



Kapitel 1

ZUKUNFTSSICHERE KALKSANDSTEIN-BAUWEISE

Stand: 08/2025

Dr. Burkhard Schulze Darup,
Architekt, Berlin



1. Was macht Wohngebäude zukunftssicher?

Das Klimaschutzgesetz (KSG) schreibt für die Bundesrepublik Deutschland Treibhausgasneutralität bis 2045 verbindlich fest. Als Zwischenziel soll bis zum Jahr 2030 eine Minderung der Treibhausgasemissionen um 65 % gegenüber 1990 erreicht werden. Für den Gebäudesektor ist eine Reduktion für den Zeitraum 2023 bis 2030 von 102 auf 67 Mio. Tonnen CO₂-Äq. vorgegeben, was jährlich einer Einsparung von ca. 5 Mio. t CO₂-Äq. entspricht.

Um diese ambitionierten Ziele zu erreichen, ist beim Neubau in etwa der Standard Effizienzhaus 40 erforderlich in Verbindung mit umfassender erneuerbarer Energieversorgung. Denn unabhängig von zukünftigen politischen Vorgaben gibt es für zukunftssichere Planung eine einfache Maxime: maßgebend ist es, welches Anforderungsprofil ein klimaneutrales Gebäude im Jahr 2045 haben muss, damit keine unwirtschaftlichen Nachbesserungen an den Gebäudekomponenten vor Ablauf der Nutzungszeiten anfallen. Sinnvolle Leitplanken für wirtschaftliche Planungen müssen bereits in der Bauleitplanung und in den frühen Projektplanungsphasen gestellt werden.

Der Vorteil im Gebäudesektor liegt darin, dass Lösungen für klimaneutrale Gebäude marktreif sind. Bei zahlreichen gebauten Beispielen übertreffen die erneuerbaren Erträge z.B. durch Photovoltaik in der Jahresbilanz den gesamten Energiebedarf des Gebäudes und erzielen Treibhausgasneutralität. Vom baulichen Standard her ist es völlig unstrittig, dass dafür nur hocheffiziente Gebäude zukunftsfähig sind. Über viele Jahre gibt es dazu zahlreiche Monitoring-Beispiele insbesondere aus dem Bereich der Passivhaus-Technik mit äußerst guten Ergebnissen (Bild 1). Der Standard ist validiert, mit etwas Erfahrung sehr kostengünstig und vor allem mit gestalterisch und funktional hochwertiger Architektur umsetzbar.

Eine zusätzliche Herausforderung liegt darin, neben der Berücksichtigung der Nutzungsphase auch die herstellungsbedingten Emissionen in die Optimierung der Entwürfe einzubeziehen. Die Ökobilanzierung bietet dafür ein Instrumentarium, das sich bisher sehr aufwändig und kostenintensiv darstellte, jetzt jedoch an der Schwelle zur einfachen Umsetzung in der Breite steht. Dadurch wird es im Planungsprozess ermöglicht, bereits in der ent-



Bild 2 Zukunftsfähiges Mehrfamilienhaus in KS-Bauweise mit strombasierter Versorgung aus erneuerbaren Energien

scheidenden Vorentwurfsphase begründete Entscheidungen im Hinblick auf die Nachhaltigkeit zu treffen.

Energetisch hochwertige Bauten bieten zudem den Vorteil, dass die Gebäudetechnik deutlich einfacher ausgeführt werden kann. Die erforderliche Heizlast ist schlichtweg so niedrig, dass hochkomfortable Heizsysteme mit sehr geringer Leistung ausreichend sind. Große Unterstützung dafür bietet Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung, die nicht nur hohen Komfort und Raumluftqualität gewährleistet. Insbesondere in den kalten Winterphasen werden Energiebedarf und Heizlast um 30 bis 50 % reduziert als Voraussetzung für kostengünstige erneuerbare Versorgung.

Wir befinden uns in einem Transformationsprozess von der Energiebereitstellung mit fossilen Brennstoffen hin zu einer weitestgehend strombasierten Versorgung aus erneuerbaren Energien (Bild 2). Das stellt sich als große Herausforderung dar, bietet aber zugleich Chancen zur Vereinfachung der Technik, insbesondere wenn Heizen, Kühlen, Warmwasser, Nutzerstrom und E-Mobilität in Zukunft vernetzt gedacht und geplant werden. Dadurch kann zugleich eine hohe Netzverträglichkeit erzielt werden, damit eine erneuerbare Versorgung auch in Zeiten der kalten Dunkelflauge wirtschaftlich sichergestellt werden kann, also in der Zeit, zu der Windkraft und Photovoltaik nur bedingt zur Verfügung stehen.

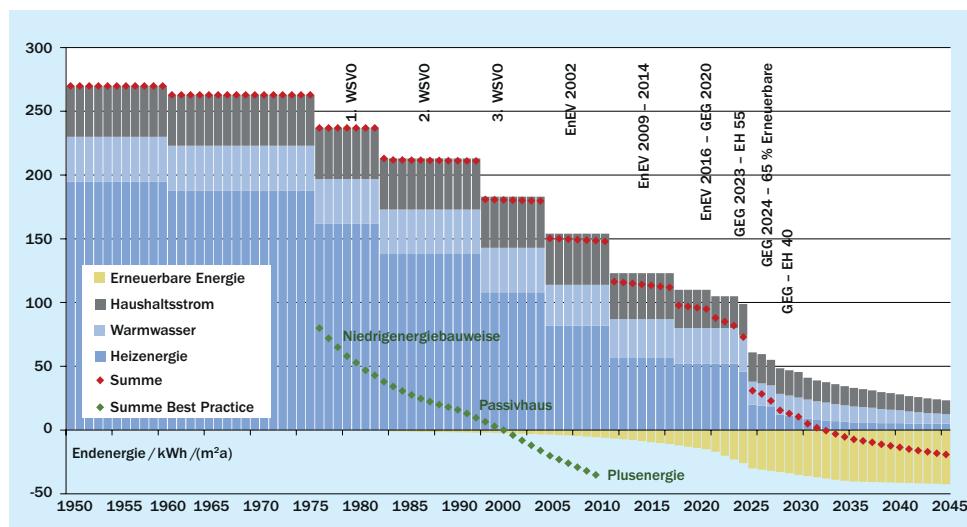


Bild 1 Entwicklung des Endenergiebedarfs von Neubauten, Vergleich von gesetzlichen Mindestanforderungen und Best-Practice-Standard

2. Entwurfsaspekte für nachhaltige Gebäude

Nachhaltiges Bauen erfordert interdisziplinäre Zusammenarbeit in einem Team, das bereits in den ersten Leistungsphasen des Planungsprozesses intensiv zusammenarbeitet. Darauf hinaus gilt jedoch, dass jedes Bauvorhaben – selbst bei seriellen Bauweisen – ein spezifisches Anforderungsprofil aufweist, dem es gerecht zu werden gilt.

In der städtebaulichen Planung werden die Grundlagen für eine hohe architektonisch-städtebauliche Qualität gelegt, aber auch für die Wirtschaftlichkeit der Baugebiete und zahlreiche weitere

Anforderungen. Dabei muss der Planenden bewusst sein, dass ein Entwurf die Optimierung einer hohen Zahl von Parametern darstellt. Nie können alle Aspekte gleichermaßen perfekt gelöst sein. Dabei erfordert jede Entwurfsaufgabe – beginnend mit den städtebaulichen Festsetzungen – aufgrund ihrer spezifischen Herausforderungen individuelle Lösungsansätze. Die nachfolgenden beispielhaften Entwurfsfaktoren sind wichtig für Gestaltung, Wirtschaftlichkeit, Effizienz und Komfort. Um hohe Nachhaltigkeit zu erzielen, ist integrale Planung innerhalb des Planungsteams ab Projektbeginn Voraussetzung.



2.1 Ausrichtung und passive solare Gewinne

Im städtebaulichen Entwurf und in den frühen Planungsphasen können relevante Vorteile für die spätere Objektplanung gesetzt werden. Ein wesentlicher Aspekt ist eine optimierte Ausrichtung, die den Komfort, die Belichtung und auch passive solare Gewinne optimiert (Bild 3). Vorrangig südliche Ausrichtungen der Aufenthaltsräume sind optimal für winterlichen Energieertrag und sommerlichen Wärmeschutz. Ost- und Westseiten weisen niedrige Einstrahlwinkel auf, die zu hohem Wärmeeintrag im Sommer führen und somit den sommerlichen Wärmeschutz anspruchsvoller werden lassen.

Eine optimierte Gebäudegeometrie und Ausrichtung führt zu passiv-solaren Gewinnen von bis zu 20 kWh/(m²a), im Vergleich dazu liegen ungünstige Lösungen bei nur 5 bis 10 kWh/(m²a). Bei einem Heizwärmeverbrauch von 10 bis 20 kWh/(m²a) hocheffizienter Gebäude sind das relevante Größenordnungen, die zu Einsparungen bei den baulichen Maßnahmen und der Gebäudetechnik genutzt werden können. Je kompakter ein Gebäude wird, desto unwichtiger wird die Ausrichtung aus energetischer Sicht, d.h. Gebäude mit einem sehr günstigen Verhältnis von Außenhülle zu beheiztem Volumen (A/V-Verhältnis) vertragen auch eine ungünstigere Ausrichtung der Fenster.



Bild 3 Optimierte Gebäudeausrichtung und Belichtung bei einer Quartiersentwicklung

2.2 Erschließung

Optimierte Erschließung weist sowohl für die städtebauliche Situation als auch für die daraus resultierende Objektplanung eine hohe Relevanz auf. Wenn wir uns an dieser Stelle auf den zweiten Aspekt beschränken, gilt besonders im verdichteten Wohnungsbau, dass Kosten für die Zuwegung der Wohnungen anteilig sinken, je mehr Einheiten von einem Erschließungssystem erschlossen werden. Bei sehr kompakten Gebäuden können Erschließungen im Gebäudekern mit fünf bis sieben Wohnungen je Etage gut funktionieren. Ein Nachteil besteht darin, dass eine Einschränkung bei der Ausrichtung gegeben ist und keine Querlüftung über Fenster möglich ist. Da die Nebenräume bei solchen Wohnungen ohnehin im Gebäudekern situiert sind, können die Lüftungsanforderungen sehr gut über mechanische Lüftungsanlagen erfüllt werden.

INFO

Bei der Erschließung über Treppenhäuser und Aufzugsanlagen ist neben brandschutztechnischen Auflagen besonders der Schallschutz zu beachten. Eine sehr wirtschaftliche Konstruktion ist die Ausführung mit KS-Mauerwerk.

Eine Alternative stellen Laubengangerschließungen dar, deren großer Vorteil in der sehr hohen Wohnungsanzahl pro Treppenhaus und Aufzug liegt. Nachteile ergeben sich für Grundrisse größerer Wohnungen, sodass zum Laubengang in den meisten Fällen kleine Wohnungen angeordnet werden und die größeren an den Enden der Laubengänge. Zu beachten sind die Bewirtschaftungskosten, insbesondere für Schneeräumung und sonstige wetterbedingte Einflüsse.

2.3 Geschossigkeit und Gebäudetiefe

In der Bebauungsplanung legen die Geschossflächenzahl (GFZ) und Grundflächenzahl (GRZ) das Maß der baulichen Nutzung fest. Damit korrespondiert die Anzahl der Geschosse, die in Verbindung mit den Abstandsflächen die städtebauliche Dichte definiert. Diese kann bereits bei 4-5 Geschossen extrem optimiert werden. Die Umsetzung dieser Festsetzungen in qualitätvolle städtebauliche Planung weist hohe Relevanz für die Wirtschaftlichkeit der Bebauung aber auch für die energetischen Belange auf: je höher die Geschossigkeit und die Gebäudetiefe, desto günstiger kann das Verhältnis der Außenfläche zum Gebäudevolumen (A/V-Verhältnis) sein. Bei hoher Gebäudetiefe gilt analog zu den Erschließungsoptionen, dass in den schlecht belichteten inneren Gebäudeteilen die Neben- und Sanitärräume der Wohnung untergebracht werden, belüftet durch möglichst hochwertige Lüftungskonzepte.

INFO

Je weniger Fläche benötigt wird, um die Funktion des Gebäudes zu erfüllen, desto nachhaltiger ist der Entwurf. Es gilt also möglichst flächeneffizient zu planen sowohl für Nebenflächen, Funktionsflächen als auch Verkehrsflächen, z.B. für Tiefgaragen. Jede Flächeneinsparung senkt die Treibhausgas-Bilanz.

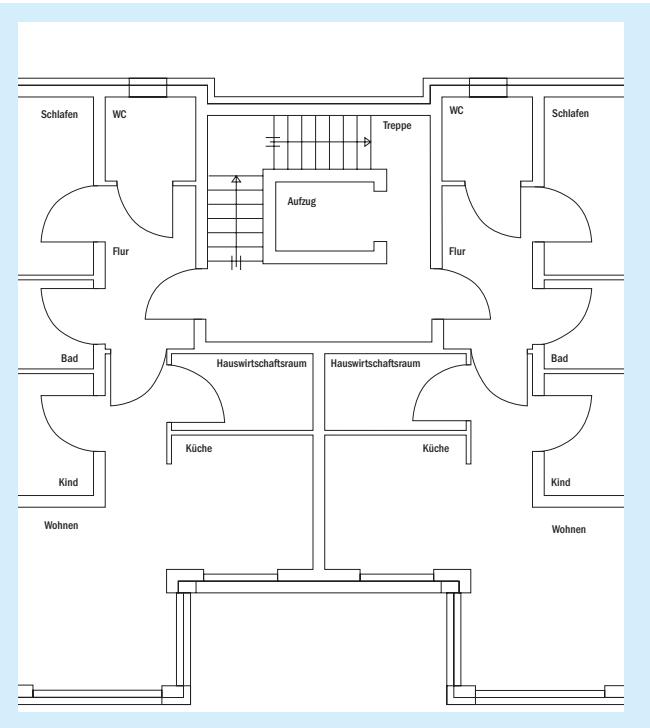


Bild 4 Aufzugsschacht zentral im Treppenraum ist wirtschaftlich mit KS-Mauerwerk ausführbar

2.4 Gebäudegeometrie

Geschossigkeit und Gebäudetiefe sind wesentliche Parameter für die Gebäudegeometrie. Durch kompakte Gebäudeformen, also durch ein günstiges A/V-Verhältnis, werden Transmissionsflächen eingespart. Die Reduzierung der Hüllfläche im Vergleich zur Nutzfläche senkt die Baukosten. Zugleich werden Energieverluste über die Gebäudehülle minimiert. Weitere Faktoren wie eine hohe Gebäudetiefe erhöhen ebenfalls die Effizienz der Entwürfe sowohl hinsichtlich der Investitionskosten als auch der energetischen Parameter. Entwürfe mit Hauptaufenthaltsbereichen in Fensternähe und Nebenräumen sowie Sanitärbereiche im Gebäudekern ermöglichen gute und wirtschaftliche Lösungen.

2.5 Fassadengestaltung im Entwurf

Eine besondere Kunst des Entwurfs liegt in hoher Gestaltungsqualität ohne unnötige Versatz- oder Versprungelemente in der Gebäudehülle, die zu aufwendigen konstruktiven Anschlüssen und erhöhten Transmissionsflächen führen (Bild 5). Das gilt für Gestaltungselemente der Fassade in der Vertikalen und Horizontalen, für Balkone und Loggien. Beim unteren Abschluss des Gebäudes ist es ideal, wenn keine Unterkellerung vorliegt und die Bodenplatte des untersten beheizten Geschosses vollflächig die thermische Hülle darstellt. Dem stehen allerdings Nutzungsaspekte, insbesondere in verdichteten Gebieten gegenüber, die z.B. Tiefgaragen erfordern können.

Bei Unterkellerung ist in der Vorplanung festzulegen, wo beheizte und unbeheizte Bereiche liegen, sodass die Übergänge zu unbeheizten Kellerräumen mit möglichst geringen Transmissionsflächen erzielt werden, die zugleich wärmebrückenarm ausführbar sind.

Beim oberen Abschluss ist eine analoge Situation bei unbeheizten Dachböden gegeben. Eine optimierte Planung ist aber auch bei Staffelgeschossen erforderlich, die sehr schnell zu deutlichen Mehrkosten führen können und zudem die Photovoltaikfläche reduzieren. Vergleichbare Fragestellungen ergeben sich aus Dachaufbauten und Techniknutzungen im Dachbereich.

2.6 Fenster – Belichtung und Verschattung

Die Fensterflächen in der Fassade stellen ein zentrales Gestaltungselement des Entwurfs dar. Zugleich sind zahlreiche weitere Aspekte des winterlichen und sommerlichen Wärmeschutzes, aber auch der Wirtschaftlichkeit zu beachten. Die Planung

die ggf. durch eine Tageslichtsimulation unterstützt wird, führt zu angemessenen Fenstergrößen: Zu große Fensterflächen sind teuer und bringen Nachteile vor allem für den sommerlichen Wärmeschutz. Zu geringe Fensterflächen beeinträchtigen die Tageslichtnutzung. Energetisch liegt das Optimum auf Südseiten oft zwischen 25 und 50 % der Fassadenfläche, bei West-, Ost- und vor allem Nordfassaden sollte die Fensterfläche deutlich geringer geplant werden.

INFO

Kompaktes Bauen ohne unnötige Versprünge in der Vertikalen und Horizontalen führt zu wirtschaftlichen Lösungen – unter Beachtung hochwertiger architektonischer Gestaltung. Vorteilhaft ist zudem eine günstige solare Ausrichtung mit angemessenen Fensterflächen. Zudem gilt es ein wirtschaftliches Erschließungskonzept zu planen, das eine höhere Anzahl Wohnungen mit wenig Verkehrsfläche und einer geringen Zahl an Aufzügen erschließt.



Bild 5 Gradlinige Fassadenlösung für ein Gebäude mit guter Kompaktheit

3. Behaglichkeit und gesundes Wohnen

Das Erreichen hohen Wohnkomforts ist eine grundlegende Anforderung an die Gebäudeplanung. Wirtschaftliche Planung zeichnet sich dadurch aus, möglichst viele der im Folgenden benannten Aspekte in einem integralen Planungsprozess im Entwurf zu optimieren. Das ist vorteilhaft für die resultierenden Lebenszykluskosten, die sich besonders günstig darstellen bei energetisch effizienten Gebäuden in Verbindung mit möglichst einfacher und kleiner Gebäudetechnik, die zudem wartungsarm und langlebig sein sollte.



Bild 6 Komfortfaktoren bestimmen in hohem Maß die Qualität von Gebäuden

3.1 Winterlicher Wärmeschutz

Seit mehr als dreißig Jahren bewähren sich hocheffiziente Gebäudekonzepte wie das Passivhaus. Die Gebäudehülle aus Kalksandsteinwänden sorgt aufgrund der hochwertigen Dämmung und der Speichermasse für ausgeglichenes Raumklima und warme Oberflächen an den Innenseiten der Außenbauteile, was von den Bewohnern als sehr behaglich empfunden wird. Bei Abschalten der Heizung sinkt die Temperatur innerhalb von 24 Stunden selbst an kalten Tagen gerade einmal um ein Kelvin. Lastmanagement kann dieses Verhalten in Verbindung mit der hohen Speichermasse nutzen, indem zu Lastspitzenzeiten des Netzes die Heizung abgeschaltet wird. Zudem kann die Heizleistung sehr kostengünstig mittels niedriger Temperaturen über Heizkörper oder Flächenheizungen bereitgestellt werden und der Heizenergieverbrauch liegt bei hocheffizienten Gebäuden niedriger als der Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung.

3.2 Sommerlicher Wärmeschutz

Sommerlicher Wärmeschutz erlangt nicht nur aufgrund der Klimaveränderungen zunehmende Bedeutung. Die diesbezügliche Planung hängt von vielfältigen Parametern ab. Neben der Ausrichtung des Gebäudes und optimiert angeordneten Fensterflächen stellt die aktive regel- und steuerbare Verschattung eine wesentliche Maßnahme dar. Als wesentlicher Faktor wirkt die Masse des Gebäudes. Massive Baukonstruktionen aus Kalksandstein verbessern die sommerliche Situation durch ihr hohes Wärmespeichervermögen. Die Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz müssen gemäß DIN 4108-2 nachgewiesen werden. In der Regel kann bei der schweren Bauweise mit Kalksandstein auf eine zusätzliche klimatechnische Lösung verzichtet werden. Zur Erhöhung des sommerlichen Komforts kann bei Heizsystemen mit Wärmepumpen sehr kostengünstig eine Konditionierung erfolgen und die Temperatur in Hitzeperioden um zwei bis vier Kelvin gesenkt werden. Bei Gebäuden in Leichtbauweise müssen bezüglich des sommerlichen Wärmeschutzes Defizite durch aufwändigere gebäudetechnische Maßnahmen ausgeglichen werden.

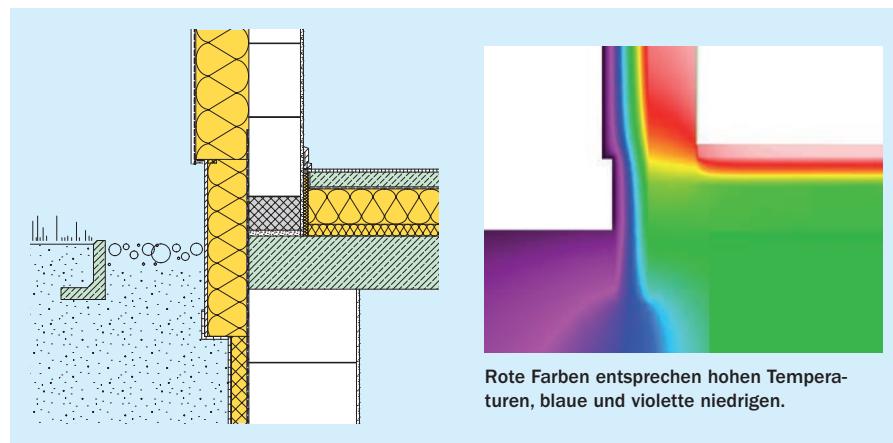


Bild 7 Hochwertige Details als Grundlage für hohe Energieeffizienz

3.3 Raumluftqualität

Ventilatorgestützte Lüftungssysteme bieten den Vorteil, dass eine hohe Raumluftqualität nutzerunabhängig sichergestellt wird. Die Luftmengen können individuell und raumweise geregelt werden und bieten einen hohen Wohnkomfort, da auf eine regelmäßige Fensterlüftung verzichtet werden kann. Bei Zu-/Abluftsystemen mit Wärmerückgewinnung wird zudem kontinuierlich über den Wärmetauscher vorgewärmte Außenluft ohne Zugerscheinungen in die Aufenthaltsräume gebracht, was einen nochmals erhöhten Komfort mit sich bringt. Zudem ist die Belastung durch Außenlärm bei geschlossenen Fenstern deutlich geringer, was insbesondere bei innerstädtischen Quartieren von großem Vorteil ist. Selbst der sommerliche Wärmeschutz ist ohne Nachtauskühlung über geöffnete Fenster möglich, wenn die Maßnahmenkonstellation des vorhergehenden Kapitels zur Anwendung kommt.

3.4 Schallschutz

In Massivbauten aus Kalksandstein kann aufgrund der hohen Masse der Wände ein Schallschutzniveau deutlich oberhalb des Mindestschallschutzes nach DIN 4109-1 erreicht werden.

Besonders im Wohnungsbau wird häufig ein erhöhtes Schallschutzniveau erwartet und auch umgesetzt. Dies gilt nicht nur für die Wohnungstrennwände, sondern auch für die Raumtrenn-

wände. Auch bei der Nachhaltigkeitszertifizierung fließt dieses erhöhte Niveau positiv in die Bewertung ein.

Das Schallschutzniveau sollte schon in der Vorplanungsphase festgelegt werden. In den weiteren Planungsphasen müssen die vereinbarten Schallschutzanforderungswerte für die jeweiligen Raumsituationen durch schalltechnische Berechnungen nachgewiesen und bewährte Ausführungsdetails eingeplant werden (Bild 8). Ein unzureichender Schallschutz in einem erstellten Gebäude lässt sich nicht bzw. nur mit erheblichem Aufwand nachträglich verbessern.

3.5 Belichtung

Die Verschattung durch Gebäude und Bäume im Umfeld sollte durch den städtebaulichen Entwurf möglichst gering gehalten werden. Wichtig ist aber auch eine minimierte Eigenverschattung z.B. durch Überstände, Balkone/Loggien und Versprünge. Zudem bringen reduzierte äußere Laibungstiefen und geringe Rahmenanteile der Fenster erhöhte Solareinträge im Winter und vor allem einen günstigen Tageslichteintrag. Gute Belichtung stellt einen essentiellen Wohlfühlfaktor dar. Dazu helfen zusätzlich helle Oberflächen im Belichtungs- und Laibungsbereich sowie minimierte Sturzhöhen der Fenster, um den Anteil des Zenitlichts zu erhöhen, wodurch verbesserte Belichtung und Tageslichtkomfort in der Raumtiefe erzielt werden. Dagegen weisen die Fensterflächen bei raumhohen Fenstern im Brüstungsbereich eher einen geringen Einfluss auf die Belichtung auf.



Bild 8 Durchgehende Wohnungstrennwand als Beispiel für eine optimierte schalltechnische Planung

4. Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit eines Bauwerks wird nicht allein durch die Höhe der Investitionskosten geprägt. Diese Sichtweise prägte die Bauwirtschaft und Investitionsentscheidungen über viele Jahrzehnte. Erst wenn die ökonomische Betrachtung um eine Lebenszykluskostenanalyse (LCC-Analyse) erweitert wird, können alle Kosten (Erstellung und Nutzung) beurteilt werden. Dabei geht es um zahlreiche Faktoren wie die Betriebs- und Wartungskosten, Langlebigkeit der Baukonstruktionen und der Aufwand für ihre Instandsetzung inkl. der jeweiligen Dauer der

Instandsetzungszyklen. Bauten mit hohem Technikaufwand schneiden ungünstiger ab als dauerhaft konstruierte Gebäude mit hochwertiger Gebäudehülle und sehr niedrigem Energiebedarf. Bei einem stimmigen erneuerbaren Versorgungskonzept liegen die Investitionskosten sicher etwas höher, die Betriebskosten dagegen weisen im günstigsten Fall sogar ein jährliches Plus auf. Schließlich geht es um die Finanzierungskosten, die einen hohen Einfluss auf die Neubautätigkeit ausüben.

4.1 Kostentreiber

Zunächst gilt es allerdings die Aspekte zu betrachten, die Bauen teuer machen können. Nach einer Hochkonjunkturphase im Wohnungsbau, die sich seit 2010 zunächst in den Metropolen aufbaute, führten Markt-, Förder- und Zinsentwicklung ab 2022 dazu, dass die Anzahl der Neubauvorhaben sukzessive einbrach.

In Bild 9 werden zahlreiche Parameter mit ihren Auswirkungen auf die Investitionskosten pro m² Wohnfläche dargestellt. Dabei handelt es sich um Kostenspektren, die im Rahmen eines umfassenden Forschungsvorhabens in Zusammenarbeit mit der Wohnungswirtschaft festgestellt wurden.

- **Marktsituation:** seit ca. 2012 stiegen die Immobilienpreise und parallel dazu die Gestaltungskosten jährlich um 5 bis über 15 %. Die Darstellung zeigt das Kostenspektrum in Abhängigkeit von der konkreten Marktsituation, welches mehrere hundert Euro pro m² Wohnfläche betragen kann, in Metropolregionen auch deutlich darüber.
- **Grundstückskosten:** Steigerungsraten pro Jahr deutlich über 100 Euro pro m² waren temporär die Regel, seit 2022 ist die Entwicklung verlangsamt, in einigen Regionen sogar rückläufig.
- **Vergabeverfahren:** Die beteiligten Unternehmen erhielten in Abhängigkeit vom Vergabeverfahren sehr unterschiedliche

Angebote. Wirtschaftliche Ergebnisse wurden insbesondere bei Vergabeverfahren in Zusammenhang mit Bauteam-Lösungen erzielt.

- **Stellplätze:** Ein Stellplatz kostet in günstigsten Fällen um 10.000 Euro, bei aufwendigen Tiefgaragen deutlich über 30.000 Euro. Umgerechnet auf eine 2- bis 3-Zimmer-Wohnung sind das 150 bis 600 Euro pro m² Wohnfläche. Stellplatzsatzungen haben mithin einen sehr hohen Einfluss auf die Immobilienpreise. Sie sollten in Abhängigkeit von einem zu erbringenden Mobilitätskonzept zielgerichtete Spielräume bieten, um Fehlinvestitionen zu vermeiden. Zahlreiche Wohnungunternehmen müssen Garagenflächen in andere Nutzungen umwandeln, um Leerstand zu vermeiden.
- **Erschließung:** Sowohl das städtebauliche als auch das Gebäudebezogene Erschließungskonzept hat hohe Auswirkungen auf die Kosten. Gleiches gilt für die Versorgungsmedien, bei denen sowohl die Investitionskosten, vor allem aber die späteren Betriebskosten von Belang sind.
- **Barrierefreiheit und Bauqualität:** sind hinsichtlich ihrer Kostenprägung unstrittig.

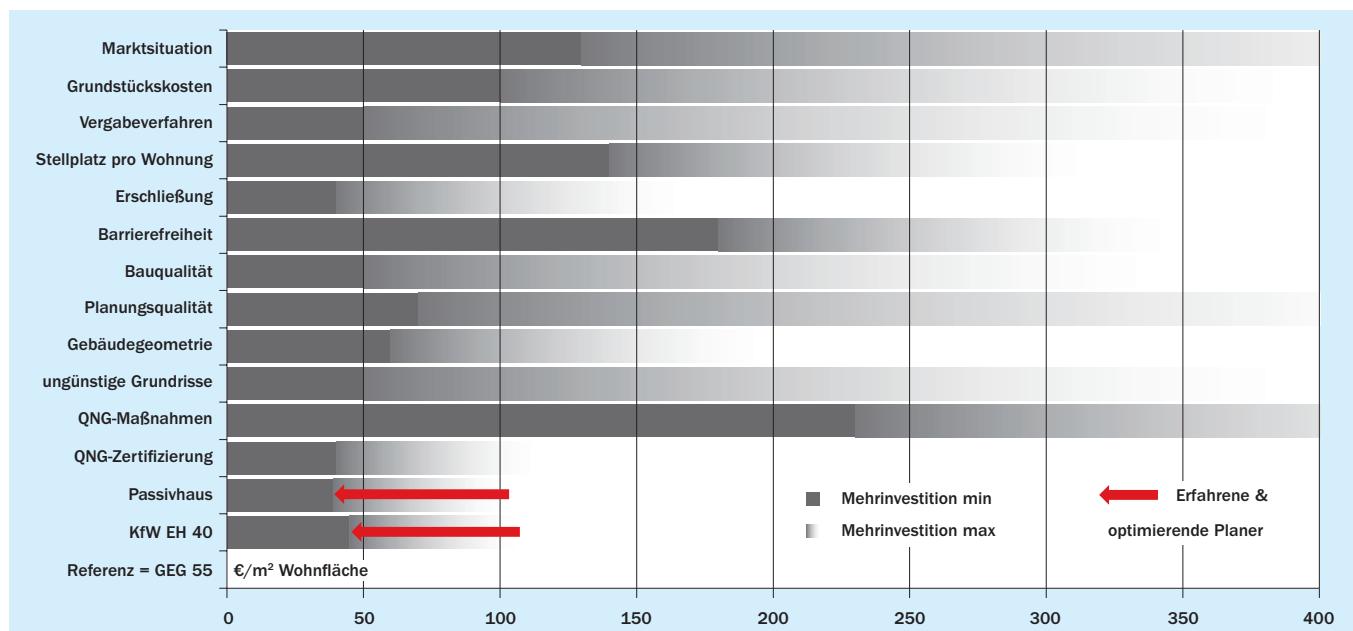


Bild 9 Vergleich von Kostentreibern im Geschosswohnungsbau

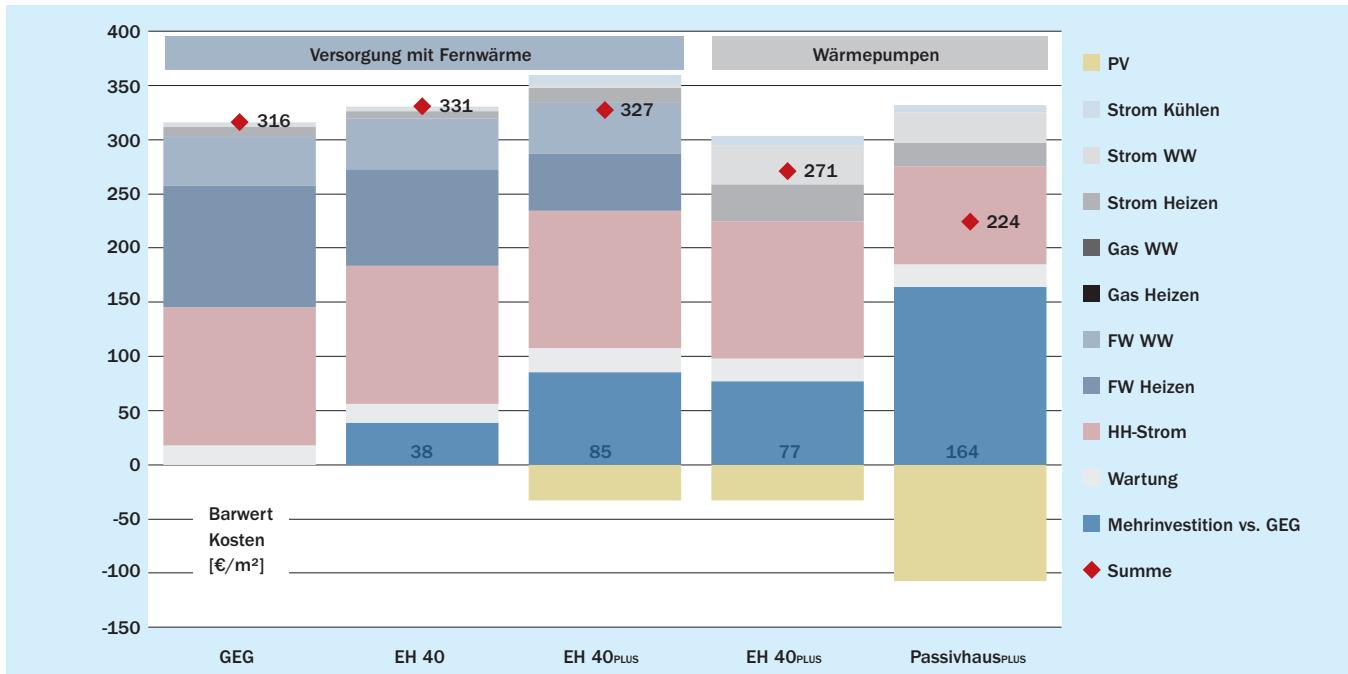


Bild 10 Vergleich der Lebenszykluskosten unterschiedlicher Effizienzstandards

- Planungsqualität: Planungsteams, die Erfahrungen mit nachhaltigen Entwürfen inkl. effizienter Details und Ausführungsoptimierungen haben, können wirtschaftliche Lösungen nicht nur hinsichtlich der Investitionen, sondern auch hinsichtlich der Lebenszykluskosten umsetzen. Gebäudegeometrie und optimierte Grundrisslösungen sind dabei zwei wichtige Parameter.
- QNG: Anforderungen des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude (QNG) können zu relevanten Kosten führen. In Abhängigkeit von den Fähigkeiten der zertifizierenden Akteure geht es einerseits um die Kosten für die zu erfüllenden Maßnahmen. Dazu kommt der Zertifizierungsprozess, der zu Mehrkosten zwischen 40 und – insbesondere bei kleineren Gebäuden – deutlich über 100 Euro pro m² führen kann.
- Passivhaus und KfW Effizienzhaus 40: Im Vergleich dazu liegen die energetisch bedingten Mehrkosten eher niedrig. Der Standard Effizienzhaus 40 und auch der Passivhaus-Standard liegen ca. 50 bis 100 Euro pro m² Wohnfläche über dem Referenzstandard GEG, der bei sinnvoller Planung dem ehemaligen Effizienzhaus 55 entspricht. Erfahrene Effizienz-Planende liegen dabei fast immer am unteren Rand der im Diagramm aufgeführten Mehrinvestitionen. Effizienzmaßnahmen weisen zudem den Vorteil auf, dass sie im Gebäudebetrieb, also für die Lebenszyklusbetrachtung, relevante Vorteile bewirken.

4.2 Lebenszyklusbilanzierung für Gebäudeerstellung und Betrieb

Lebenszyklusanalysen erfassen nicht nur die Investitionskosten, sondern darüber hinaus zahlreiche weitere Faktoren des Gebäudebetriebs. Es werden mithin die Kosten ausgewiesen, die bei der Nutzung des Gebäudes ausschlaggebend sind. Dabei ist das Investor-Nutzer-Dilemma zu beachten, bei dem bisher Investitionen in die Effizienz von Gebäuden vor allem den Nutzern

zugutekommen. Allerdings wird die zukünftig wachsende CO₂-Abgabe zu relevanten Anteilen auf die Eigentümer umgelegt, sodass es kurzfristig wäre, bei Neubauten auf überkommene Standards zu setzen.

Eine Bilanzierung der Lebenszykluskosten eines Gebäudes bezieht neben den Investitions- und Finanzierungskosten die Betriebs- und Unterhaltungskosten ein. Die herstellungsbedingten Einflüsse können zudem mittels einer umfassenden Ökobilanzie-



Wasserturm Niederlehme, ein Symbol für die Langlebigkeit der KS-Bauweise aus dem Baujahr 1902

nung ermittelt werden, die neben der Betriebsphase zusätzlich Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung beinhalten. Dabei spielen die Nutzungszeiten der einzelnen Bauteile eine wesentliche Rolle, die bei bisherigen Betrachtungen für das Tragwerk von Gebäuden meist bei 50 Jahren liegt. Bauteile aus Kalksandstein können problemlos 80 oder 150 Jahre genutzt werden. Das kann in Ökobilanzierungen über Restwertbetrachtungen abgebildet werden. Beim üblichen 50-jährigen Betrachtungszeitraum würden die erfassten Bilanzierungswerte für Kalksandstein mit dem Faktor 0,625 multipliziert für eine 80-jährige Nutzungszeit oder mit dem Faktor 0,33 für 150 Jahre. Umgekehrt wird für die Gebäudetechnik bei Nutzungszeiten von 20 Jahren mit dem Faktor 2,5 multipliziert oder bei 15-Jahreszyklen mit dem Faktor 3,3.

Gegenüber der immer noch üblichen Einschränkung von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen auf die Investitionskosten zeigt eine Lebenszyklusbilanzierung für den Gebäudebetrieb die tatsächlichen Kosten, die pro Jahr anfallen. Vor allem hochwertige energetische Standards führen bei sinnvoller Planung dazu, dass trotz erhöhter Investitionskosten die Lebenszykluskosten niedriger liegen als für Standards niedrigerer Güte. In Bild 10 wird dargestellt, dass hohe Effizienzstandards zwar Mehrinvestitionen erfordern, durch die Einsparung bei den Betriebskosten wird dennoch eine höhere Wirtschaftlichkeit bei den jährlichen Kosten erzielt. Abgebildet wird der Barwert der Kosten über einen Zeitraum von 20 Jahren, bei dem, wie oben beschrieben, eine Restwertbetrachtung eingeflossen ist. Besonders günstig sind die Varianten mit Wärmepumpen-Systemen und Photovoltaikanlagen. Bei Einbeziehung der herstellungsbedingten Aufwendungen wird die Aussage nochmals präzisiert.

INFO

Kostengünstiges Bauen umfasst eine Vielzahl von Parametern. Es geht um die Reduktion von zahlreichen Kostentreibern. Bei guten Planungen wird die höchste Wirtschaftlichkeit bei hocheffizienten Gebäuden mit gut geplanter Gebäudetechnik unter Einbeziehung von erneuerbaren Energien erreicht.

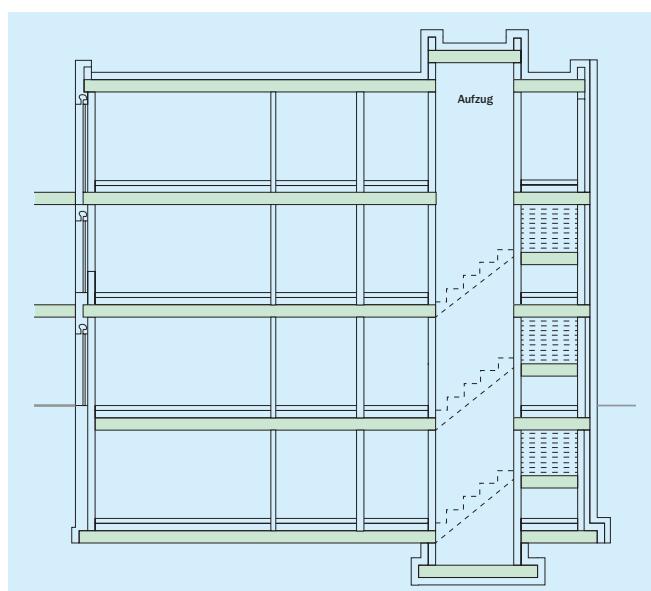


Bild 11 Einheitlicher Lastabtrag durch gleiche Grundrissgestaltung

4.3 Beispiele für wirtschaftliche Lösungen

Hohe Wirtschaftlichkeit wird erzielt als Ergebnis vielfältiger Optimierungen im Planungs- und Bauprozess. Es gibt zahlreiche Stellschrauben, mit denen die Investitionskosten niedrig gehalten werden können. Die folgenden Beispiele bieten dazu eine kleine Auswahl.

4.3.1 Statische Grundlagen

Zunächst gilt die Devise: je einfacher die Tragstruktur, desto wirtschaftlicher. In der Vertikalen sollten möglichst in den Grundrisse der einzelnen Geschosse keine, bzw. möglichst wenig Abweichungen auftreten und somit die tragenden Lastachsen über einander stehen (Bild 11). Somit ist ein optimaler Lastfluss über alle Geschosse bis in die Gründung gegeben. Lasten müssen nicht aufwendig über Unterzüge, wandartige Träger oder ähnliches weitergeleitet werden. Das spart Konstruktionshöhe und Material sowohl in der Wanddicke als auch beim Stahl und Beton. Worst case für die Statik ist dann gegeben, wenn z.B. in der Tiefgarage, dem Erdgeschoss, Obergeschossen und womöglich sogar im Dachgeschoss jeweils tragende Wände nicht übereinanderstehen.

Bei einem optimierten Tragwerk für den Wohnungsbau sollten auch die übereinanderstehenden Raumtrennwände z.B. KS-Wände mit 11,5 cm zur Lastabtragung mit herangezogen werden. Darauf ergeben sich häufig sehr wirtschaftliche Deckenspannweiten mit < 5 m und die Deckendicke ergibt dann aus den Anforderungen des Schallschutzes und nicht mehr aus statischen Vorgaben. Durch schlanke KS-Wände wird nicht nur Material eingespart, sondern noch zusätzliche Wohnraumfläche geschaffen.

4.3.2 Außenwand – Funktionsgetrennte Bauweise als Grundlage für hohe Qualitäten

Die funktionsgetrennte Bauweise von KS-Außenwänden ermöglicht kostengünstige Energieeffizienzlösungen mit hoher Qualität. Die tragende KS-Innenschale kann in Abhängigkeit von Schallschutz und Statik-Anforderungen im Allgemeinen mit 17,5 cm Dicke ausgeführt werden, optimierte Lösungen sind mit 15 cm Wanddicke möglich. Dazu kommt die außenliegende Wärmedämmung, die als WDVS-, Vorhang- oder Verblendfassade als Witterungsschutz ausgeführt werden kann. Mit hochwertigen Dämmstoffen können dabei sehr schlanke Wanddicken erzielt werden, wie die Tafel 1 ausweist.

Tafel 1 Schlanke Außenwandkonstruktion

KS Mauerwerk 17,5 cm Dämmung mit:	Dämmdicke [mm] für $U=0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	Wanddicke [m]
$\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$	220	0,41
$\lambda = 0,032 \text{ W}/(\text{mK})$	200	0,39
$\lambda = 0,028 \text{ W}/(\text{mK})$	180	0,37
$\lambda = 0,025 \text{ W}/(\text{mK})$	160	0,35

4.3.3 Schallschutz

Schallschutz und Wirtschaftlichkeit schließen sich nicht aus, sondern ergänzen sich mit den KS-Wandkonstruktionen ideal. Das von den Bauherren festgelegte Schallschutzniveau lässt sich

durch den KS-Schallschutzrechner berechnen. Durch die richtige Kombination von Wanddicken und Rohdichten lassen sich optimale Ergebnisse erreichen. Zu beachten ist, dass dies nur erreicht werden kann, wenn auch alle flankierenden Bauteile (Außenwände, Raumtrennwände und Stahlbetondecken) mit einem hohen Flächengewicht geplant werden. Somit ist nicht nur der Luftschallschutz von Wohnung zu Wohnung in der Etage auf den Punkt planbar, sondern auch der Luftschallschutz über die Decke von Etage zu Etage. Gerade dieser Weg des Schalls innerhalb eines Gebäudes wird oft unzureichend betrachtet.

Ein hohes Flächengewicht der Außenwände sind gute Voraussetzungen für einen sehr guten Schutz gegen Außenlärm.

4.3.4. Elementiertes Mauerwerk

Angesichts des Fachkräftemangels gilt es zukünftig einen hohen Anteil der Wertschöpfung im Werk zu schaffen. Damit kann auf der Baustelle die Produktivität deutlich gesteigert werden. Deshalb stellen großformatige Kalksand-Planelemente einen etablierten und wirtschaftlichen Standard dar, der alle Vorteile serieller Bauweise sinnvoll verbindet. Geschosshohe KS-Mauerwerkstafeln bieten dafür eine weitere Option. Der Vorfertigungsgrad muss immer in Verbindung mit allen Bauteilen gesehen werden, wie z.B. auch Elementdeckenplatten.

4.3.5. Raster-Entwurf, Fensteröffnungen und Mauerwerkspfeiler

Eine gute Planung von Gebäuden sollte vorzugsweise an dem oktometrischen Raster von 12,5 Zentimeter ausgerichtet sein. Das gilt sowohl für die Grundrisslage als auch die vertikale Ausbildung. Bei Ausführung in Kalksandstein-Mauerwerk wird dadurch eine hohe Wirtschaftlichkeit und Passgenauigkeit erreicht und der Verschnitt und Arbeitsaufwand minimiert. Auch Fensteröffnungen sollten möglichst so gewählt werden, dass sie bezüglich ihrer Sturz- und Brüstungshöhen ebenfalls dem Oktametermaß entsprechen. Bei optimierter Planung kann der komplette Lastabtrag über das Mauerwerk erfolgen und es sind keine zusätzlichen Stahlbetonbauteile erforderlich. Damit erhöht sich die Wirtschaftlichkeit nochmals.

4.3.6. Konstruktion und Gebäudetechnik in Relation

In den letzten Jahren ist eine kontinuierliche Steigerung der Kostenanteile für die Kostengruppe 400, also der Gebäudetech-

nik, gegenüber Kostengruppe 300 mit den baulichen Kosten zu verzeichnen. Die gestiegenen Kosten für die Technik sorgen für weitere hohe Folgekosten bezüglich der Instandsetzungszyklen, da Gebäudetechnik einem Erneuerungszyklus von nur 15 bis 25 Jahren unterliegt. Das KS-Mauerwerk bedarf innerhalb der Nutzungsdauer von 80 bis 150 Jahren keiner Erneuerung. Ein hochwertiger Energiestandard sorgt dafür, dass die Gebäudetechnik möglichst einfach, robust und wartungsarm sowie kostengünstig realisiert werden kann. Gebäude im Passivhaus- oder Effizienzhaus 40 Standard weisen bei einer Heizlastauslegung um 10 Watt pro m² Wohn-/Nutzfläche eine Leistung um 6 m² im Januar auf. Zur Veranschaulichung: Eine gute Wärmepumpe heizt eine 60-m²-Wohnung dann mit gerade einmal 80 Watt – dem Äquivalent einer Wohnzimmerbeleuchtung vor 20 Jahren oder der Leistung eines laufenden Kühlschranks.

4.4. Langlebigkeit

Ein essentielles Bewertungskriterium der Nachhaltigkeit und vor allem der Wirtschaftlichkeit stellt die Nutzungsdauer von Bauteilen dar. Die eingesetzten Ressourcen für die Erstellung und späterer Rückbau werden auf die Anzahl der Jahre aufgeteilt, die das Bauteil bzw. Gebäude genutzt werden kann. Konstruktionen aus Kalksandstein bieten sehr gute Voraussetzungen für Nutzungsdauern von 80 Jahren und mehr. Dabei muss bedacht werden, dass vor allem im Fassadenbereich ebenfalls langlebige Materialien Verwendung finden, die mit möglichst geringem Instandsetzungsaufwand über diesen Zeitraum betrieben werden können z.B. Verblendung und Vorhangsfassaden. Ein weiterer Aspekt liegt in der energetischen Qualität des Außenbauteils: sie sollte so gewählt werden, dass aus Klimaschutzgründen während der Nutzungsdauer keine energetische Ertüchtigung mehr stattfinden muss.

INFO

Das Gebäudetragwerk inkl. des Mauerwerks kann so geplant werden, dass es nahezu wartungsfrei ist und zudem eine hohe Effizienz aufweist, die auch im Jahr 2050 und darüber hinaus noch aktuell ist. Dagegen ist die Gebäudetechnik hingegen kurzlebiger und muss alle 15 bis 25 Jahre überarbeitet oder ausgetauscht werden. Fazit: Die Gebäudehülle möglichst hochwertig ausführen, damit die Gebäudetechnik möglichst einfach und klein geplant werden kann.

5. Ökologische Aspekte

Mauerwerk stellt eine historisch gewachsene Bautradition unterschiedlichster Ausprägungen dar. Der Massivbau erfährt besonders in den letzten Jahrzehnten auch aus Nachhaltigkeitssicht gravierende Entwicklungen, die eine fortwährende Optimierung der Konstruktionen ermöglicht. Seit dem ersten KS-Patent im Jahr 1880 hat sich die Qualität und Lebenszyklusbilanz kontinuierlich verbessert. Das gilt von der Rohstoffgewinnung über eine zunehmend nachhaltige industrielle Fertigung bis hin zur Verarbeitung, bei der die Reduzierung der körperlichen Belastung und eine erhöhte Produktivität auf der

Baustelle wesentliche Aspekte darstellen. Die sehr lange Nutzungsdauer und das Recycling bzw. die Wiederverwendung der Materialien bei Abbruch des Gebäudes runden die Nachhaltigkeitsaspekte ab.

Das Dreisäulenmodell der Nachhaltigkeit (Bild 1.2) umfasst die ökologischen, ökonomischen und sozialen Belange, die es gleichermaßen umzusetzen gilt. Ein zentraler Aspekt, bei dem es Ökologie und Ökonomie zu verbinden gilt, ist die Minimierung der Energieaufwendungen und Emissionen. Das Gebäudeener-

giegesetz (GEG) soll zukünftig neben den Emissionen für den Gebäudebetrieb auch das Treibhauspotenzial der Gebäudeerstellung erfassen.

Grundlage für den Nachweis ist das Qualitätssiegel Nachhaltige Gebäude (QNG). Mehrere Anbieter haben auf dieser Grundlage Zertifizierungssysteme erarbeitet. Aufgrund der hohen Komplexität kann die Erfüllung der QNG-Anforderungen zu relevanten Mehrkosten bei der Gebäudeerstellung führen. Dazu kommen nennenswerte Kosten für den Zertifizierungsprozess.

INFO

Die drei Säulen der Nachhaltigkeit bestehen aus den ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekten. Die zentrale Anforderung der Emissionsminimierung wird durch das Gebäudeenergiegesetz geregelt. Das gilt sowohl für den Gebäudebetrieb, der nach wie vor die Hauptemissionen verursacht, als auch für die Erstellung von Gebäuden.

5.1. Ökobilanzierung in der Planungspraxis

Im Rahmen der QNG-Zertifizierung werden mittels Ökobilanzierung die Umweltwirkungen eines Bauwerks nach 14 Kriterien bilanziert, wobei eine besondere Bedeutung das Global Warming Potential (GWP) aufweist. Diese Bilanzierung wird zukünftig integraler Bestandteil eines jeden Planungsprozesses sein und ermöglicht die Optimierung der herstellungsbedingten Emissionen. Die Rechenergebnisse können aber immer nur so gut sein wie die Bilanzierungsgrundlagen. Derzeit stellt die Ökobaudat für die Lebensphasen-Module nach Bild 13 vor allem generische EPDs (Umweltproduktdeklarationen) zur Verfügung. Materialien werden gruppenspezifisch mit einem gewissen Sicherheitszuschlag hinsichtlich der Nachhaltigkeitsaspekte be-

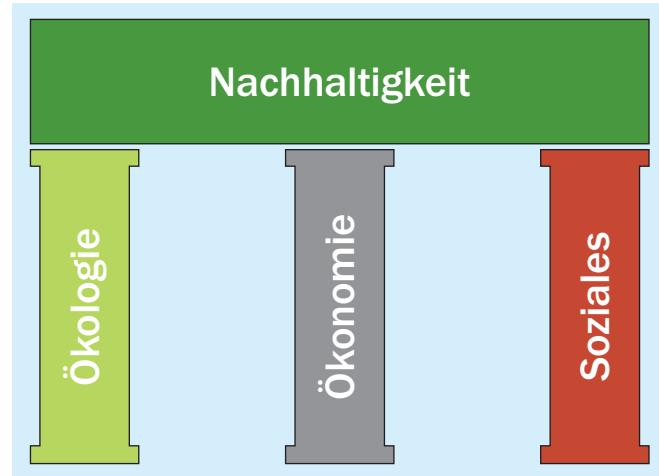


Bild 12 Grundstruktur der Nachhaltigkeit – das Dreisäulenmodell

wertet. Sobald ausreichend belastbare EPDs von einzelnen Herstellern für spezifische Produkte in der Ökobaudat enthalten sind, wird das zu einer Optimierung von Gebäuden hinsichtlich der CO₂-Äquivalente führen, indem die besten Produkte ausgewählt werden können. Durch diesen Optimierungsprozess wird die Bauindustrie zu einer kontinuierlichen Optimierung ihrer Produkte angeleitet.

Für die Planungspraxis stellt sich hinsichtlich der Nachhaltigkeitsbewertung eine sehr einfache Frage: Wie kann die bisher sehr aufwändige Ökobilanzierung planungs- und kostenverträglich erstellt werden? Da alle Bauteile eines Gebäudes möglichst genau erfasst werden müssen, sollte auf Datenerfassungen aufgebaut werden, die ohnehin im Planungsprozess gegeben sind. Am sinnvollsten erscheint die Erfassung im Rah-

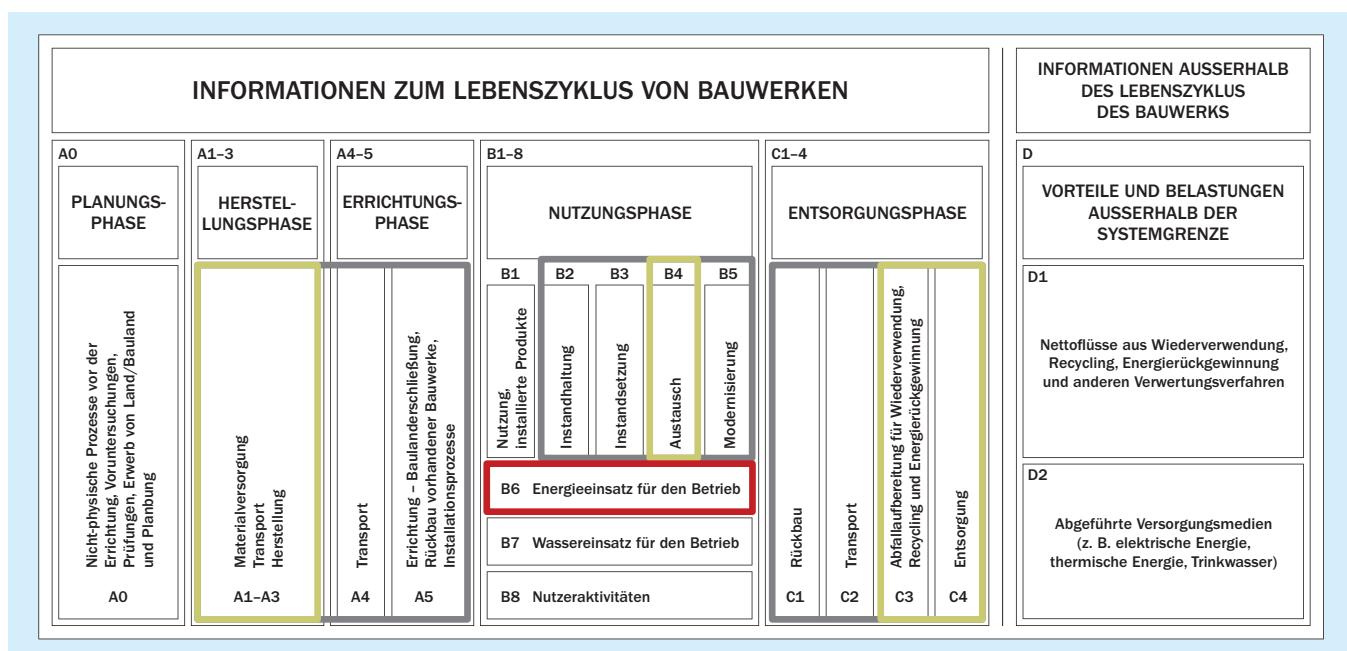


Bild 13 Module der Ökobilanzierung von Bauwerken: unabdingbar sind für die herstellungsbedingte Betrachtung die Module A1-3, B4 und C3-4, für die betriebsbedingten das Modul B6

men der energetischen Berechnung nach DIN 18599 oder mittels BIM, wofür sich zunehmend praxisnahe und einfache Programme im Markt etablieren. Dabei ist relevant, dass bereits in sehr frühen Leistungsphasen eine möglichst hohe Datengenauigkeit gegeben ist und der Mehraufwand für die Ökobilanzierung sehr gering ist.

5.2. Benchmarks

Für die Baubeteiligten ist es wichtig, ein Gefühl für den Optimierungsprozess zu erlangen, d.h. die Planenden sollten möglichst in die Ökobilanzierung einbezogen sein und verschiedene Bauweisen, Konstruktionen und Materialien bereits in der Vorplanungsphase rechnerisch gegenüberstellen können. So ist es möglich, Optimierungen durchzuführen, die in späteren Planungsphasen planerisch und wirtschaftlich aufwändig wären.

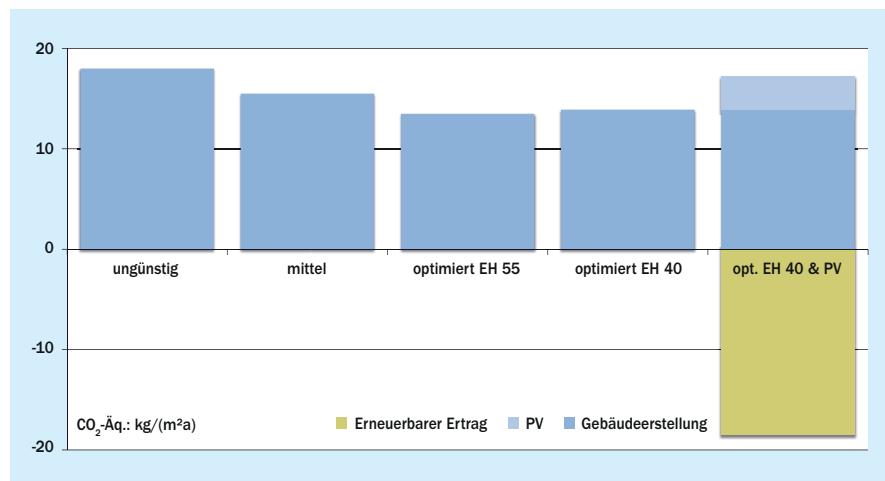


Bild 14 Treibhausgasemissionen der Gebäudeerstellung ohne den Gebäudebetrieb, Beispiel: MFH, 1.200 m² Wohnfläche, 4-geschossig, Massivbau

Die Ergebnisse in Bild 14 zeigen beispielhaft die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen für die Erstellung eines 4-geschossigen charakteristischen Mehrfamilienhauses mit 1.200 m² Wohnfläche und Unterkellerung. Zur Anrechnung kamen die Module A1-3 und C3-4. Es werden zunächst ungünstige bis optimierte Planungen im GEG-Standard Effizienzhaus 55 gegenübergestellt. Dabei weist neben der Materialität auch die Einfachheit des Entwurfs, der Statik und der Konstruktion, der Aufwand für die Gebäudetechnik und vor allem der Anteil der erdberührten Bauteile eine hohe Relevanz auf.

Darüber hinaus wird in der vierten Säule des Diagramms der Effizienzhaus Standard 40 dargestellt und in Säule 5 die Wirkung von Photovoltaik auf der gesamten Dachfläche, durch die in der Bilanz eine deutliche THG-Einsparung möglich ist. Bei einem zweigeschossigen Gebäude und gleicher PV-Belegung auf dem Dach wäre die Wirkung pro m² Wohnfläche nochmals doppelt so hoch. Im Umkehrschluss bedeutet das aber auch, dass bei weiter verdichteter Bebauung die Wirkung durch PV nachlässt, also für das Gebäude keine Klimaneutralität mehr nachweisbar ist. Daraus sollte nicht der Rückschluss gezogen werden, hohe Verdichtung zu vermeiden. Nachhaltiges Planen sollte immer in der Gesamtheit gesehen werden, es gilt möglichst alle Parameter umfassend zu optimieren.

5.3. Gebäudeerstellung versus Gebäudetrieb

In zahlreichen Publikationen und Medienberichten wird suggeriert, dass die herstellungsbedingten Emissionen entscheidend für die Nachhaltigkeitsqualität eines Gebäudes seien. Die Ergebnisse der

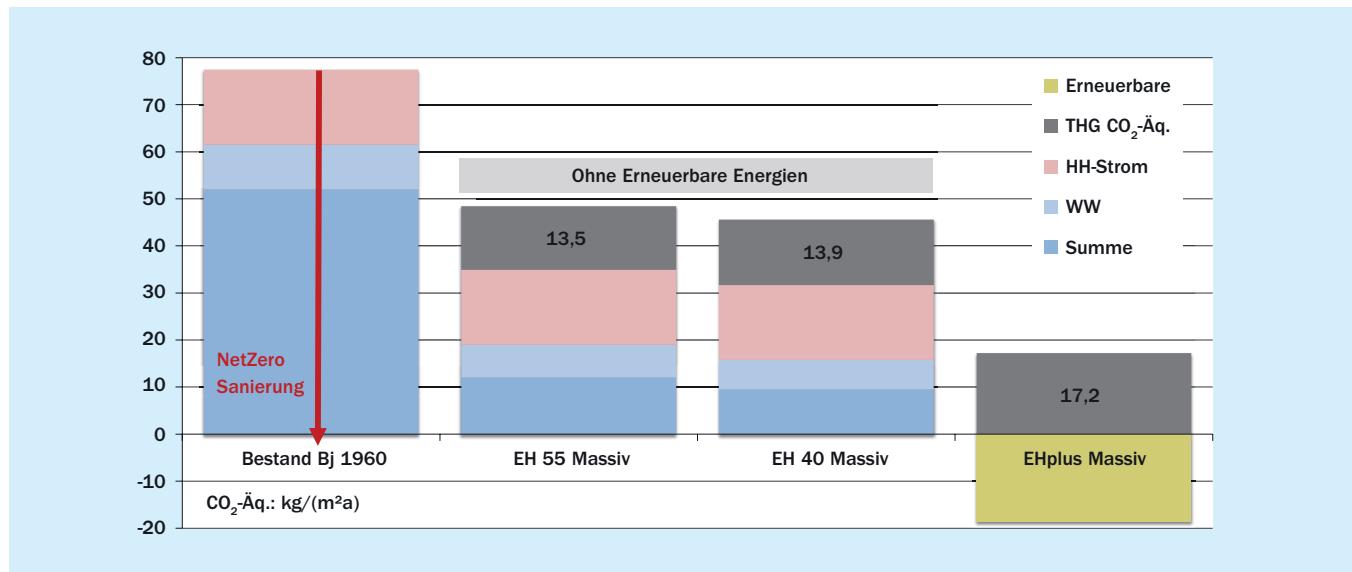


Bild 15 Treibhausgasemissionen der Gebäudeerstellung (MFH, 4-geschossig, unterkellert, Module A1-3/C3-4) vs. Gebäudebetrieb (B6): der Gebäudebetrieb dominiert deutlich mit Ausnahme des Effizienzhaus Plus in der vierten Säule, bei dem die erneuerbaren Erträge den Emissionen des Gebäudebetriebs entgegengerechnet wurden

Bilanzierung zeigen jedoch sehr deutlich, dass die betriebsbedingten Emissionen (inkl. Stromnutzung) nicht nur im Bestand, sondern auch bei den gängigen Neubaustandards die deutlich höhere Relevanz aufweisen (Bild 15). Neben den baulich bedingten Emissionen, wie sie in der Abbildung bei den ersten drei Säulen dargestellt werden, ist der Einfluss der erneuerbaren Erträge von entscheidender Bedeutung, wie bereits im vorherigen Kapitel beschrieben. Wird die Dachfläche optimiert mit Photovoltaik versehen, kann ein Gebäude inkl. der herstellungsbedingten Emissionen klimaneutral bilanziert werden, wenn es nicht mehr als zwei Geschosse aufweist. Bei drei bis vier Geschossen ist die Klimaneutralität für die betriebsbedingten

Emissionen möglich. Darüber hinaus müssten zusätzliche erneuerbare Erträge generiert werden, z.B. in der Fassade oder im Freiflächenbereich von Quartieren.

INFO

Betriebsbedingte Emissionen liegen bei den üblichen Gebäudestandards deutlich höher als die herstellungsbedingten Emissionen. Durch hohe Energieeffizienz und erneuerbare Energien werden Gebäude in der Jahresbilanz klimaneutral.

6. Optimierung der Konstruktionen

Die Wahl der Konstruktionsweise hat zentrale Auswirkungen auf die Funktionalität und Wirtschaftlichkeit von Gebäuden. Dabei gilt es, aus der Vielfalt von Komponenten und Materialien möglichst nachhaltige Konstruktionen auszuwählen, die gekennzeichnet sind durch eine möglichst hohe Nutzungszeit der Grundkonstruktion und Gebäudehülle in Verbindung mit minimiertem Instandsetzungsaufwand. Selbstverständlich muss bei diesem Zeithorizont aus baulich-energetischer Sicht die Klimaneutralität des Gebäudes sichergestellt sein, also der Standard im Bereich des Effizienzhaus 40-Niveaus in Passivhausqualität mit einem resultierenden Heizwärmebedarf von 10 bis 20 kWh/(m²a).



Bild 16 Modulares Bauen: hier mit KS XL

6.1. Einfache Lösungen: hochwertiger Gebäudehülle und einfache robuste Gebäudetechnik

Unter dem Aspekt der Lebenszyklusbetrachtung stellt sich ein Gebäude als besonders nachhaltig dar, wenn aufgrund der hochwertigen energetischen Qualität sowohl bezüglich des winterlichen als auch des sommerlichen Wärmeschutzes ein hoher thermischer Komfort gegeben ist und nur eine einfache robuste Anlagentechnik zur thermischen Konditionierung benötigt wird. Das ist doppelt sinnvoll, sowohl hinsichtlich der Investitionskosten als auch bezüglich der Erneuerungszyklen der Technik von 15 bis 25 Jahren, die damit ca. dreimal so oft erneuert werden muss im Vergleich zu einer gut geplanten baulichen Substanz.

6.2. Wärmebrücken

Wärmebrücken sind Bereiche der Gebäudehülle, an denen gegenüber der sonstigen Fläche abweichende Transmissionswärmeverluste auftreten. Gegenüber dem Wärmedurchgang für die ermittelte Transmissionssfläche beträgt die Differenz des U-Wertes durch die Wärmebrückenwirkung bei eher ungünstiger Planungsqualität $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Bei guter Planung kann der Wert auf unter $0,02 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ gesenkt werden.

Darauf hat die Wahl des konstruktiven Systems eine hohe Auswirkung. Die Funktionstrennung der Wandschichten ermöglicht in der KS-Bauweise einfache und funktionssichere Lösungen. In der Tragschicht bieten sich Vorteile für die Statik, den Brand- und den Schallschutz. Die Dämmsschicht wiederum umfasst das Gebäude außen seitig, sodass eine äußerst günstige Situation für die Wärmebrückengestaltung gegeben ist. Für den Nachweis des Standards Effizienzhaus 40 sollte auf keinen Fall auf den detaillierten Wärmebrücken-Nachweis verzichtet werden (Bild 17-19).

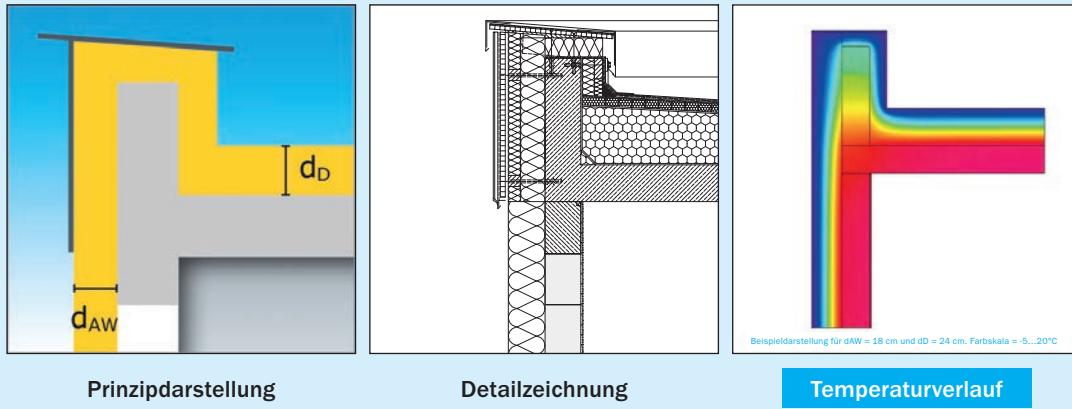


Bild 17 Wärmebrückendetail Traufe/Attika: Beim Übergang zum Dach kann sowohl beim Schrägdach ein Übergang ohne relevante Verringerung der Dämmdicke erreicht werden als auch bei Ausführung einer Attika beim Flachdach, bei der negative Wärmebrücken Standard sein sollten

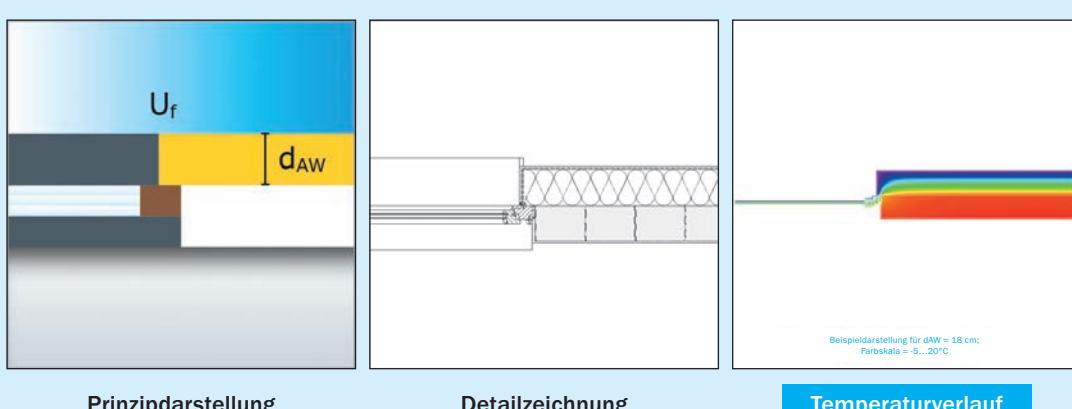


Bild 18 Wärmebrückendetail Fensteranschluss: Fenster werden so montiert, dass der Rahmen möglichst weitgehend von Dämmung umfasst wird. Dadurch ergeben sich sehr geringe Einbauwärmebrücken im Bereich von $0,01$ W/(mK)

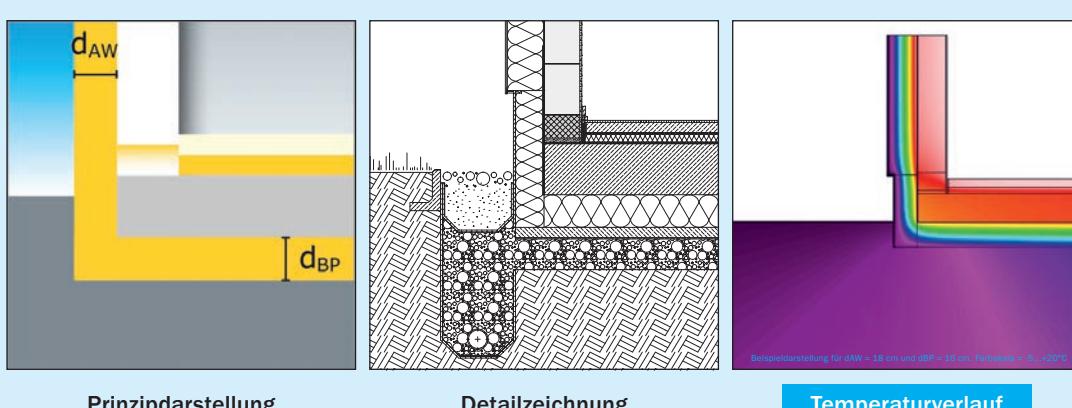


Bild 19 Wärmebrückendetail Sockel nicht unterkellert: Die Dämmung der Außenwand geht vollflächig in die Dämmung unterhalb der Bodenplatte über, wodurch die Wärmeverluste im Sockelbereich minimiert werden können

6.3. Luftdichtheit

Luft- und Winddichtheit stellen wesentliche Qualitätskriterien von Gebäuden dar. So wird die Effizienz der Gebäudehülle mit ihrer Wärmedämmung gesichert, ein guter Schallschutz ebenso sichergestellt wie komfortables, zugfreies Wohnen. Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung weisen ohne Leckagen in der Gebäudehülle die höchste Wirksamkeit auf und der Energiebedarf liegt so niedrig wie in der Planung vorgesehen.

Die Luftdichtheitsebene befindet sich bei KS-Mauerwerk im Allgemeinen in der Innenputzlage, lässt sich also leicht herstellen und vor allem mittels Luftdichtheitsmessung (z.B. durch einen Blower-Door-Test) hinsichtlich seiner Funktionsfähigkeit einfach überprüfen. Ergänzend muss die Winddichtheit der Konstruktion sichergestellt werden, damit die Dämmschicht nicht durchlüftet und damit in ihrer Funktion gemindert wird.

6.4. Serielles, modulares Bauen und Digitalisierung

Serielles, modulares und typisiertes Bauen in der KS-Bauweise ermöglicht Kosteneinsparungen, kürzere Bauzeiten und die Einsparung von Arbeitskräften, was aufgrund des zunehmenden Fachkräftemangels ein wesentliches Umsetzungskriterium für zukünftiges Bauen darstellt. Zudem kann durch industrielle

Vorfertigung eine erhöhte Qualität und Maßhaltigkeit sichergestellt werden. Im Massivbau bewähren sich vor allem Kalksandstein-Planelemente (KS XL) im Baukastenprinzip oder als werksseitig konfektionierte Wandbausätze. Diese werden auf der Baustelle angeliefert und mit Versetzergeräten sehr effizient und schnell vermauert (Bild 20).

Durch digitalisierte Planung kann eine direkte Schnittstelle zwischen Planungsbüro und Hersteller geschaffen werden, wodurch die Prozesse weitestgehend automatisiert erfolgen können und die Fehlerhäufigkeit auf der Baustelle deutlich gesenkt wird. Diese Daten können auch in einen digitalen Gebäuderesourcenpass eingepflegt werden.

INFO

Kalksandsteine weisen eine Lebensdauer von 80 Jahren und mehr auf. Hochwertige Materialien bei der Gebäudehülle und im Ausbau gewährleisten für diese Zeit eine nachhaltige Nutzung ohne relevante Instandsetzungsmaßnahmen. Hohe Energieeffizienz garantiert zudem, dass nicht bereits nach 30 bis 40 Jahren eine grundlegende Sanierung erforderlich ist, und zudem die Gebäudetechnik so einfach und „klein“ wie möglich ausgeführt werden kann.



Bild 20 Kostenoptimiertes Bauen mit KS-Planelementen

7. Zukunftssichere Versorgungstechnik

Versorgungstechnik stellt einen essentiellen Faktor für das Erreichen der Klimaneutralität dar. Sie wird in Zukunft vor allem auf erneuerbarem Strom aus PV und Wind aufbauen. Das führt im Vergleich zur bisherigen Versorgung mit fossilen Brennstoffen zu einer Transformation der Gebäude- und Versorgungstechnik. Während Strom bei fossiler Versorgung mit relevanten Verlusten vor allem aus Brennstoffen generiert wurde, wird er in einem erneuerbaren Versorgungssystem direkt und ohne nennenswerte Verluste verfügbar sein. Für den Gebäude-sektor ergeben sich daraus zahlreiche Chancen.

7.1. Lüftungstechnik – Raumluftqualität als Grundlage gesunden Wohnens

Um hochwertige Raumluftqualität sicherzustellen und die Anforderungen der DIN 1946-6 zu erfüllen, ist der Einsatz eines mechanischen Lüftungssystems erforderlich. Im Wesentlichen gibt es Lösungen als Abluftanlagen oder als Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung, die zentral für das Gebäude oder pro Wohnung installiert werden können.

INFO

Hochwertige Lüftungstechnik sorgt für Wohlbefinden und gute Raumluftqualität. Wird sie mit Wärmerückgewinnung ausgeführt, halbiert sich bei effizienten Gebäuden in etwa der Heizwärmebedarf. Analog dazu reduziert sich die Heizlast, sodass die Heizanlage mit deutlich geringerer Leistung ausgeführt werden kann, was insbesondere bei Wärmepumpen zu relevanten Kosteneinsparungen führt.

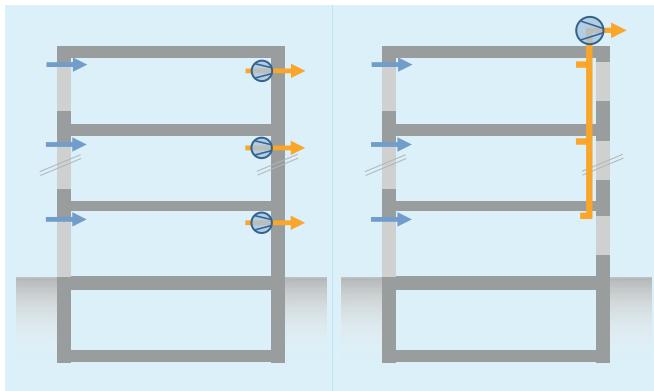


Bild 21 Schema einer dezentralen Abluftanlage (links) und einer zentralen Anlage mit Ventilator auf dem Dach

elemente öffnen der Luft den Weg von den Aufenthaltsräumen zu den Ablufräumen. Filterwartung ist für Abluftfilter unabdingbar und für die Außenluftdurchlässe zu empfehlen, weil sonst der erforderliche Außenluftvolumenstrom sukzessive abnimmt. Abluftwärmepumpen können Wärme aus der abgesaugten Fortluft nutzen für Warmwasser und/oder Heizen und die Energie aus der Abluft mit einer Jahresarbeitszahl von 3 bis 5 nutzen.

7.1.2. Zu-/Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung

Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG) erfordern zusätzlich zu den Abluftkomponenten ein Zuluftsystem, welches frische Außenluft gezielt über einen Wärmetauscher mit einem Wärmebereitstellungsgrad von 75 bis über 90 % führt und sie in der Wohnung in die Aufenthaltsräume verteilt (Bild 22). Neben der kontinuierlichen Zuführung von frischer Außenluft ohne den Zwang, Fenster öffnen zu müssen, liegt der Vorteil im hohen Komfort und der Reduktion des Heizwärmebedarfs um 15 bis 30 kWh/(m²a) gegenüber Abluftanlagen. Dadurch wird bei effizienten Gebäuden der Heizwärmebedarf etwa halbiert. Bei optimierter Planung können dadurch die Investitionskosten für die Heizanlage insbesondere bei Wärmepumpen um 20 bis 40 % gesenkt werden. Weiterhin bieten die Systeme eine sehr gute Entlastungsmöglichkeit für Allergiker durch die Integration von Pollenfiltern. Hochwertiger Schallschutz wird ermöglicht, da gute Raumluftqualität bei geschlossenen Fenstern sichergestellt ist und Dämpfung des Schalls durch die Anlagen sehr effizient ausgeführt werden kann.

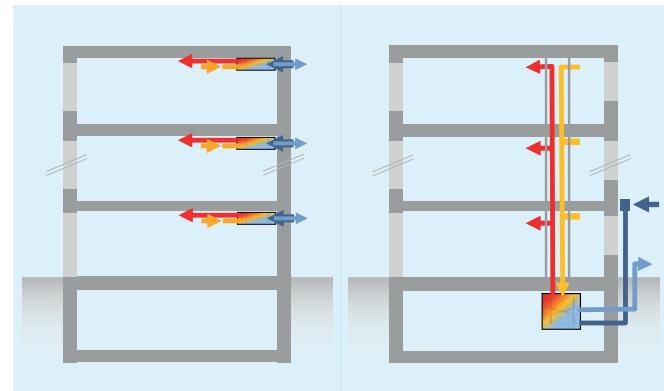


Bild 22 Schema einer dezentralen Zu-/Abluftanlage mit WRG (links) und einer zentralen Anlage mit Lüftungszentrale im KG

7.1.1. Abluftsysteme

Kernelemente von Abluftanlagen sind Ventilatoren pro Ablufräum bei dezentralen Systemen, zentrale Anlagen benötigen einen Ventilator pro Strang bzw. für das Gebäude (Bild 21). Sie sorgen dafür, dass verbrauchte Luft in der Küche und den Sanitärräumen, ggf. auch in Abstellbereichen abgesaugt wird. Die Außenluft strömt über Durchlässe in der Gebäudehülle in die Aufenthaltsräume, die so geplant werden müssen, dass keine unkomfortabel kalten Bereiche entstehen. Gute Fassadenintegration ist mit Fenster- oder Laibungsdurchlässen möglich. Überström-

Wichtig ist, dass Schlafzimmer im Nachtbetrieb pro Person etwa 20 m³/h erhalten. Ideal ist es, wenn das nicht nur im Nennbetrieb, sondern bereits bei reduzierter Lüftungsstufe erfüllt wird. Das kann insbesondere durch Kaskadenlüftung mit Doppelnutzung der frischen Luft in mehreren Räumen ermöglicht werden, z.B. durch Zuluftführung in die Schlafräume und Überströmung in den Wohnbereich.

Bei wohnungszentralen Anlagen ist die Filterwartung wie bei Abluftanlagen innerhalb der Wohnung durchzuführen. Bei gebäu-

dezentraler Ausführung der Anlagen kann ein zentrales Gerät in der Lüftungszentrale positioniert und dort gewartet werden, allerdings sind Brandschutzanforderungen für das Verteilsystem zu beachten.

Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung senken nicht nur die Kosten von Heizsystemen sondern wirken hervorragend mit Wärmepumpenheizung zusammen, wie das folgende Bild 23 illustriert.

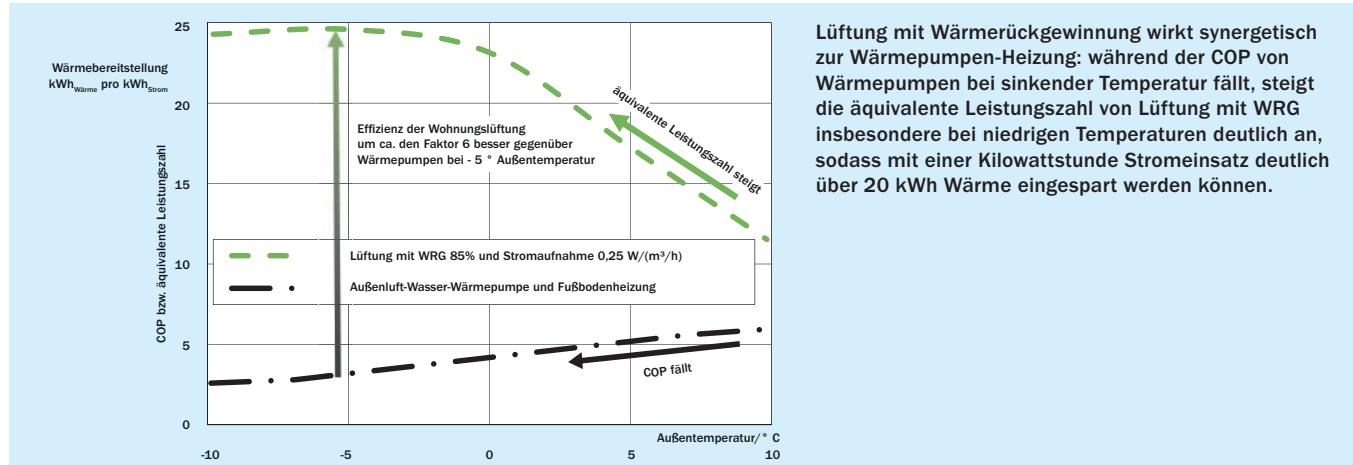


Bild 23 Vergleich der nutzbareren Wärmebereitstellung einer Lüftungsanlage mit einer Wärmepumpe

7.2. Erneuerbare Versorgungskonzepte

Da erneuerbare Energiesysteme vorrangig strombasiert sind, wird Endenergie zukünftig zur bestimmenden Größe. Anders gesagt, wenn uns vor allem Strom aus Wind und PV zur Verfügung steht, können wir durch Wärmepumpentechnik den Heizenergiebedarf für ein effizientes Wohngebäude statt bisher mit brennstoffbasierten 15 bis 50 kWh/(m²a) via Wärmepumpen um den Faktor 3 bis 4 reduziert mit 4 bis 15 kWh Strom pro m² und Jahr bereitstellen (Bild 24). Im Wohngebäudebereich liegen wir damit unterhalb des Energiebedarfs für die Warmwasserbereitung. Allerdings gilt es zu bedenken, dass die höchsten monatlichen Bedarfswerte für den Heizsektor in den kalten Wintermonaten anstehen, die Spitzenlast also auch bei kalter Dunkelflaute gedeckt werden muss. Sowohl die Energiekosten zu diesen Zeiten werden nachfragebedingt in Zukunft hö-

her liegen als auch die Kosten für die Leistungsspitzen. Eine Versicherung dagegen ist vor allem durch hocheffiziente Gebäude mit geringem Heizwärmebedarf und einem guten Lastmanagement gegeben.

Die weiteren Stromanwendungen wie z.B. für den Haushaltstrom weisen eine sehr hohe Relevanz für die Versorgung unserer Gebäude und Quartiere auf. Zudem wird der Bedarf für Mobilität nicht mehr vorrangig an Tankstellen gezapft, sondern durch die E-Mobilität integraler Bestandteil der Versorgungstechnik.

7.2.1. Erneuerbare Energien

Regenerative Versorgung ist besonders wirkungsvoll, wenn ein möglichst hoher Anteil der erneuerbaren Energien in den Siedlungsstrukturen bereitgestellt wird. Klimaneutralität wird oft-

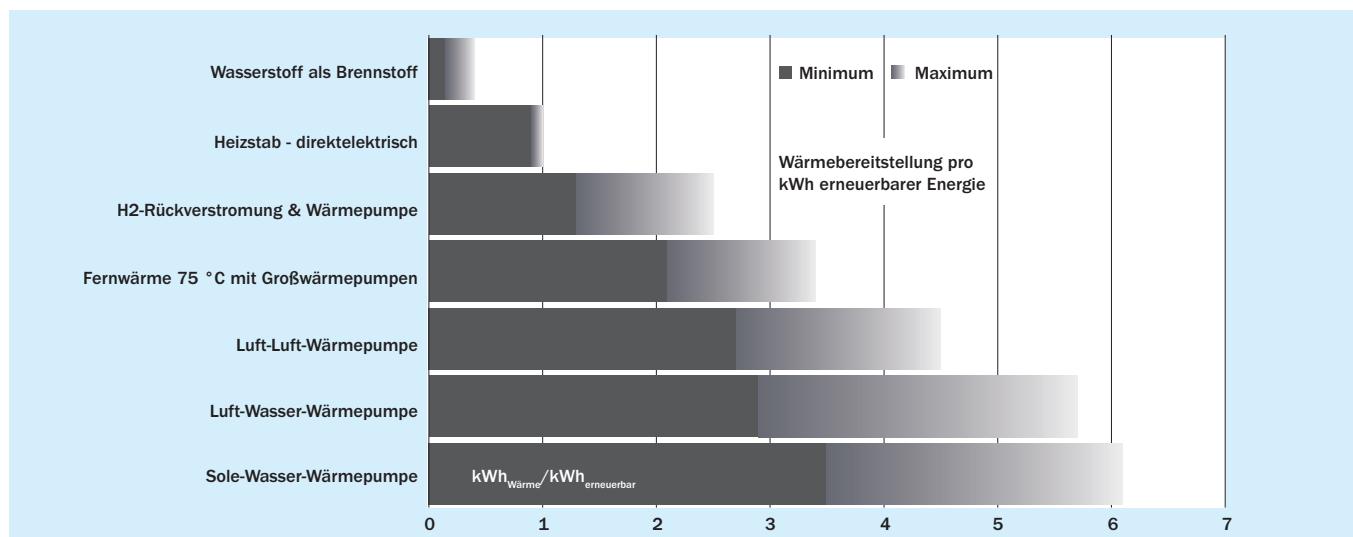


Bild 24 Effizienz von Heizsystemen im Vergleich: Anteil der nutzbaren Wärme pro kWh erneuerbaren Stroms

mals so definiert, dass durch die erneuerbaren Erträge eine jahresbezogene Plusenergiebilanz erreicht wird gegenüber den Bedarfswerten für Heizen, Kühlen, Warmwasser und die Stromanwendungen. Bisweilen wird sogar die E-Mobilität einbezogen. Die Bilanzierung kann sowohl über die Endenergie als auch über die Treibhausgasemissionen erfolgen. Herstellungsbedingte Emissionen können in diese Bilanzierung ebenfalls einbezogen werden, was bei zweigeschossigen Gebäuden noch funktionieren mag, bei höhergeschossiger Bebauung ist es im Allgemeinen nicht mehr möglich. Aus Nachhaltigkeitssicht ist verdichtetes Bauen allerdings sehr sinnvoll, sodass die Definition von Klimaneutralität entsprechend definiert werden muss.

Photovoltaik ist die relevanteste erneuerbare Technik, die innerhalb der Siedlungsstrukturen eingesetzt werden kann (Bild 25). Eine Leistung von 1 kWp kann mit einer Absorberfläche von unter 5 m² installiert werden. Der jährliche Ertrag liegt in Abhängigkeit von der Ausrichtung und dem Standort bei 700 bis ca. 1000 kWh pro kWp. Bei Dachanlagen können für ein zweigeschossiges Gebäude bezogen auf die Wohnfläche 60 bis 100 kWh/(m²a) generiert werden, bei Viergeschossigkeit 30 bis 50 kWh/(m²a) und bei hoher Verdichtung mit acht Geschossen nochmals die Hälfte, also 15 bis 25 kWh/(m²a).

Für die Nutzung von Windkraft in Wohngebieten gibt es einzelne Beispiele. Es sollte allerdings sehr genau auf die Rahmenbedingungen und die realisierbaren Erträge geschaut werden,



Bild 25 Dach mit Photovoltaikanlage

weil die prognostizierten Werte bei zahlreichen Projekten nicht erreicht wurden und zudem Schallimmissionsschutz besondere Beachtung erfordert.

Solarthermie ist durch PV aufgrund des günstigeren Kosten-Nutzenverhältnisses fast vollständig verdrängt worden. Die Kombination von PV und Thermie kann eine Option sein, wenn die Wärme für die Primärkreise von Wärmepumpen anlagen genutzt werden kann und die Kosten angemessen niedrig sind.

Biomasse könnte mittelfristig aufgrund von Konkurrenznutzungen für das Heizen im Gebäudebereich unattraktiv werden. Abfallprodukte der Holzwirtschaft stellen dennoch für die thermische Verwertung eine sinnvolle Option dar, ggf. für die Spitzenlastnutzung in Verbindung mit Wärmepumpenkonzepten.

7.2.2. Heizung

Für die Wärmebereitstellung können die GEG-Anforderungen bezüglich der erneuerbaren Versorgung am besten mittels Wärmepumpen erfüllt werden. Es liegt bei den Planenden, ob sie dabei eher dezentrale Varianten oder zentrale Lösungen bis hin zur Nah- oder Fernwärme bevorzugen, die zukünftig in vielen Fällen ebenfalls auf Wärmepumpentechnik aufbauen. Weitere erneuerbare Optionen, wie sie im vorherigen Kapitel beschrieben werden, können selbstverständlich auch einbezogen werden, wobei jeweils individuell die Wirtschaftlichkeit genau überprüft werden sollte.

Anschluss an ein Wärmenetz

Das Wärmeplanungsgesetz verpflichtet die Kommunen, Festlegungen zu den Gebieten mit Fernwärme sowie zum Dekarbonisierungs-Fahrplan zu treffen. Wärmenetze können in sehr verdichteten Gebieten wirtschaftlich und sinnvoll sein. In Gebieten mit geringerer Wärmedichte können bei Vorliegen von Abwärme-potenzialen ebenfalls gute Lösungen gefunden werden, wobei das Temperaturniveau des Netzes aber möglichst niedrig liegen sollte. Grundsätzlich ist es zielführend, in fernwärmeverSORGten Gebieten die Gebäude anzuschließen. Es sollte mit dem Versorger allerdings eine langfristig kalkulierbare Festlegung zu den Tarifen vereinbart werden und dabei eine Vergleichsbetrachtung für eine individuelle Wärmepumpenversorgung inklusive der langfristigen Lebenszykluskosten vorliegen. Ein Vorteil bei Wärmenetzen kann darin bestehen, dass die Investitionskosten zum Teil ausgelagert und auf die Betriebskosten umgelegt werden. Das gilt auch im Fall von kalten Netzen, wodurch die Kosten für den Primärkreis von Wärmepumpen eingespart werden können. Es sollte aber sehr genau auf die daraus resultierenden Betriebskosten geachtet werden inkl. verbindlichen Vereinbarungen zu den Konditionen bei Vertragsverlängerungen bzw. zur Übernahme des Netzes nach dessen Abschreibung. Ziel muss es sein, dass auch langfristig die Wärmekosten nicht höher liegen als bei einer dezentralen Versorgung über Wärmepumpen.

Wärmepumpen

Je geringer der spezifische Leistungsbedarf für ein Gebäude ist, desto effizienter und kostengünstiger sind Wärmepumpensysteme zu erstellen. Zur Auswahl stehen zahlreiche Varianten. Wasser- oder Sole-Wasser-Wärmepumpen sind im Betrieb am wirtschaftlichsten, wenn sie auch in Kältephasen auf einen Primärkreis mit erhöhten Temperaturen zugreifen können.

Der Nachteil liegt in den erhöhten Investitionskosten für die (Sonden)-Bohrungen bzw. für die Erdkollektoren. Luft-Wasser-Wärmepumpen stellen sich hinsichtlich der Investitionskosten günstiger dar. In den letzten Jahren sind zudem Systeme auf den Markt gekommen, die Jahresarbeitszahlen bis über 5,0 erzielen. Damit liegen hochwertige Anlagen nah bei erdgekoppelten Systemen. Allerdings muss auf die Schallemissionen des Luft-Wasser-Wärmetauschers geachtet werden, die bei innovativen Systemen bereits sehr niedrig liegen. Insbesondere bei Gebäuden mit sehr geringem Energiebedarf bieten sich zudem sehr kostengünstige Luft-Luft-Wärmepumpen an, die dezentral pro Wohnung bzw. pro Raum installiert werden.

Wärmepumpen eröffnen in einem strombasierten Versorgungssystem den großen Vorteil, dass relevante Anteile des Strombedarfs vor Ort durch Photovoltaik bereitgestellt werden können. Je höher der genutzte Eigenstromanteil über Photovoltaik, desto wirtschaftlicher der Betrieb.

INFO

Erneuerbare Versorgung und Wärmepumpen ergänzen sich hervorragend. Aus jeder Kilowattstunde erneuerbaren Stroms können 3 bis über 5 Kilowattstunden Wärme bereitgestellt werden. Wenn zudem relevante Anteile des Strombedarfs aus PV-Anlagen auf dem Gebäude oder im Quartier gedeckt werden können, ist eine hervorragende Wirtschaftlichkeit gegeben.

Stromdirektheizung

Vereinzelt kommen direktelektrische Heizungen bei Gebäuden mit besonders hoher Energieeffizienz zum Einsatz. Auch bei hocheffizienten Gebäuden ist das volkswirtschaftlich nicht sinnvoll, weil eine ungünstige Netzverträglichkeit mit hohen Lastspitzen an kalten Tagen gegeben ist. Auch aus betriebswirtschaftlichen Gründen stellen Luft-Luft-Wärmepumpen mit ihren geringen Investitionskosten sicher eine Alternative dar. Zur Komfortsicherung könnte in dem Fall eine minimierte direktelektrische Zusatzheizung unter 5 Watt pro m² Wohnfläche vorgehalten werden.

Wasserstoff einschließlich daraus hergestellter Derivate

Im fossilen Versorgungssystem sind Brennstoff-Kessel oder Thermen die kostengünstigsten Optionen. Die aufwendige Produktion von erneuerbaren Brennstoffen führt zukünftig zu einer sehr ungünstigen Bilanz für das Heizen mit Grünem Wasserstoff (vgl. Bild 24) oder erneuerbarem Methan, sodass die Installation von Kesseln und Thermen nicht mehr zu empfehlen ist. Außerdem werden Netzkosten deutlich ansteigen, weil einerseits neue Netze erforderlich sind und zugleich die Versorgungsdichte abnehmen wird.

7.2.3 Verteilung und Wärmeübergabe

Die Verteilung im Gebäude und heizseitige Übergabe in die beheizten Räume sollte auf einem möglichst niedrigen Temperaturniveau erfolgen. Beim Neubau geht dies kostengünstig mit Flächenaktivierungen als Fußboden- oder Wandheizung sowie als Betonkernaktivierung oder Deckenheizung. Wenn das System außerdem kühlend oder temperierend wirken kann für den sommerlichen Wärmeschutz, ist die Lösung hoch komfortabel und zukunftssicher.

7.2.4. Kühlung

Passive Maßnahmen des sommerlichen Wärmeschutzes können in Kalksandsteingebäuden sehr gut umgesetzt werden und stellen die Grundlage für hohen sommerlichen Komfort dar. In Verbindung mit Wärmepumpensystemen und Flächenaktivierungen bieten sich zudem Komfortvarianten an, da mit eher geringem Aufwand eine Temperierung oder Kühlung nahezu zum Nulltarif erfolgen kann. Besonders kostengünstig ist dies bei erdgekoppelten Wärmepumpen-Primärkreisen erzielbar. Die Erdreichtemperatur reicht aus, um die Temperatur über die Flächenaktivierung um einige Grade zu reduzieren, wofür nur ein geringer Pumpenstrom erforderlich ist. Zugleich wird damit der Primärkreis im Erdreich regeneriert. Darüber hinaus kann durch reversible Wärmepumpen Kühlung bereitgestellt werden. Bei installierter PV ist an heißen Tagen im Allgemeinen ein ausreichender Stromertrag für aktive Kühlung vorhanden.

7.2.5. Warmwasserbereitung

Bei hoch effizienten Gebäuden liegt der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung in der Jahresbilanz höher als für das Heizen. Der Nutzenergiebedarf für die Warmwasserbereitung liegt nach GEG im Wohnungsbau bei 12,5 kWh/(m²a) für die Bezugsfläche AN. Bei Umrechnung auf die Wohnfläche entspricht das etwa 15 bis 16 kWh/(m²a). Dazu kommen die Anlagenverluste, die aufgrund der geforderten Vorlauftemperaturen zur Legionellenvorbeidung für gebäudezentrale Systeme bei guter Planung zwischen 25 und 50 % liegen, oftmals in der Praxis deutlich höher, sodass bei zentralen Verteilsystemen Verbrauchswerte bis über 40 kWh/(m²a) warmwasserseitig gemessen werden, insbesondere wenn wohnungsinterne Zirkulation aus Komfortgründen installiert wird. Eine Reduzierung der Anlagenverluste kann durch die Minimierung der Steigstränge und Leitungslängen erreicht werden. Schächte und Sanitärzellen sollten vertikal übereinander liegen und kurze Anbindungen ohne Zirkulation in den Wohnungen möglich sein. Sinnvoll ist eine hochwertige Leitungsdämmung oberhalb des üblichen GEG-Standards. Es gilt: Je einfacher das System und je geringer die Systemtemperatur, desto günstiger für Investition und Betrieb (Bild 26). Bei Wärmepumpen-Lösungen gilt zudem in den meisten Fällen, dass eine klare Trennung zwischen dem Heizsystem und der Warmwasserversorgung sinnvoll ist, da die Temperatur- und Lastprofile über das Jahr stark voneinander abweichen. Die Vorlauftemperatur der zentralen Warmwasserbereitung kann niedriger gehalten werden durch die Einbindung von Wohnungsstationen. Sie kann sogar auf dem Temperaturniveau von Flächenheizungen gesenkt werden, wenn in der Station ein Warmwasser-Booster mittels Durchlauferhitzer das Wasser auf die erforderliche Temperatur bringt.

Durch Umstellung auf erneuerbar-strombasierte Versorgung ergibt sich als hoch wirtschaftliche Option die dezentrale Warmwasserversorgung pro Wohnung. Die Anlagenverluste können dadurch auf 2 – 5 % reduziert werden (Bild 27). Hocheffiziente Mini-Wärmepumpen stellen eine sehr effiziente Lösung dar, allerdings mit dem Nachteil, dass etwas Platz in der Wohnung verloren geht. Durchlauferhitzer, möglichst mit Duschwärmerückgewinnung, sind kostengünstiger. Der Nachteil gegenüber der Wärmepumpe liegt im erhöhten Energiebedarf. Deshalb sollten die direktelektrischen Systeme nur in Verbindung mit erneuerbarer Energie (z. B. durch PV) und Batteriespeichern installiert werden. Ein gutes Lastmanagement muss zudem sicherstellen, sodass die Leistungsanforderung des Gebäudes zu Spitzenzeiten in einem günstigen Rahmen liegt. Da Warmwasser-

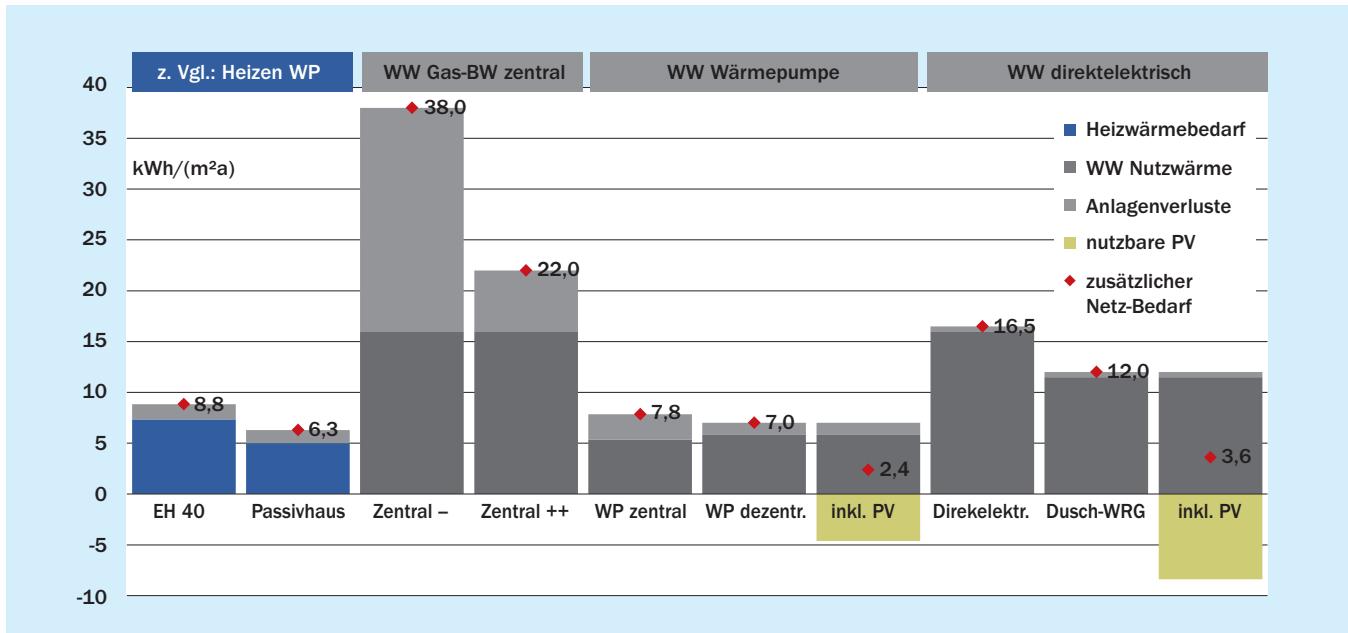


Bild 26 Endenergiebedarf von Warmwasser-Systemen im Vergleich zum Heizenergiebedarf eines effizienten Gebäudes

bereitung das ganze Jahr über erfolgt, wird ein hoher Anteil des Energiebedarfs über PV gedeckt. Bei gutem Lastmanagement können das deutlich mehr als 60 % sein, sodass nur noch wenige Kilowattstunden pro m² und Jahr aus dem Stromnetz gezogen werden.

7.3. Quartierskonzepte

Quartierskonzepte sind sowohl städtebaulich als auch für die Energieversorgung von hoher Bedeutung. Sie ermöglichen bei angemessenen Rahmenbedingungen zahlreiche Chancen, da in komplexen und zentralen Systemen Synergien möglich sind. Auf der anderen Seite führen große Wärmeleitungssysteme zu erhöhten Anlagenverlusten und gegebenenfalls zu hohen Kosten. Kleine, dezentrale Technik kann in vielen Fällen günstiger erstellt werden. Zudem stellt sich die Frage, welche Sektoren in das Versorgungskonzept einbezogen werden. War es bis vor kurzem ausschließlich der Wärmesektor mit Heizen und Warmwasserbereitung, kommen im Zuge der Energiewende Stromanwendungen, Mobilität und Digitalisierung als inte-

grale Bestandteile hinzu. Vorteile ergeben sich vor allem, wenn die erneuerbaren Erträge im Gebiet mit einem sinnvollen Lastmanagement und wirtschaftlichen Mieterstromkonzepten wirtschaftlich genutzt werden.

Im Gegensatz zu Stromnetzen verursachen Wärmenetze grundsätzlich relevante Verluste, wie Bild 27 zeigt. Ziel muss es sein, die Systemtemperatur der Netze so niedrig wie möglich auszulegen bis hin zum „kalten Netz“, das analog zu einem Primärkreis geothermischer Umweltwärme zu betrachten ist. Als Quelle kommen Erdwärme über Bohrungen oder Körbe, Wärmeentzug aus Gewässern oder aus Abwasserkanälen etc. in Frage. Für warme Netze kann neben Tiefengeothermie auch Abfallwärme aus Industrie, Müllverbrennung, Klärwerken etc. genutzt werden. Wichtig ist dabei, dauerhaft wirtschaftliche Vertragsbedingungen für die Wärmelieferung zu erhalten, was angesichts der anstehenden Einsparungen in all diesen Sektoren in vielen Fällen nicht gegeben sein wird.

Ist kostengünstige Abfallwärme nicht verfügbar, sind dezentrale Lösungen oftmals deutlich günstiger. Das gilt für Luft-Wasser-Wärmepumpen, die zunehmend Jahresarbeitszahlen bis über 5,0 aufweisen. Alternativ können auch dezentrale Versorgungssysteme pro Wohnung mit Luft-Luft-Wärmepumpen sinnvoll sein. Auf jeden Fall ist eine vergleichende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung inkl. Lebenszyklusbilanzierung zu empfehlen.

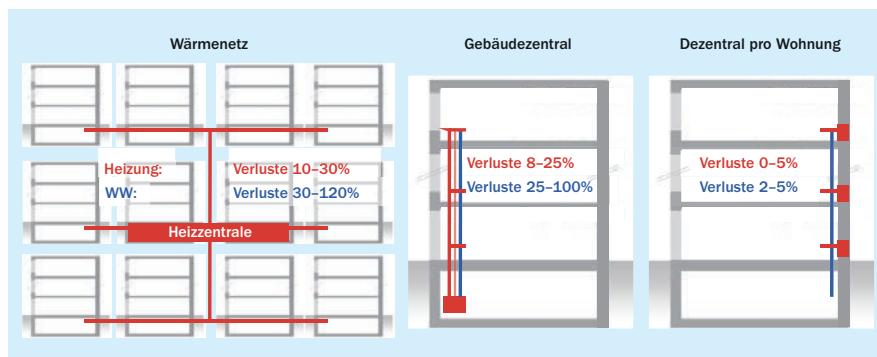


Bild 27 Vergleich der Anlagenverluste verschiedener Wärmeverteilssysteme

Aus Sicht konventioneller Versorgungstechnik gilt die Maxime, dass große Systeme ein hohes Maß an kostengünstiger zentraler Technik auf dem neuesten Stand ermöglichen. Allerdings könnten sich sowohl bei Fernwärme als auch Quartiersnetzen diese Grundlagen

innerhalb der nächsten zwei Jahrzehnte grundlegend ändern. Da die Investitionszyklen im Versorgungsbereich lang sind, drohen Fehlinvestitionen. Deshalb ist immer ein Lebenszyklusvergleich mit dezentralen Lösungen zu empfehlen. Bild 28 zeigt schematisch, welche Energieträger für Wärmenetze zukunftsfit sind. Falls Tiefengeothermie wirtschaftlich erschließbar ist, steht diese Option ganz vorne in der Prioritätenliste. Danach kommen Wärmepumpen, die allerdings für Netze entsprechend groß dimensioniert werden müssen und in Abhängigkeit vom erforderlichen Temperaturniveau inkl. der Leistungsverluste zu deutlich schlechteren Jahresarbeitszahlen als dezentrale Wärmepumpenlösungen führen.

Wasserstoff-Techniken ermöglichen dezentrale Energiespeicherung und -nutzung. Auf Quartiersebene erfordert das allerdings einen sehr hohen Aufwand. Die volkswirtschaftlich sinnvollere Lösung scheint in einem bundesweiten Verbund von Gas- und Dampf-Kombikraftwerk (GuD) zu liegen, die bei kalter Dunkelflauftie die fehlende elektrische Leistung zur Verfügung stellen, wenn nicht genügend PV- und Windstrom verfügbar ist.

7.4. Lastmanagement und Mieterstromkonzepte

Gebäudetechnikregelung, Monitoring und Abrechnung sind bisher drei getrennte Sektoren. Im Zuge der Digitalisierung bilden diese Aspekte eine technische Einheit. Gebäude mit hoher Energieeffizienz ermöglichen auf einfache Art ein vorausschauendes Lastmanagement, besonders wenn sie eine hohe Masse und damit thermische Trägheit aufweisen. Wird die Heizung im Winter abgestellt, sinkt die Raumtemperatur in solchen Gebäuden nur um etwa 1 K pro Tag, was als Schlüssel zu hoher Wirtschaftlichkeit durch Lastmanagement zu sehen ist, weil das temporäre Abschalten des Wärmeerzeugers von den Nutzenden kaum wahrnehmbar ist.

Wohnungen, Gebäude und Quartiere sind als Bausteine in einem Strom-Liefer- & Bezugsnetzwerk mit synergetischem

Lastmanagement für die gesamte Region zu sehen. Einfache Lastschalt- und Lastabwurfsysteme bieten in der Summe ein hohes Regelpotenzial für die regionalen Netze. Das gilt besonders, wenn Wärme elektrisch via Wärmepumpen bereitgestellt wird. Niedrige Lastspitzen im Winter sind bei vollerneuerbarer Versorgung als Qualitätsmerkmal für Gebäude zu sehen, denn sie führen zu einer guten Netzverträglichkeit und ermöglichen in den kommenden Jahren einen Netzausbau mit Augenmaß ohne überhöhte Aufwendungen für die Versorger, auch angesichts von Zeiten kalter Dunkelflauftie.

Außerdem wird der Strombedarf, also auch Haushaltsstrom und E-Mobilität in die Versorgungsstruktur und mithin in das Lastmanagement einbezogen mit zahlreichen positiven Synergieeffekten. Dazu gehört auch Stromeffizienz: durch stromsparende Geräteausstattung und Beleuchtung lassen sich mit bestem Kosten-Nutzen-Verhältnis Nebenkosten einsparen.

Werden diese Aspekte durch erneuerbare Erträge ergänzt, was bereits jetzt Standard im Neubau ist, ergeben sich bei richtiger Planung hochwirtschaftliche Betriebsmodelle. Dazu gehören auch Nutzer- bzw. Mieterstromkonzepte, die zukünftig im Geschosswohnungsbau zur Regel werden. Eine sehr wirksame Option stellen dabei Flatrate Modelle für Heizen, Warmwasser und Haushaltsstrom dar. Jede Mieteinheit erhält ein Verbrauchskontingent, das eine effiziente Ausstattung und ein sparsames Verhalten impliziert. Werden diese Werte relevant überschritten, wird der Mehrverbrauch automatisiert gesondert in Rechnung gestellt. Flatrate-Lösungen haben sich vor allem für Quartiere mit hocheffizienten Gebäuden bewährt, wie sie in Zukunft ohnehin gebaut werden.

Mieter erhalten direkten Zugang auf ihre digitalen Medien und können ihre Daten in Echtzeit verfolgen. Zudem können in einem System von Smart Building & Living digitale Dienstleistungen integriert werden, was einen zusätzlichen Komfort für die Bewohner sicherstellt.

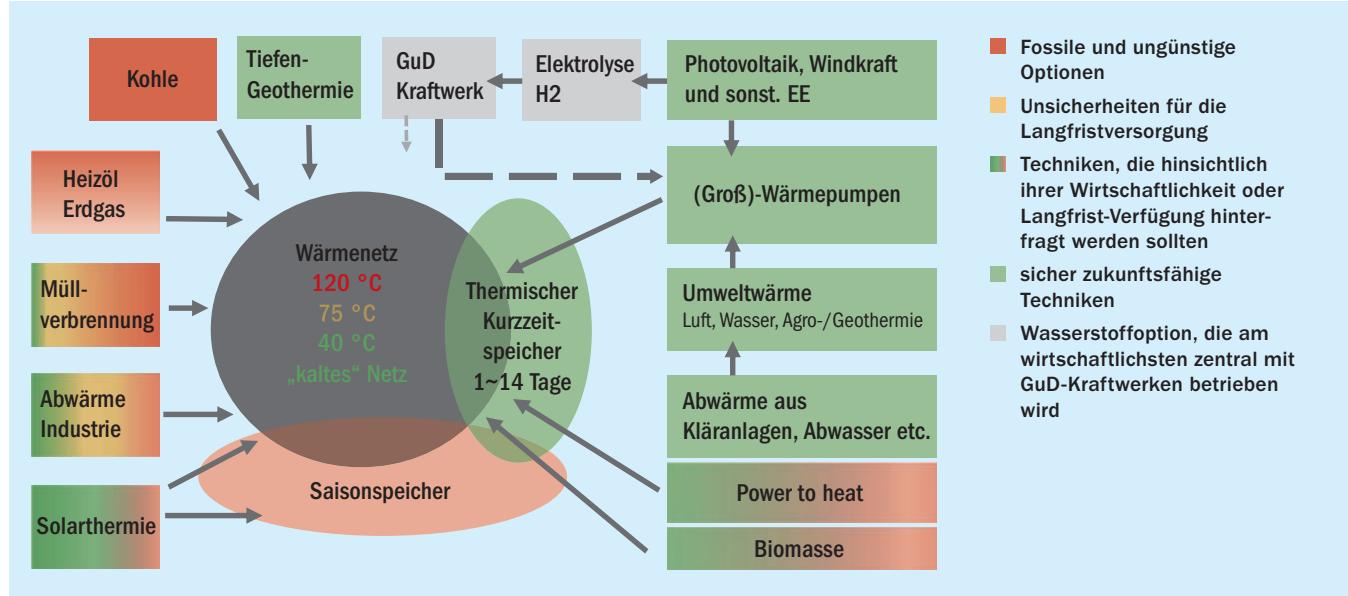


Bild 28 Schema für eine Versorgung via Wärmenetz

8. Klimaneutralität bis 2045 – wie geht das?

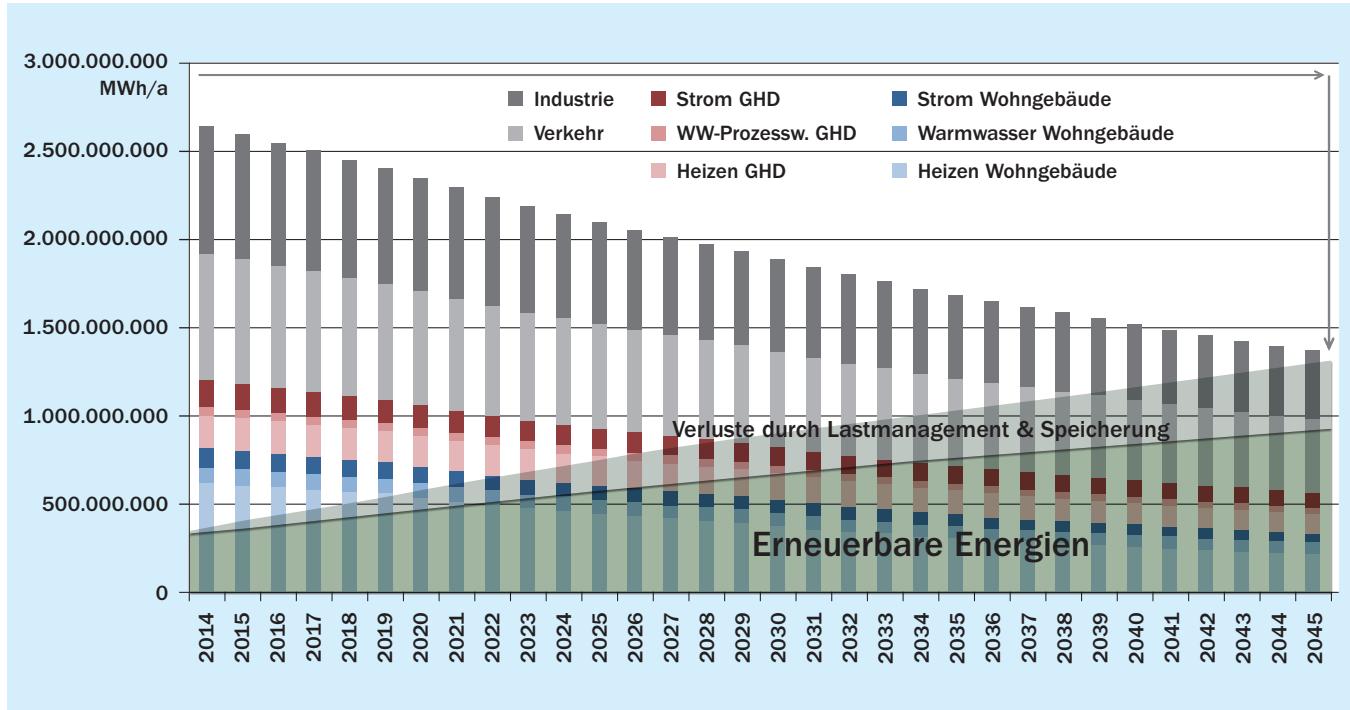


Bild 29 Entwicklung des Endenergiebedarfs der unterschiedlichen Sektoren in Deutschland und Deckung des verbleibenden Bedarfs bis zur Klimaneutralität im Jahr 2045

Zum Erreichen der Klimaneutralität sind Best Practice Techniken sowohl auf der Effizienzseite als auch bei Generierung erneuerbarer Energien erforderlich. Bis 2045 muss der Endenergiebedarf um ca. 50 % gesenkt werden. Ein relevanter Teil der Einsparung wird allein durch die Transformation von Brennstoffen auf Strom erzielt. Auf dieser Basis kann der Restbedarf an erneuerbaren Energien wirtschaftlich und mit einem landschaftsverträglichen Kontingent von Windkraft und PV-Anlagen bereitgestellt werden. Im Klimaschutzgesetz wird mit Blick auf die Treibhausgasemissionen der Senkungspfad mit jährlichen Zielwerten angegeben. Folgende Anforderungen zeigen, wie Neubauten gestaltet werden können, um bis zum Jahr 2045 klimaneutral betrieben werden zu können (Bild 29):

- Effizienz der Gebäudehülle: Standard KfW EH 40, möglichst in Passivhaus-Qualität mit einem Zielwert für den Heizwärmeverbrauch von 10 bis 20 kWh/(m²a). Durch Wärmepumpentechnik kann der Heizenergiebedarf mit 3 bis 8 kWh/(m²a) gedeckt werden, die zu relevanten Teilen auf dem Grundstück bzw. im Quartier erneuerbar bereitgestellt werden können.
- Warmwasser: hocheffiziente, weitgehend erneuerbare Systeme mit minimierten Verlusten; nach Abzug der direkt erneuerbar bereitgestellten Energie sollte der aus dem Netz zu deckende Endenergiebedarf höchstens 5 kWh/(m²a) betragen.

- Strombedarf: Ausstattung der Haushalte mit hocheffizienten Geräten und LED-Beleuchtung sowie Einbeziehung der E-Mobilität in die Versorgungssysteme als integraler Faktor.
- Anlagen zur Bereitstellung erneuerbarer Energie auf dem Grundstück mit einem Zielwert von mindestens 100 kWh/(m²a) bezogen auf die überbaute Fläche bei einem hohen Anteil Eigenstromnutzung durch Lastmanagement und Zwischenspeicherung. Eine hohe Netzverträglichkeit der Gebäude ergibt sich durch möglichst geringe Leistungsanforderung aus dem Netz bei Dunkelflaute.
- Die Jahresbilanz der Treibhausgasemissionen und des Endenergiebedarfs sollte unter null liegen für Wärme, Strom und E-Mobilität gegenüber dem erneuerbaren Ertrag. Bei hoch verdichteten Gebäuden oder Quartieren mit durchschnittlich mehr als vier Geschossen muss diese Anforderung differenziert betrachtet werden, weil die Dachflächen für die Anforderung an die PV-Erträge nicht ausreichen.

Wir Bauschaffenden können einen großen Beitrag zum Gelingen der Energiewende beitragen. Zugleich stellt dieser herausfordernde Prozess eine Chance dar, unsere gebaute Umwelt hochwertig weiterzuentwickeln und Gebäude, Quartiere und Kommunen dauerhaft nachhaltig zu gestalten.

**Bildnachweise****Bild S. 14:** Xella;**Bild 1, Bild 9, Bild 10:** Schulze Darup;**Bild 2, Bild S. 16, Bild 16:** Olaf Mahlstedt;**Bild 3:** UNIKA GmbH/Sven-Erik Tornow;**Bild 5; Bild 20:** UNIKA GmbH;**Bild 6:** EFH, Privat_Köhler & Meinzer Leopoldshafen_Wohnen & Essen ;**Bild 10:** target; **Bild 12:** Evisys;**Bild 14, Bild 15:** Schöffel/Schulze Darup;**Bild 17, Bild 18, Bild 19:** Martin Spitzner;**Bild 23:** Hartmann, Leppig, Schulze Darup;**Bild 25:** Stefan Witte; **Bild S. 37:** Xella**Bild 8; Bild S. 22 unten:**
Bundesverband der Kalksandsteinindustrie e.V.