezifischen Voraussetzungen, wie Dämmstandard und Lüftungseinrichtung sowie Oberflächen/Volumen Verhältnis abhängig.

Transmissionswärmeverlust

definiert den Wärmestrom durch die Außenbauteile je Grad Kelvin Temperaturdifferenz. Ursächlich für den Wärmeverlust ist die Temperaturdifferenz zwischen dem Gebäudeinneren und seiner Umgebung. Der Transmissionswärmeverlust wird von der Außenoberfläche A , über die das Gebäude Energie verliert, und durch den baulichen Wärmeschutz U bestimmt ($H_T = A \times U \times (T_i - T_a)$)

Wärmedurchgangskoeffizient

Maß für den baulichen Wärmeschutz. Der U-Wert gibt den stündlichen Wärmestrom durch ein Bauteil mit einem m² Oberfläche bei einem Grad Temperaturdifferenz zwischen Innen und Außenseite an (Einheit W/m²K). Je kleiner der U-Wert, desto geringer ist der Wärmestrom durch ein Bauteil und somit der Wärmeverlust. Bei homogenen Bauteilen ist der U-Wert umgekehrt proportional zur Bauteildicke, Verdoppelung der Bauteildicke halbiert den Wärmestrom.

Lüftungswärmeverlust H_V

Der Lüftungswärmeverlust bilanziert die durch den Luftaustausch verlorene Wärmemenge. Der Luftaustausch ist primär notwendig, um die im Gebäude durch Atemluft, Pflanzen und heißes Wasser freigesetzte Luftfeuchtigkeit abzutransportieren und Bauschäden zu vermeiden. Der Luftaustausch wird durch die Luftwechselrate β quantifiziert. Diese gibt an, wie oft das Luftvolumen V_L eines Raumes je Stunde ausgetauscht wird. ($H_V = V_L \times \beta \times 0,34 \times (T_i - T_a)$). Zur Abführung von Luftfeuchtigkeit und Gerüchen müssen im Mittel pro Stunde 50% - 80% der Luftmenge des Gebäudes ausgetauscht werden. Der Anteil an Lüftungswärmeverlusten liegt bei gut wärmegeprägten Gebäuden mit manueller Lüftung bei über der Hälfte der gesamten Wärmeverluste. Durch die Dichtigkeit des Gebäudes und kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung können diese Verluste weiter deutlich reduziert werden.

Wärmegewinne

Setzen sich durch solare Gewinne und interne Wärmegewinne zusammen. Solare Gewinne sind stark abhängig von klimatischen und klein-klimatischen Faktoren und der städtebaulichen Struktur. Die Schnittstelle Fassade spielt ebenfalls eine erhebliche Rolle.

Solare Gewinne Q_s

Wärmegewinne aus diffuser und direkter Sonneneinstrahlung auf die Bauteile eines Gebäudes. Die Fassade eines Gebäudes bildet ein höchst effizientes passives Solarsystem. Das Gebäude mit seiner Platzierung, seiner Geometrie, und Bauelementen gebraucht die Sonnene-

nergie ganz direkt und ohne Umwege. Die passive Nutzung der Sonne ist die einfachste und wirksamste Form des solaren Bauens. Das Haus und seine Elemente werden als solares System betrachtet. Die richtige Ausrichtung und Dimensionierung der Fensterflächen, sowie der Wärmedurchgangsgrad g der Fenster sind beeinflussende Faktoren für die Energiebilanz. Durch eine sorgfältige Abstimmung dieser Faktoren kann die Sonnenwärme effizient aufgenommen und gespeichert werden und das Licht optimal eingesetzt werden.

Interne Wärmequellen

Unter internen Wärmequellen versteht man die im Gebäude freigesetzte Abwärme aus Energieumwandlungsprozessen, die nicht primär zur Beheizung des Gebäudes bestimmt sind. Hierzu zählen die Körperwärme von Personen (60-120 W je Person), die bei Stromverbrauch in Wärme umgesetzte Energie (Elektrogeräte, Kühlschränke....) und die Abwärme beim Kochen. Die zur Erzeugung von Warmwasser aufgewandte Energie kann nur zu einem kleinen Teil hinzugerechnet werden, weil die Wärme nicht im Gebäude verbleibt, sondern überwiegend in die Kanalisation abgeführt wird.

Jahres Heizenergiebedarf Q_h

Berechnete Energiemenge, die der Heizung, Lüftung sowie der Warmwasserbereitung bereitgestellt werden muss, um die festgelegte Rauminnentemperatur und die Erwärmung des Warmwassers über das ganze Jahr sicherzustellen. Diese Energiemenge bezieht die für den Betreiber der Anlagentechnik (Pumpen, Regelung..) benötigte Hilfsenergie mit ein.

Jahres-Primärenergiebedarf

Jährliche Energiemenge, die zusätzlich zum Energieinhalt des Brennstoffes und der Hilfsenergien für die Anlagentechnik unter Berücksichtigung der für die jeweiligen Energieträger geltenden Primärenergiefaktoren auch die Energiemenge einbezieht, die für Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe (vorgelagerte Prozessketten außerhalb des Gebäudes) erforderlich ist.


Transmissionswärmeverlust

$$Q_B = A_{\text{Bauteil}} \cdot U_{\text{Bauteil}} \cdot t \cdot \Delta\theta$$

- A_{Bauteil} Fläche Bauteil [m²]
 U_{Bauteil} U-Wert Bauteil [W/m²K]
 $\Delta\theta$ Temp.diff. innen-außen [K]
 t Zeit [h]

	U (W/m ² K)
2-Scheiben Wärmeschutzglas	1.4
3-Scheiben	0.5
EnEV Wand	<0.35
NEH Wand	<0.25
Passivhaus Wand	<0.15


Lüftungswärmeverlust

$$Q_{\text{Luft}} = V_{\text{Raum}} \cdot c_{\text{Luft}} \cdot t \cdot \Delta\theta \cdot n$$

- V_{Raum} Raumvolumen [m³]
 c_{Luft} Wärmekapazität Luft 0.34 [W_h/m³K]
 $\Delta\theta$ Temp.diff. innen-außen [K]
 n Luftwechselzahl
 t Zeit [h]

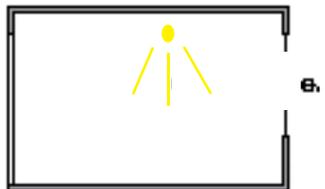
	n (h ⁻¹)
Fenster u. Türen geschl.	0-0.5
Fenster gekippt	0.3-1.5
Fenster halb offen	5-10
Fenster ganz offen	10-15
Fe. u. Türen offen	>40


Solare Gewinne

$$Q_{S,M} = 0,024 \cdot \theta_{S,M} \cdot t_M$$

- F_s Verschattung
 g_s Energiedurchlassgrad Verglasung
 F_c Abminderungsfaktor So.Schutz
 f Verglassungsanteil Fassade
 t Zeit [h]

	g
2-Scheiben Wärmeschutzglas	0.6
3-Scheiben	0.4
2-Scheibern Sonnenschutz	0.3


Interne Wärmegewinne

 W/m²

- Q_i nach EnEV 5 W/m²

Abb. 2

Gewinne und Verluste, beispielhafte Darstellung der Bezugswerte

Quelle: G.A.S., Stuttgart 2007

Die Primärenergie kann auch als Beurteilungsgröße für ökologische Kriterien, wie z.B. CO₂-Emission, herangezogen werden, weil damit der gesamte Energieaufwand für die Gebäudebeheizung einbezogen wird. Der Jahres-Primärenergiebedarf ist die Hauptanforderung der Energieeinsparverordnung. Energiemenge, die den Anlagen für Heizung, Lüftung, Warmwasserbereitung und Kühlung zur Verfügung gestellt werden muss, um die normierte Rauminnentemperatur und die Erwärmung des Warmwassers über das ganze Jahr sicherzustellen. Diese Energiemenge bezieht die für den Betrieb der Anlagentechnik (Pumpen, Regelung, usw.) benötigte Hilfsenergie ein.

Endenergie

Die Endenergie wird an der „Schnittstelle“ Gebäudehülle übergeben und stellt somit die Energiemenge dar, die dem Verbraucher (im allgemeinen dem Eigentümer) geliefert und mit ihm abgerechnet wird. Der Endenergiebedarf ist deshalb eine für den Verbraucher besonders interessante Angabe. Er muss vor diesem Hintergrund im Energiebedarfsausweis getrennt nach verwendeten Energieträgern angegeben werden; bei Wohngebäuden kann er neben der auf die Gebäudenutzfläche bezogenen Angabe und dem absoluten Wert (Gesamtbedarf für das Gebäude) auch auf die Wohnfläche bezogen angegeben werden (freiwillige Angabe). Der auf die Wohnfläche bezogene Bedarfswert ist in der Regel höher als der entsprechende, auf die Gebäudenutzfläche bezogene Wert, weil die Wohnfläche in der Regel kleiner ist als die Gebäudenutzfläche.

Bezugsflächen

Bezugsflächen und Rauminhalte (geometrische Angaben)

Die Gebäudenutzfläche (A_N) der EnEV 2002-2004 beschreibt die im beheiztem Gebäudevolumen zur Verfügung stehende nutzbare Fläche. Sie wird aus dem beheizten Gebäudevolumen unter Berücksichtigung einer üblichen Raumhöhe im Wohnungsbau abzüglich der von Innen- und Außenbauteilen beanspruchten Fläche ermittelt. Sie ist in der Regel größer als die Wohnfläche, da z.B. auch indirekt beheizte Flure und Treppenhäuser einbezogen werden.

Beheizte Wohnfläche

Die Wohnfläche kann nach § 44 Abs. 1 der für den preisgebundenen Wohnraum geltenden II. Berechnungsverordnung ermittelt werden. Sie bezieht nur die wirklich innerhalb der Wohnung genutzten Flächen ein und ist in der Regel kleiner als die nach physikalischen Gesichtspunkten ausgerechnete Gebäudenutzfläche im Sinne der Energieeinsparverordnung.

Beheiztes Gebäudevolumen (V_e)

Das beheizte Gebäudevolumen (V_e) ist das an Hand von Außenmaßen ermittelte, von der wärmeübertragenden Umfassungs- oder Hüllfläche eines Gebäudes umschlossene Volumen. Dieses Volumen schließt mindestens alle Räume eines Gebäudes ein, die direkt oder indirekt durch Raumverbund bestimmungsgemäß beheizt werden. Es kann deshalb das gesamte Gebäude oder aber nur die entsprechenden beheizten Bereiche einbeziehen.

Wärmeübertragende Umfassungsfläche (A)

Auch Hüllfläche genannt. Sie bildet die Grenze zwischen dem beheizten Innenraum und der Außenluft, nicht beheizten Räumen und dem Erdreich. Sie besteht üblicherweise aus Außenwänden einschließlich Fenster und Türen, Kellerdecke, oberster Geschosdecke oder Dach. Diese Gebäudeteile sollten möglichst gut gedämmt sein, weil über sie die Wärme aus dem Rauminnen nach Außen dringt.

Anlagenaufwandszahl e_p

Sie beschreibt die energetische Effizienz des gesamten Anlagensystems über Aufwandszahlen. Die Aufwandszahl stellt das Verhältnis von Aufwand zu Nutzen (eingesetzter Brennstoff zu abgegebener Wärmeleistung) dar. Je kleiner die Zahl ist, um so effizienter ist die Anlage. Die Aufwandszahl schließt auch die anteilige Nutzung erneuerbarer

Energien ein. Deshalb kann dieser Wert auch kleiner als 1,0 sein. Bei der hier angegebenen „Anlagenaufwandszahl“ ist die „Primärenergie“ einbezogen. Die Zahl gibt also an, wie viele Einheiten (kWh) Energie aus der Energiequelle (z. B. einem Erdgaskessel) gewonnen werden müssen, um mit der beschriebenen Anlage eine Einheit Nutzwärme im Raum bereitzustellen.

Wärmebrücke

Wärmebrücken sind Zonen der Außenbauteile, bei denen gegenüber der sonstigen Fläche ein besonders hoher Wärmefluss auftritt. Neben geometrischen gibt es insbesondere konstruktive Wärmebrücken, die an Bauteilanschlüssen auftreten. An diesen Stellen können sich im Übrigen die raumseitigen Oberflächentemperaturen abkühlen und so Grundlage für eine eventuelle Schimmelpilzbildung sein. Wärmebrücken müssen deshalb besonders konstruktiv behandelt und energetisch optimiert werden.

Dichtheit

Gemeint ist die Dichtheit der wärmeübertragenden Umfassungsfläche. Sie soll sicherstellen, dass der Austausch der Raumluft nicht unkontrolliert aufgrund der Wind- und Luftdruckverhältnisse, sondern gezielt nach hygienischen Erfordernissen oder sonstigen Bedürfnissen (z. B. Behaglichkeit, gesundes Raumklima) erfolgen kann. Unerwünschte Luftwechsel über Bauteilfugen sind nicht nur zusätzliche Energieverluste, sie können auch zu Bauschäden führen, wenn sich durch warme, feuchtigkeitsgeladene Luft in kalten Bauteilschichten Tauwasser bildet. Die Lüftung eines Gebäudes wird durch eine nach dem Stand der Technik dichte Ausführung nicht beeinträchtigt; sie kann nur durch gezieltes, wohldosiertes Öffnen der Fenster oder durch Lüftungsanlagen sichergestellt werden.

Quelle: Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 13 der Energieeinsparverordnung

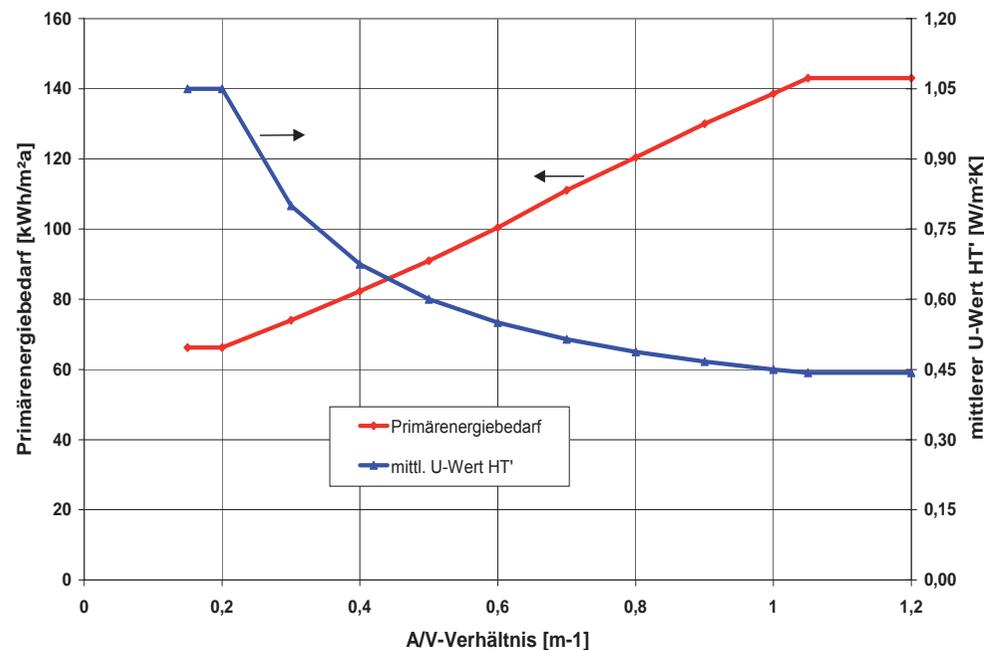
2. Definition von Standards

Energiestandards dienen dazu, die gesamtenergetische Qualität eines Gebäudes einzuordnen. Maßstab und Hilfsmittel dazu ist meist die derzeit geltende Energieeinsparverordnung (EnEV) bzw. ihr Berechnungsverfahren.

Folgende Energiestandards sind gegenwärtig in Verwendung: (Mindest)anforderungen nach EnEV:

EnEV-Standard

Die EnEV stellt, in Abhängigkeit vom A/V-Verhältnis, d.h. von der Geometrie eines Gebäudes, Anforderungen an den:



- PE-Bedarf für Heizung und WW-Bereitung ($\text{kWh/m}^2\text{A}_{\text{Na}}$)
- mittlerer U-Wert (H_T') der Gebäudehülle ($\text{W/m}^2\text{K}$) (s. Bild 1.)

Bei Gebäuden, die zu mehr als 70% mit erneuerbaren Energien oder aus Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW) versorgt werden, ist **nur** die Anforderung an H_T' zu erfüllen.

Diese Anforderungen sind gesetzliche Mindestanforderungen für neue Gebäude und sind unbedingt einzuhalten.

Als erhöhte Anforderung kann ein Primärenergiebedarf von x% unter EnEV festgelegt werden.

Niedrigenergiehaus (NEH)

Eine eindeutige und allgemein anerkannte Definition dafür existiert nicht. Meist entstanden mit jeder neuen Wärmeschutzverordnung neue Definitionen für das NEH. Dieses hatte dann jeweils die gesetzlichen Anforderungen zu unterbieten.

Folgende Definitionen „kursieren“:

- Ein Gebäude mit einem Heizwärmebedarf von weniger als 70 $\text{kWh/m}^2\text{a}$ (bei EFH) bzw. 55 $\text{kWh/m}^2\text{a}$ (bei MFH). Bezugsfläche ist hier die Wohnfläche! (u.a. verwendet in Österreich und vom Passivhaus-Institut Darmstadt).
- Zu Zeiten der Wärmeschutzverordnung '95, die bis Anfang 2002 gültig war, hatte ein NEH einen Heizwärmebedarf von 25% unter den Anforderungen.
- Die Gütegemeinschaft Niedrigenergie-Häuser e.V. fordert von einem NEH einen mittleren U-Wert H_T' (nach EnEV), der 30% unter den Mindestanforderungen liegt. Diese Anforderung ist identisch mit der, die die KfW an die Gebäudehülle beim Energiesparhaus 60 stellt.

Abb. 4
Zulässige Werte für PE und H_T' nach EnEV
Quelle: EGS-plan

Energiesparhaus 60 (nach KfW*)

Ein Energiesparhaus 60 („KfW 60-Haus“) weist einen Primärenergiebedarf von maximal $60 \text{ kWh/m}^2\text{A}_N$, ermittelt nach dem Rechenverfahren der EnEV, auf. Zudem ist der maximal zulässige Wert H_T' um 30% zu unterschreiten. Diese Anforderungen sind bei größeren Gebäuden in der Regel leichter zu erreichen als bei kleinen, da bei ihnen zum einen das A/V-Verhältnis und damit die spezifischen Verluste über die Gebäudehülle geringer sind. Zum anderen werden mit dem geringeren A/V-Verhältnis die Anforderungen an die Gebäudehülle geringer. Die Definition dieses Energiestandards beruht auf einem Förderprogramm der KfW, die für derartige Gebäude zinsgünstige Darlehen vergibt.

Energiesparhaus 40 (nach KfW*)

Ein Energiesparhaus 40 („KfW 40-Haus“) weist einen Primärenergiebedarf von maximal $40 \text{ kWh/m}^2\text{A}_N$, ermittelt nach dem Rechenverfahren der EnEV, auf. Zudem ist der maximal zulässige Wert H_T' um 45% zu unterschreiten. Dieser Standard erfordert Maßnahmen, die im Einzelfall nahe an denen für ein Passivhaus sein können.

Bei beiden KfW-Energiesparhäusern gilt ebenfalls:

Bei Gebäuden, die zu mehr als 70% mit erneuerbaren Energien oder aus Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW) versorgt werden, ist nur die (erhöhte) Anforderung an H_T' (d.h. 30 bzw. 45% unter EnEV-Grenzwert) zu erfüllen.

Passivhaus

Ein Passivhaus weist einen Jahresheizwärmebedarf von maximal $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und einen Primärenergiebedarf für Heizung, WW-Bereitung und Haushaltsstrom von maximal $120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (jeweils bezogen auf Wohnfläche!) auf (Definition und Berechnung nach Passivhaus-Institut Darmstadt). Um diese Werte zu erreichen, sind folgende Maßnahmen bzw. Komponenten unabdingbar:

- hochwertiger Wärmeschutz mit Dämmstoffdicken von 25 bis 40 cm in den Außenbauteilen
- 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung
- besondere Sorgfalt hinsichtlich Luftdichtheit und Reduzierung von Wärmebrücken
- kontrollierte Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung

Bei allen Standards, die Anforderungen an absolute Werte (z.B. Heizwärme oder Primärenergie) stellen, sind die Anforderungen bei kleineren, weniger kompakten Gebäuden bedeutend schwerer zu erfüllen als bei großen, kompakten Gebäuden.

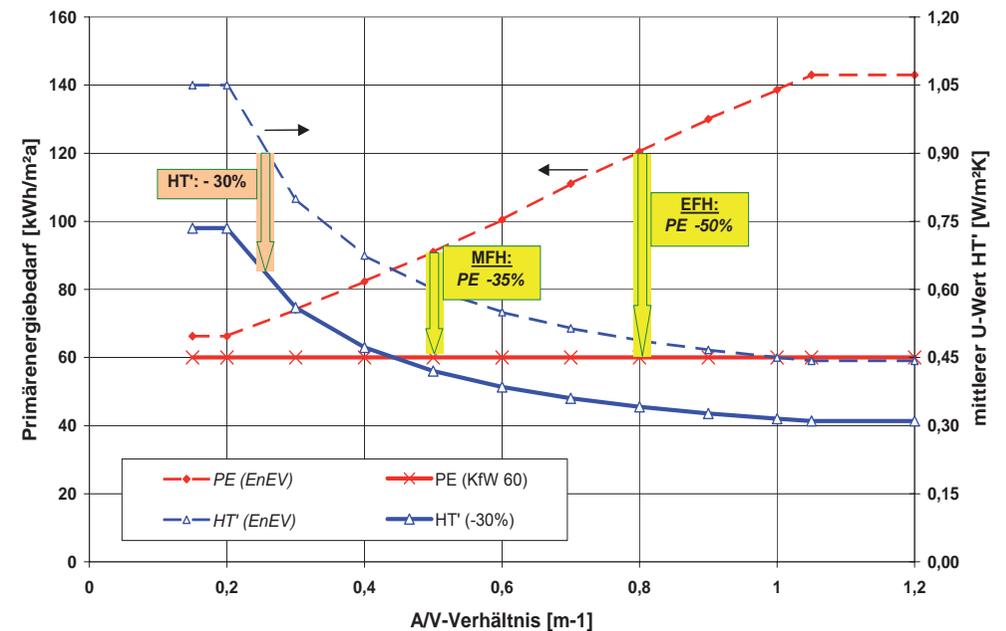
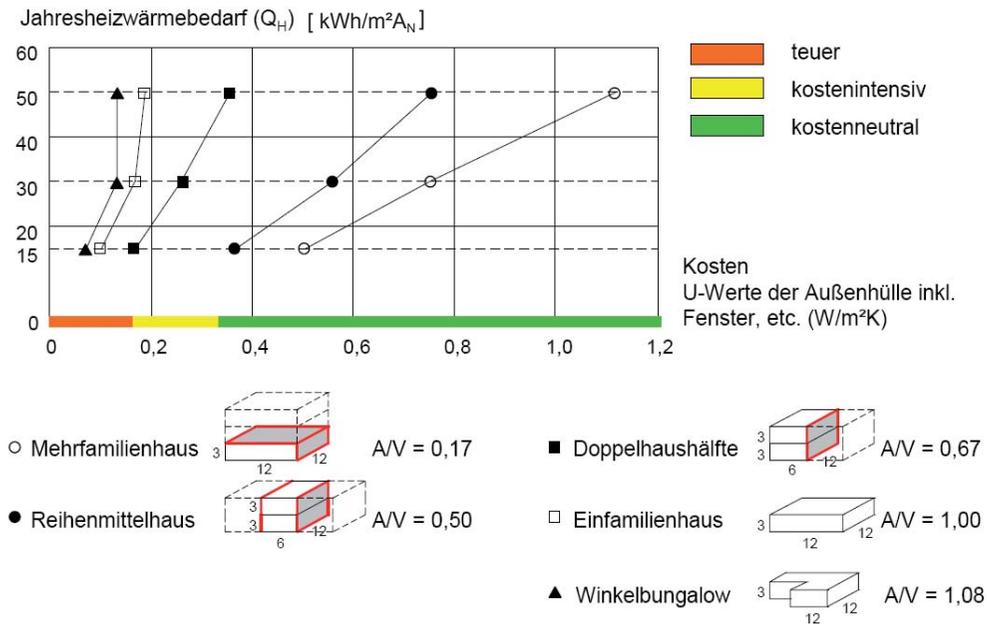


Abb. 5
Vergleich der Kennwerte bei EnEV- und KfW 60-Standard
Quelle: EGS-plan

*KfW: Kreditanstalt für Wiederaufbau



Winkelbungalows und Einfamilienhäuser fallen durch den hohen Aussenwandanteil (schlechtes A/V-Verhältnis) sehr ungünstig aus. Sehr kompakte Bauformen wie Doppelhäuser, Reihenhäuser und Mehrfamilienhäuser hingegen können mit einem geringeren Dämmstandard angesetzt werden um die Anforderungen zu erfüllen.

Abb. 6
A/V-Verhältnis und abhängige U-Werte die angestrebt werden müssen in Verbindung der Mehrkosten
Quelle: G.A.S. 2002



Der Bericht wurde erstellt am 06.08.2007

Dipl. Ing. Jörg Baumgärtner
Dipl.-Ing. Josef Broll

in Steinbeis – Transferzentrum
Energie-, Gebäude- und Solartechnik (STZ-EGS)
Gropiusplatz 10
70563 Stuttgart

Telefon: 0711. 990 07 – 5
Telefax: 0711. 990 07 – 99
e-mail: info@stz-egs.de

Prof. Dipl. Ing. Georg Sahner BDA / E2D

in G.A.S. Sahner- Architekten und Stadtplaner
Ludwigstrasse 57
70178 Stuttgart

Telefon: 0711. 666 21 – 0
Telefax: 0711. 666 21 – 52
e-mail: gas.sahner-sahner@t-online.de