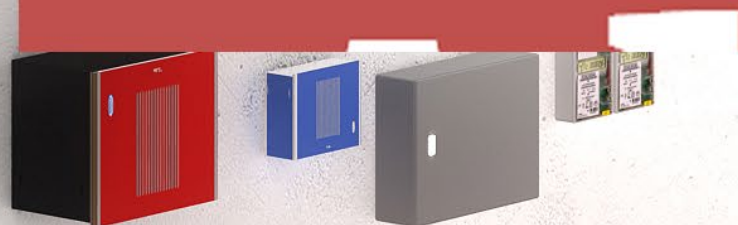




Abenteur Eigenheim

Praxisratgeber für nachhaltiges
und wirtschaftliches Bauen und Sanieren



Wirtschaftlich und klimafreundlich bauen und sanieren

Ein Leitfaden für energieeffizientes, nachhaltiges und zukunftssicheres Bauen

Dipl. Ing. Rolf Krause

© 2025 – Alle Rechte vorbehalten

Ingenieurbüro für Energie & Nachhaltigkeit

Inhaltsverzeichnis

1.1 Klimaschutz im Gebäudesektor und die Bedeutung guter Planung	8
Vertiefung: Vom Niedrigstenergie- zum Plus-Energie-Standard und die Rolle des ganzheitlichen Denkens	11
1.2 Graue Energie und Primärenergiebedarf im Bauwesen	13
Vertiefung: LCA-Bilanzierung, Ökobilanz und Strategien zur Reduktion der Grauen Energie.....	13
1.3 Abfallvermeidung, Recycling und Lebenszyklusdenken.....	16
Vertiefung: Circular Economy, Cradle-to-Cradle und der Materialpass	16
1.4 Gesetzliche und normative Grundlagen	18
Vertiefung: GEG-Novellierung, EU-Taxonomie und die Rolle der Zertifizierungssysteme.....	18
1.5 Energieausweise als Transparenzinstrument.....	20
Vertiefung: Indikatoren, Datenqualität und die Rolle in der Sanierungsstrategie	20
1.6 Der individuelle Sanierungsfahrplan (iSFP)	22
Vertiefung: Fahrplan als Strategie-Tool, iSFP-Bonus und die Kopplung mit Fördermitteln	22
1.7 Finanzierung nachhaltiger Bauvorhaben.....	24
Vertiefung: BEG-Förderlandschaft, Kumulierung und "Green Loans" der Banken	24
1.8 Wohngesundheit, Raumklima und Komfort	26
Vertiefung: Schadstoffbilanz, Lüftungskonzepte und die Rolle von Naturbaustoffen.....	26
1.9 Zukunftsfähigkeit und Resilienz gegenüber Klimafolgen	28
Vertiefung: Multi-Hazard-Ansatz, Klimaanpassungsstrategien und Energieautarkie	28
Kapitel 2 – Bautechnische Umsetzung: Materialien, Konstruktion und Dämmung	31
2.1 Effiziente Baukonstruktionen – Massivbau, Holzbau und Hybridbau	31
Vertiefung: Materialeffizienz, Thermische Masse und Modulares Bauen.....	31
2.2 Dämmstoffe im Vergleich – Material und Wirkung.....	33
Vertiefung: Phasenverschiebung, Ökobilanz und Diffusionsoffenheit.....	33
2.3 Speziallösungen – Wärmedämmputze, Strohballen und Innendämmung	35
Vertiefung: Kapillaraktivität, Systemintegration und Denkmalschutzkonforme Sanierung.....	35
2.4 Bauteile im Fokus – Fenster, Türen, Dach und Boden.....	37
Vertiefung: G-Wert, Warme Kante und Perimeterdämmung	37
2.5 Wärmebrücken und Luftdichtheit	40

Vertiefung: Psi-Wert, Blower-Door-Test und Thermografie	40
2.6 Bauphysik, Schallschutz und Behaglichkeit.....	41
Vertiefung: Entkopplung, Masse-Feder-Masse-Prinzip und A/V-Verhältnis	41
2.7 Brandschutz und Sicherheit.....	43
Vertiefung: Feuerwiderstand, Verkapselung und Intelligente Brandschutzkonzepte	44
2.8 Passives Energiegewinnen durch Ausrichtung und Tageslicht	45
Vertiefung: Passive Solararchitektur, Lichtlenkung und Vermeidung von Blendung.....	45
2.9 Smarte Gebäudeautomation (HEMS und Smart Home)	47
Vertiefung: Lastverschiebung, Predictive Control und Cyber Security	47
Kapitel 3 – Energieversorgung und Haustechnik	50
3.1 Strom erzeugen und speichern – Photovoltaik als Herzstück moderner Energieversorgung.....	50
Vertiefung: Modultechnologie, Netzdienlichkeit und Wirtschaftlichkeit der PV- Speichersysteme.....	50
3.2 Wärme erzeugen – moderne Systeme für Heizung und Warmwasser	52
Vertiefung: Effizienz von Wärmepumpen, Kühlen und die Speicherkapazität der Carbonheizung	52
3.3 Sektorkopplung – Strom, Wärme und Mobilität intelligent verbinden	54
Vertiefung: HEMS-Priorisierung, Vehicle-to-Grid und Lastmanagement	54
3.4 Anlagenplanung, Betrieb und Wartung.....	56
Vertiefung: Hydraulischer Abgleich, Systemintegration und Predictive Maintenance	56
3.5 Wirtschaftlichkeit und Zukunftssicherheit	58
Vertiefung: Total Cost of Ownership, Förderungsanreize und der "Grüne" Immobilienwert.....	58
Kapitel 4 – Praxis, Innovation und Zukunftskonzepte.....	61
4.1 Sanierungsprojekte – vom Altbau zum Effizienzhaus	61
Vertiefung: Sanierungsfahrplan-Hierarchie, Bauschadenvermeidung und der Hebel der Betriebsoptimierung	61
4.2 Neubauten – Effizienzhaus 40, QNG und Plusenergiehäuser.....	63
Vertiefung: Effizienzklassen-Evolution, LCA-Anforderungen und Bauweise als CO ₂ - Speicher.....	63
4.3 Energieautarkie – der Weg zum unabhängigen Haus	65
Vertiefung: Autarkiegrad, Saisonale Speicherung und die Rolle des Wasserstoffs	65

4.4 Erfolgreiche Kombination: Wärmepumpe, PV, Speicher und HEMS.....	66
Vertiefung: Systemeffizienz, Prädiktive Regelung und Schnittstellen-Problematik.....	67
4.5 ESG und Nachhaltigkeit als Wettbewerbsvorteil	68
Vertiefung: Green Finance, Investitionsrisiken und die Rolle von EPDs	68
4.6 Umweltzeichen, Produktlabels und Materialtransparenz	70
Vertiefung: EPD als Ökobilanz, Wohngesundheits-Labels und Greenwashing-Schutz	70
4.7 Begrünte Gebäude – Dach, Fassade und Umweltwirkung.....	71
Vertiefung: Urbane Hitzeinsel-Effekt, Retentionsvolumen und PV-Effizienz	71
4.8 Smarte Lüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung.....	73
Vertiefung: Feuchtemanagement, Filterklassen und Bedarfsgeführte Steuerung	73
4.9 Aufklärung und Wissen – Mythen im Bausektor	75
Vertiefung: Atmende Wände, Taktung der Wärmepumpe und Amortisationsrealität	75
4.10 Leuchtturmprojekte und die Zukunft des Bauens	76
Vertiefung: Quartierslösungen, Digitaler Zwilling und Klimapositive Gebäude.....	76
Kapitel 5 – HEMS – Das intelligente Energiemanagementsystem	79
5.1 Grundprinzip eines HEMS.....	79
Vertiefung: Vom Verbraucher zum Prosumer, Prädiktive Kontrolle und Wirtschaftliche Priorisierung	79
5.2 Kommunikation zwischen PV, Speicher und Verbrauchern.....	81
Vertiefung: Datenprotokolle, Interoperabilität und Die Rolle des Wechselrichters	81
5.3 Warmwasserbereitung über Heizstab – automatisch und effizient.....	82
Vertiefung: Power-to-Heat-Effizienz, Thermischer Speicher als Puffer und Hygienischer Aspekt.....	82
5.4 Integration von Carbonheizung und Wärmepumpe	84
Vertiefung: Thermische Trägheit, Lastverschiebung und Hybride Effizienz.....	84
5.5 Steuerung der Haushaltsgeräte und E-Mobilität	86
Vertiefung: Smart-Grid-Ready-Geräte, Zeitfenster-Management und Priorisierung in der E-Mobilität.....	86
5.6 Energieeinsparung und Autarkie durch HEMS	88
Vertiefung: Quantifizierung des Autarkiegrads, Selbstlernende Algorithmen und Datenanalyse	88
5.7 HEMS als Zukunft der Gebäudeautomation	89
Vertiefung: Smart Grids, Bidirektionales Laden und Dezentrale Netzstabilität.....	89

Kapitel 6 – Förderlandschaft: Finanzierung durch öffentliche Programme.....	91
6.1 Überblick über die Förderlogik.....	91
Vertiefung: BEG-Systematik, Technische Mindestanforderungen und die Rolle des EEE.....	91
6.2 KfW-Programme im Überblick (Neubau und Sanierung).....	93
Vertiefung: KfN, Tilgungszuschüsse als Hebel und Die Wichtigkeit des QNG.....	93
6.3 BAFA-Förderungen – Zuschüsse für Einzelmaßnahmen	94
Vertiefung: Heizungstausch als Förderschwerpunkt, iSFP-Bonus und Kumulierungsgrenzen	94
6.4 Landes- und Kommunalförderung.....	96
Vertiefung: Regionaler Schwerpunkt, Komplementärfunktion und Kumulierungshürden.....	96
6.5 Fördermittel kombinieren und optimal nutzen	97
Vertiefung: Das Anti-Doppelförderungsprinzip, der "iSFP-Katalysator" und die Digitale Antragstellung.....	98
6.6 Fazit: Förderung als Teil des Gesamtkonzepts.....	99
Vertiefung: Langfristige Kapitalerträge, Politischer Rückenwind und die Rolle der Amortisation.....	99
Kapitel 7 – Moderne und zukünftige Heizmethoden und Energiegewinnungskonzepte für Wohnhäuser	102
7.1 Heizen mit Wasserstoff und Brennstoffzellen.....	102
Vertiefung: Effizienzanalyse, Infrastruktur-Herausforderung und Methanol als Wasserstoffträger	102
7.2 Energiezisterne: Heizen mit Regenwasser.....	104
Vertiefung: Thermodynamik, Klimaresilienz und die Kopplung mit der Wärmepumpe 	104
7.3 Solardachpfannen und gebäudeintegrierte Photovoltaik.....	105
Vertiefung: Hybrid-PV-T-Systeme, Ästhetische Akzeptanz und Flächeneffizienz	105
7.4 Sektorkopplung im Haushalt: PV + Speicher + Wärmepumpe + HEMS.....	107
Vertiefung: Standardisierung, Netzdienlichkeit und die Rolle der §14a-Steuerung ..	107
7.5 Weitere zukunftsweisende Technologien	109
Vertiefung: Eisspeicher, Thermochemie und Abwärmenutzung im Detail.....	109
7.6 Forschungseinrichtungen, Akteure und Ausblick	111
Vertiefung: Innovationsförderung, Internationale Vergleichbarkeit und das Zukunfts- Portfolio	111

Zusammenfassung: Grundlagen, Technik und Zukunft nachhaltiger Bauvorhaben.....	114
Kapitel 1: Grundlagen und Planung nachhaltiger Bauvorhaben	114
Kapitel 2: Bautechnische Umsetzung: Materialien, Konstruktion und Dämmung	115
Kapitel 3: Energieversorgung und Haustechnik.....	116
Kapitel 4: Praxis, Innovation und Zukunftskonzepte.....	117
Kapitel 5: HEMS – Das intelligente Energiemanagementsystem.....	118
Kapitel 6: Förderlandschaft: Finanzierung durch öffentliche Programme	119
Kapitel 7: Moderne und zukünftige Heizmethoden und Energiegewinnungskonzepte für Wohnhäuser	119
Impressum.....	121

Vorwort

Noch nie war es so einfach und lohnend wie heute, das eigene Zuhause in ein energieeffizientes, klimafreundliches und zugleich kostensparendes Projekt zu verwandeln. Der Gebäudesektor spielt eine entscheidende Rolle beim Klimaschutz – in Deutschland werden rund 40 % der CO₂-Emissionen durch Gebäude verursacht dena.de. Gleichzeitig führen steigende Energiepreise und der Wunsch nach Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen dazu, dass immer mehr Hausbesitzer nach nachhaltigen Alternativen suchen vde-verlag.de. **Wirtschaftliches und klimafreundliches Bauen und Sanieren** ist daher kein Nischenthema mehr, sondern eine Notwendigkeit **und** eine große Chance für uns alle.

Glücklicherweise stehen uns heute innovative Technologien zur Verfügung, mit denen wir diese Herausforderung meistern können. Photovoltaik-Anlagen zählen mittlerweile zu den günstigsten Möglichkeiten der Stromerzeugung vde-verlag.de – sie machen Hausdächer zu Kraftwerken und liefern sauberen Solarstrom. Wärmepumpen nutzen die Umgebungswärme so effizient, dass aus einer Kilowattstunde Strom drei bis vier Kilowattstunden Wärme erzeugt werden kofler.info. Solch beeindruckende Leistungszahlen zeigen, dass moderne Heiztechnik nicht nur **das Klima schont**, sondern auch spürbar Energiekosten senken kann. Hinzu kommen Home Energy Management Systems (HEMS), die Photovoltaik, Batteriespeicher, Wärmepumpe und Haushaltsgeräte intelligent vernetzen. Sie helfen dabei, möglichst viel vom selbst erzeugten Strom im eigenen Haus zu nutzen und erhöhen so die Unabhängigkeit vom Energieversorger. Und sogar Wasserstoff-Systeme rücken am Horizont näher – etwa in Form von Brennstoffzellen oder als saisonaler Energiespeicher – und könnten künftig eine weitere **praktikable Option** für Eigenheime werden. All diese Technologien sind **kein abstraktes Zukunftsversprechen** mehr, sondern heute schon real verfügbar und praxiserprobt.

Als Diplom-Ingenieur, der seit über 25 Jahren in den Bereichen Maschinenbau, Energieberatung, Softwareentwicklung und Gebäudetechnik tätig ist, habe ich die Entwicklungen hautnah miterlebt. Diese vielfältige Erfahrung hat mir

gezeigt, dass nachhaltiges Bauen und Sanieren nur mit einem **ganzheitlichen Ansatz** wirklich erfolgreich ist. In meiner Praxis als Ingenieur und Berater betrachte ich jedes Gebäude als Gesamtsystem: Von der Gebäudehülle über die Heiz- und Lüftungstechnik bis zur intelligenten Steuerung muss alles ineinandergreifen. Ich verstehe mich dabei als **ganzheitlicher Lösungsentwickler**, der zukunftsorientierte und gleichzeitig **praxistaugliche Energiekonzepte** entwirft. Es genügt nicht, einfach eine Wärmepumpe oder Solaranlage zu installieren – das Zusammenspiel aller Komponenten und die Anpassung an die individuellen Gegebenheiten jedes Hauses sind der Schlüssel zum Erfolg. Genau diesen Gedanken möchte ich Ihnen in diesem E-Book näherbringen.

Dieses Vorhaben ist mir auch ein persönliches Anliegen. In den letzten Jahrzehnten habe ich erlebt, wie sehr innovatives Denken und **praktische Erfahrung** zusammenwirken müssen, um echte Fortschritte zu erzielen. Dabei fasziniert mich immer wieder, wie moderne Technologien in der alltäglichen Anwendung funktionieren: sei es eine Photovoltaikanlage auf dem eigenen Dach, die zuverlässig Strom für Haushaltsgeräte und das E-Auto liefert, oder ein *smartes* Energiemanagement, das automatisch die Waschmaschine dann startet, wenn die Sonne am stärksten scheint. Solche Lösungen bringen nicht nur ökologische Vorteile, sondern verbessern auch den Komfort und die **Wirtschaftlichkeit** Ihres Eigenheims. Mit diesem E-Book möchte ich meine Faszination und mein Wissen mit Ihnen teilen. Es erwartet Sie kein trockener Theorielehrgang, sondern verständliche Erklärungen, praktische Tipps und **ganzheitliche Strategien**, wie Sie Ihr Zuhause fit für die Wärmewende machen.

Ich lade Sie herzlich ein, sich auf die *innovativen Möglichkeiten der Wärmewende im Eigenheim* einzulassen. Lassen Sie sich motivieren und inspirieren, neue Wege zu gehen – im Wissen, dass Sie dabei stets von erprobten Fakten, fundiertem Expertenwissen und meiner persönlichen Erfahrung profitieren. Jedes Kapitel soll Ihnen Mut machen, die Energiewende **in den eigenen vier Wänden** selbst in die Hand zu nehmen. Egal, ob Sie vor einem Neubau stehen oder einen Altbau sanieren möchten: Die kommenden Seiten zeigen Ihnen, dass **klimafreundliches Bauen und Sanieren** nicht nur

machbar, sondern vielfach bereits ökonomisch sinnvoll ist. Nutzen Sie die Chance, von den neuesten Technologien zu profitieren, und gestalten Sie Ihr Zuhause zukunftssicher!

Zusammen können wir Schritt für Schritt dazu beitragen, die Vision einer nachhaltigen, bezahlbaren und sicheren Energiezukunft Wirklichkeit werden zu lassen – angefangen bei den eigenen vier Wänden. In diesem Sinne wünsche ich Ihnen eine aufschlussreiche Lektüre und viel Freude beim Entdecken der modernen Energiekonzepte für Ihr Zuhause. Möge Sie dieses Buch dazu ermutigen, **aktiv** Teil der Wärmewende zu werden und dabei Ihre ganz persönlichen Ziele – sei es Kosteneinsparung, Unabhängigkeit oder Klimaschutz – erfolgreich umzusetzen.

Brüggen, im November 2025
Rolf Krause

1.1 Klimaschutz im Gebäudesektor und die Bedeutung guter Planung

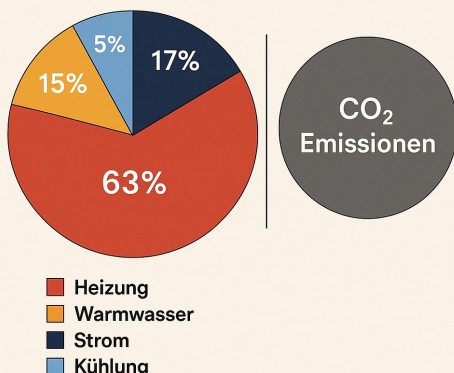
Vertiefung: Vom Niedrigstenergie- zum Plus-Energie-Standard und die Rolle des ganzheitlichen Denkens

Die Rolle des Gebäudesektors geht über die reine Energieeinsparung hinaus und entwickelt sich hin zu einer aktiven Beteiligung an der Energiewende. Die bisherigen Standards, wie das KfW-Effizienzhaus oder das Niedrigstenergiegebäude, sind zwar wichtige Zwischenschritte, das langfristige Ziel muss jedoch das **Plus-Energie-Gebäude** sein. Dieses Konzept besagt, dass ein Gebäude über das Jahr gerechnet mehr Energie erzeugt, als es für Betrieb und Nutzer (Heizung, Warmwasser, Haushaltsstrom) verbraucht. Die Überschussenergie kann dann ins Netz eingespeist oder für Elektromobilität genutzt werden und das Gebäude somit zu einem **aktiven Element der städtischen Energieinfrastruktur** machen.

Klimafreundliches Bauen erfordert daher einen **ganzheitlichen Planungsansatz**, der über die isolierte Betrachtung von Dämmung und Heizung hinausgeht. Dieser Ansatz, oft als **Integrale Planung** bezeichnet, bringt Architekten, Fachingenieure (TGA, Tragwerk), Energieberater und Bauherren von Anfang an zusammen. Im Fokus stehen dabei die Wechselwirkungen: Beispielsweise kann eine optimierte Gebäudeform (**kompakte Bauweise mit geringem A/V-Verhältnis, d.h. wenig Oberfläche im Verhältnis zum Volumen**) den Dämmaufwand reduzieren, während gleichzeitig eine intelligente Fensterstrategie den Einsatz von Heizenergie und mechanischer Kühlung minimiert.

Klimaschutz im Gebäudesektor

Energieverbrauchsanteile
von Gebäuden



Ein oft unterschätzter Faktor in der frühen Planungsphase ist die **Sektorenkopplung**. Die Integration von Photovoltaik (Stromerzeugung), solarthermischen Anlagen (Wärmeerzeugung) und Wärmepumpen (Heizung/Kühlung) in einem System ermöglicht es, Energie effizient zu nutzen und zu speichern. Insbesondere **Batteriespeicher** spielen eine

Schlüsselrolle, da sie den selbst erzeugten Strom auch dann verfügbar machen, wenn die Sonne nicht scheint, und damit die Eigenversorgungsquote des Hauses maximieren.

Ein weiterer Aspekt der "guten Planung" ist die **Langfristigkeit und Umnutzungsfähigkeit** des Gebäudes. Ein zukunftsfähiges Gebäude muss flexible Grundrisse aufweisen, die eine Anpassung an veränderte Lebensphasen oder Nutzungsanforderungen (z.B. vom Wohnen zum Büro oder Mehrgenerationenhaus) ohne großen baulichen Aufwand zulassen. Diese **Anpassungsfähigkeit (Adaptability)** verlängert den Lebenszyklus des Gebäudes, reduziert späteren Bauabfall und spart langfristig immense Mengen an **Grauer Energie** (siehe Kap. 1.2).

Zusammenfassend ist die Planungsphase der entscheidende Hebel, um aus einem „grünen Wunsch“ ein **messbar nachhaltiges und wirtschaftlich optimiertes Gebäude** zu machen. Hier werden die Weichen für die nächsten 50 bis 100 Jahre gestellt – für minimale Betriebskosten, maximale Energieautarkie und einen geringen CO₂-Fußabdruck. Die Investition in eine fundierte und integrale Planung ist der effektivste Weg, um ökologische Verantwortung und finanzielle Vernunft zu vereinen.

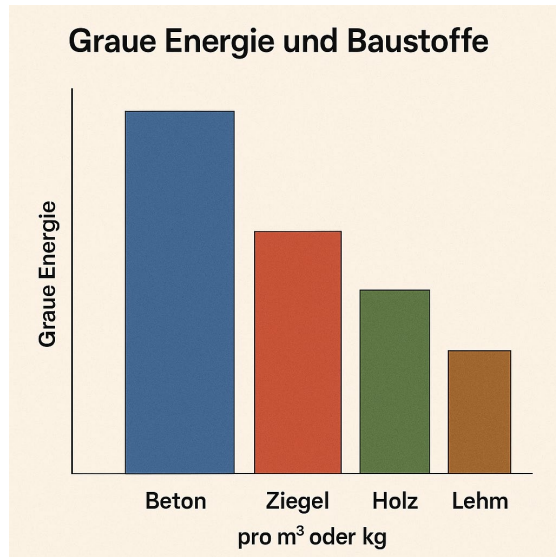
Beispiel: Planung eines kommunalen Verwaltungsgebäudes als Plus-Energie-Standard 🏛️

Eine Gemeinde plant ein neues Verwaltungsgebäude. Statt nur den **KfW 40 Standard** (Niedrigstenergie) zu erreichen, entscheidet sich die **Integrale Planungsgruppe** frühzeitig für den **Plus-Energie-Standard**. Die Planer wählen eine **kubische, kompakte Form** mit optimaler Ost-West-Ausrichtung, um unnötige Fassadenfläche zu vermeiden. Sie dimensionieren das Dach und die Südfassade mit **Photovoltaik-Anlagen**, die in Kombination mit einem großen **Gebäudespeicher** (Batteriespeicher) im Keller den Jahresstrombedarf des Gebäudes und der angeschlossenen **E-Ladeinfrastruktur** für die Dienstfahrzeuge decken. Durch die frühe Integration des Energiekonzepts in die Architektur werden die Mehrkosten für die PV-Anlagen durch die eingesparten Kosten für eine aufwändigere konventionelle Haustechnik und die **langfristigen Einnahmen** aus der Energieproduktion schnell kompensiert.

1.2 Graue Energie und Primärenergiebedarf im Bauwesen

Vertiefung: LCA-Bilanzierung, Ökobilanz und Strategien zur Reduktion der Grauen Energie

Die **Graue Energie** (auch **Embodied Energy**) hat in den letzten Jahren dramatisch an Bedeutung gewonnen, da die Energieeffizienz im Betrieb durch das GEG und höhere Dämmstandards immer besser wird. Bei einem modernen Effizienzhaus kann die Graue Energie für die Herstellung der Baustoffe heute **bis zu 50% oder mehr des gesamten Energieverbrauchs über den gesamten Lebenszyklus** ausmachen. Die Reduktion der Grauen Energie ist somit der neue, zentrale Hebel für klimaneutrales Bauen.



Der Schlüssel zur Messbarkeit und Optimierung ist die **Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment, LCA)**. Sie bilanziert nicht nur die Graue Energie (Modul A1-A3: Herstellung), sondern den gesamten Lebensweg eines Gebäudes:

Herstellung (A1-A3): Gewinnung der Rohstoffe, Transport und Produktion der Baustoffe.

Bauphase (A4-A5): Transport zur Baustelle, Bauprozesse, Abfall.

Nutzung (B1-B7): Energie- und Wasserverbrauch im Betrieb, Wartung, Reparatur.

Ende des Lebenszyklus (C1-C4): Rückbau, Abfalltransport, Recycling, Deponierung.

Potenziale über den Systemrand hinaus (D): Gutschriften aus Recycling oder Energieerzeugung.

Die LCA liefert neben der Grauen Energie auch weitere wichtige Indikatoren, wie das **Global Warming Potential (GWP)**, das die CO₂-Äquivalente misst, oder den **Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT)**. Diese Daten sind essenziell für Nachhaltigkeitszertifizierungen (z.B. QNG, BNB, DGNB).

Strategien zur Minimierung der Grauen Energie:

1. Materialwahl: Bevorzugung von Baustoffen mit geringem Herstellungsaufwand und hohem Kohlenstoffspeicher-Potenzial (wie **Holz** oder **Lehm**). Bei Beton ist der Einsatz von **Zementersatzstoffen** oder **Recyclingbeton** ein wichtiger Schritt.

2. Wiederverwendung (Re-Use): Der radikalste Ansatz ist die Wiederverwendung von Bauteilen (**Circular Economy**). Wenn zum Beispiel

Stahlträger oder ganze Fenster aus einem Rückbau in einem neuen Projekt wieder zum Einsatz kommen, entfällt der Großteil der Grauen Energie komplett. Dies erfordert jedoch ein Umdenken in der Logistik und Planung.

3. Regionale Beschaffung: Kurze Transportwege für Baustoffe (A4) reduzieren den logistischen Teil der Grauen Energie. Die Unterstützung regionaler Wertschöpfungsketten wirkt sich zudem positiv auf die soziale Dimension der Nachhaltigkeit aus.

4. Konstruktion: Vermeidung von Materialverbünden, die das spätere Recycling erschweren. Eine sortenreine Trennung am Ende des Lebenszyklus garantiert, dass Materialien in einem hochwertigen Kreislauf bleiben.

Die Transparenz über die Graue Energie wird durch **Umwelt-Produktdeklarationen (Environmental Product Declarations, EPDs)** gewährleistet. Sie sind die "Ökobilanz im Kleinformat" für einzelne Baustoffe und liefern die Grundlage für die LCA-Berechnung des gesamten Gebäudes. Für Bauherren und Planer ist es entscheidend, diese EPDs bei der Materialauswahl aktiv einzufordern und zu vergleichen.

Beispiel: Vergleich von Dämmstoffen zur Reduktion der Grauen Energie 🌲

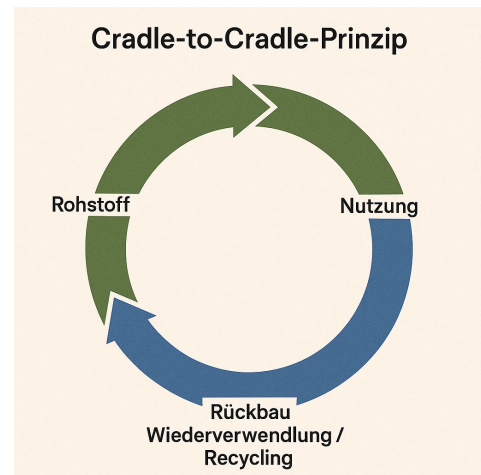
Ein Bauherr möchte sein Dach dämmen. Die LCA-Berechnung zeigt, dass **konventionelle Dämmstoffe auf Mineralölbasis (z.B. Polystyrol)** einen hohen Primärenergiebedarf in der Herstellung (A1-A3) aufweisen. Als Alternative wählt der Bauherr **Holzfaser-Dämmplatten** oder **Zellulose-Einblasdämmung** aus regionaler Produktion. Holzfasern und Zellulose haben einen geringeren Herstellungsaufwand und **speichern während ihres Wachstums Kohlenstoff** (Biomasse-Effekt), wodurch sie in der Ökobilanz eine deutlich bessere, oft sogar **negative CO₂-Bilanz** im Modul A1-A3 erzielen. Die Entscheidung für den Naturdämmstoff senkt die gesamte **Graue Energie** des Bauvorhabens spürbar.

1.3 Abfallvermeidung, Recycling und Lebenszyklusdenken

Vertiefung: Circular Economy, Cradle-to-Cradle und der Materialpass

Das Prinzip des **Lebenszyklusdenkens** (Life Cycle Thinking) mündet im Bauwesen in der konsequenten Anwendung der **Kreislaufwirtschaft (Circular Economy)**. Statt des linearen Modells „Gewinnen – Produzieren – Wegwerfen“ soll ein geschlossener Kreislauf entstehen, bei dem Abfall nicht existiert, sondern jedes Produkt Nährstoff für einen neuen Zyklus wird.

Das Konzept „**Cradle-to-Cradle**“ (**C2C**) stellt hierbei einen strengen Maßstab dar. Es geht über das bloße Recycling (oft **Downcycling** genannt, weil das Material an Qualität verliert) hinaus. C2C-zertifizierte Materialien sind so konzipiert, dass sie entweder in den biologischen Kreislauf (als "biologische Nährstoffe") oder in den technischen Kreislauf (als "technische Nährstoffe") zurückgeführt werden können, ohne dass dabei gesundheits- oder umweltschädliche Stoffe freigesetzt werden. Dies beeinflusst die Materialauswahl tiefgreifend, da viele herkömmliche Klebstoffe, Farben oder Kunststoffe als kritisch eingestuft werden.



Eine zentrale technologische Innovation, um das Lebenszyklusdenken in die Praxis zu übertragen, ist der **Materialpass** oder **Building Material Passport**. Dabei handelt es sich um eine digitale Datenbank, die detaillierte Informationen über alle verbauten Materialien, ihre Mengen, ihre ökologische Bewertung (LCA-Daten) und ihre genauen Einbaupositionen enthält. Der Materialpass ist somit das **Inventar des Rohstofflagers Gebäude**.

Vorteile des Materialpasses:

Rückbauplanung: Er ermöglicht einen **selektiven Rückbau** anstelle eines ungezielten Abrisses. Das Bauunternehmen weiß genau, welche

Schrauben, Träger oder Dämmplatten an welcher Stelle verbaut wurden und wie sie sortenrein getrennt oder sogar direkt wiederverwendet werden können.

Werterhalt: Er dokumentiert den **Materialwert** des Gebäudes. In Zukunft wird der Wert einer Immobilie nicht nur durch ihre Lage und ihren Zustand bestimmt, sondern auch durch die Qualität und Wiederverwertbarkeit ihrer verbauten Rohstoffe.

Glaubwürdigkeit: Er ist ein essenzielles Dokument für Nachhaltigkeitszertifizierungen und die **ESG-Berichterstattung** (Kapitel 1.4).

Ein weiterer wichtiger Beitrag ist die **Standardisierung von Verbindungstechniken**. Lösbare Verbindungen wie Schrauben, Klemmen oder Stecksysteme müssen die starren und schwer lösbaren Verklebungen ablösen. Beispiele sind: geschraubte statt geklebter Fassadenplatten, trocken verlegte Böden statt vollflächig verklebte Bodenbeläge, oder modulare Wandsysteme. Diese **Demontierbarkeit (Design for Disassembly)** ist die Grundvoraussetzung dafür, dass Bauteile als wertvolle Produkte wiederverwendet werden können, anstatt in den Recyclingprozess (der immer Energie kostet) geschickt zu werden.

Beispiel: Demontierbare Fassadengestaltung mit Materialpass

Bei einem Bürogebäude entscheidet sich der Planer für eine **vorgehängte, hinterlüftete Fassade**. Statt die Dämmung und die Fassadenplatten zu verkleben, werden sie **mechanisch verschraubt und geklemmt**. Alle Komponenten – von den Aluminium-Unterkonstruktionen bis zu den Außenplatten – werden im **digitalen Materialpass** erfasst. Sollte das Gebäude in 50 Jahren umgebaut werden, ermöglicht der Pass einen **selektiven Rückbau**: Die Fassadenplatten können abgeschraubt und *direkt* in einem neuen Gebäude wiederverwendet werden (**Re-Use**), während die Dämmung sortenrein entfernt und recycelt wird. Die Vermeidung von

Klebstoffen (Verbundmaterialien) und die Dokumentation im Pass stellen den **hochwertigen Stoffkreislauf** sicher.

1.4 Gesetzliche und normative Grundlagen

Vertiefung: GEG-Novellierung, EU-Taxonomie und die Rolle der Zertifizierungssysteme

Die gesetzlichen und normativen Grundlagen für nachhaltiges Bauen befinden sich in einem ständigen, dynamischen Wandel, der maßgeblich von der EU vorangetrieben wird. Das nationale **Gebäudeenergiegesetz (GEG)** ist die Mindestanforderung, wird aber durch weitreichende europäische Richtlinien ergänzt.

Der Druck aus der EU: Taxonomie und CSRD:

EU-Taxonomie-Verordnung: Sie definiert, wann eine wirtschaftliche Tätigkeit (wie das Bauen oder die Sanierung) als ökologisch nachhaltig gilt. Sie schafft damit einen verbindlichen Rahmen für Investitionen und Finanzierung. Ein Neubau muss seit 2023 nachweisen, dass der Primärenergiebedarf (PE) mindestens 10 % unter dem nationalen Niedrigstenergie-Standard (NZEB) liegt und ein **Life Cycle Assessment (LCA)** durchgeführt wurde. Die EU-Taxonomie zwingt damit Bauherren und Banken zur Bilanzierung der Grauen Energie.

Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD): Diese Richtlinie verpflichtet große Unternehmen ab 2024 zu einer umfangreichen Nachhaltigkeitsberichterstattung. Für die Bau- und Immobilienwirtschaft bedeutet dies, dass die **Umweltleistung von Gebäuden (z.B. CO₂-Emissionen, Ressourcenverbrauch, Abfall)** transparent offengelegt werden muss. Die CSRD treibt die Nachfrage nach zertifizierten und ökobilanzierten Gebäuden massiv an.

Qualitätssicherung durch Zertifizierungssysteme:

Über die gesetzlichen Mindestanforderungen des GEG hinaus definieren Zertifizierungssysteme wie **QNG (Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude)**,

DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) oder BNB (Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen) den Stand der Technik für höchste ökologische und soziokulturelle Ansprüche.

QNG-Siegel: Das staatliche Siegel ist primär an die **Förderung von Neubauten (Klimafreundlicher Neubau, KFN)** gekoppelt. Es stellt besonders hohe Anforderungen an die **Ökobilanz (LCA)** und die **Wohngesundheit (Schadstoffprüfung)**.

DGNB/BNB: Diese Systeme sind noch umfassender. Sie bewerten ein Gebäude anhand von 6 Hauptkriterien: Ökologische, Ökonomische, Soziokulturelle, Technische, Prozess- und Standortqualität. Sie stellen das gesamte Lebenszyklusdenken in den Mittelpunkt und vergeben Auszeichnungen in Bronze, Silber, Gold oder Platin.

Die Einhaltung dieser normativen Grundlagen ist nicht nur eine Frage der Konformität, sondern ein **finanzieller Vorteil**. Banken bieten für zertifizierte und ESG-konforme Immobilien oft günstigere **"Green Loans"** an. Zudem sichert die Einhaltung der Standards die Zukunftsfähigkeit der Immobilie, da sie voraussichtlich zukünftige, strengere gesetzliche Vorgaben bereits erfüllen.

Beispiel: Erreichen des QNG-Siegels für Förderfähigkeit ★

Ein Bauträger plant den Bau eines neuen Mehrfamilienhauses. Um die höchsten Förderstufen im Programm **"Klimafreundlicher Neubau (KFN)"** der KfW zu erhalten, muss das Gebäude neben einem niedrigen **Primärenergiebedarf (PE)** auch das **QNG-Siegel** (Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude) erreichen. Dies erfordert, dass der Bauträger **freiwillig** strenge Anforderungen erfüllt, wie etwa:

Nachweis einer **guten Ökobilanz (LCA)**, die die CO₂-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus bilanziert.

Verwendung von **schadstoffgeprüften Baustoffen**, um die **Wohngesundheit** sicherzustellen.

Die Einhaltung dieser Normen ermöglicht die Inanspruchnahme von **zinsgünstigeren Krediten und höheren Tilgungszuschüssen** (Kapitel 1.7), die ohne das QNG-Siegel nicht verfügbar wären. Der höhere Planungsaufwand zahlt sich direkt in der Finanzierung aus.

1.5 Energieausweise als Transparenzinstrument

Vertiefung: Indikatoren, Datenqualität und die Rolle in der Sanierungsstrategie

Der Energieausweis ist mehr als nur ein gesetzlich vorgeschriebenes Dokument; er ist die wichtigste Kennzahl zur Bewertung der energetischen Qualität eines Gebäudes. Die Unterscheidung zwischen Bedarfs- und Verbrauchsausweis ist dabei essenziell für die Sanierungsplanung.

Der **Bedarfsausweis** (technisch berechnet) bietet die höchste Qualität an Informationen, da er die **objektive Bausubstanz** bewertet. Er wird nach der **DIN V 18599** berechnet, welche das gesamte Energiesystem des Gebäudes (Hülle, Heizung, Lüftung, Beleuchtung) analysiert und ist somit der **Grundpfeiler für jede Sanierungsstrategie**.

Wesentliche Indikatoren im Bedarfsausweis:

Endenergiebedarf: Die Energie, die dem Gebäude tatsächlich zugeführt werden muss (z.B. in Form von Gas, Öl, Strom). Sie ist die relevante Größe für die **zukünftigen Energiekosten** des Nutzers.

Primärenergiebedarf (PE): Der Gesamtenergiebedarf unter Berücksichtigung der gesamten Kette von der Gewinnung des Energieträgers bis zur Nutzung im Gebäude (inkl. Transport, Umwandlungsverluste). Der PE ist die relevante Größe für die **ökologische Bewertung** und die Einhaltung der **GEG-Anforderungen**. Ein niedriger PE (durch den Einsatz erneuerbarer Energien mit niedrigem PE -Faktor) ist das Ziel.

Herausforderung Datenqualität:

ENERGIEAUSWEIS für Wohngebäude
gemäß den §§ 16 ff. Energieeinsparverordnung (EnEV)

Berechneter Energiebedarf des Gebäudes 2

Energiebedarf

Endenergiebedarf kWh/(m²·a) CO₂-Emissionen *) kg/(m²·a)

0 50 100 150 200 250 300 350 400 >400

Primärenergiebedarf („Gesamtenergieeffizienz“) kWh/(m²·a)

Nachweis der Einhaltung des § 3 oder § 9 Abs. 1 EnEV

Primärenergiebedarf: Gebäude ist/wird kWh/(m²·a) Gebäude ist/wird kWh/(m²·a) Gebäude ist/wird kWh/(m²·a)

EnEV-Aufbauwert kWh/(m²·a) EnEV-Aufbauwert kWh/(m²·a) EnEV-Aufbauwert kWh/(m²·a)

Endenergiebedarf

Energieerzeuger: Jährlicher Endenergiebedarf in kWh/(m²·a) für Heizung, Warmwasser, Kühlung, Sonstige *) Gesamt in kWh/(m²·a)

Sonstige Angaben

Einseitigkeit alternativer Energieversorgungssysteme: Nach § 10 EnEV von Bauleitungen getrennt

Alternative Energieversorgungssysteme werden getrennt für: Heizung, Warmwasser, Kühlung

Lüftungssystem: Die Lüftung erfolgt durch: Fanzirkulation, Lüftungslage ohne Wärmerückgewinnung, Lüftungslage mit Wärmerückgewinnung

Vergleichswerte Endenergiebedarf

0 50 100 150 200 250 300 350 400 >400

Passivhaus, Minergie, Minergie-P, KfW-Effizienzhaus, KfW-Effizienzhaus 40, KfW-Effizienzhaus 55, KfW-Effizienzhaus 70, KfW-Effizienzhaus 85, KfW-Effizienzhaus 100, KfW-Effizienzhaus 115, KfW-Effizienzhaus 130, KfW-Effizienzhaus 145, KfW-Effizienzhaus 160, KfW-Effizienzhaus 175, KfW-Effizienzhaus 190, KfW-Effizienzhaus 205, KfW-Effizienzhaus 220, KfW-Effizienzhaus 235, KfW-Effizienzhaus 250, KfW-Effizienzhaus 265, KfW-Effizienzhaus 280, KfW-Effizienzhaus 295, KfW-Effizienzhaus 310, KfW-Effizienzhaus 325, KfW-Effizienzhaus 340, KfW-Effizienzhaus 355, KfW-Effizienzhaus 370, KfW-Effizienzhaus 385, KfW-Effizienzhaus 400, KfW-Effizienzhaus 415, KfW-Effizienzhaus 430, KfW-Effizienzhaus 445, KfW-Effizienzhaus 460, KfW-Effizienzhaus 475, KfW-Effizienzhaus 490, KfW-Effizienzhaus 505, KfW-Effizienzhaus 520, KfW-Effizienzhaus 535, KfW-Effizienzhaus 550, KfW-Effizienzhaus 565, KfW-Effizienzhaus 580, KfW-Effizienzhaus 595, KfW-Effizienzhaus 610, KfW-Effizienzhaus 625, KfW-Effizienzhaus 640, KfW-Effizienzhaus 655, KfW-Effizienzhaus 670, KfW-Effizienzhaus 685, KfW-Effizienzhaus 700, KfW-Effizienzhaus 715, KfW-Effizienzhaus 730, KfW-Effizienzhaus 745, KfW-Effizienzhaus 760, KfW-Effizienzhaus 775, KfW-Effizienzhaus 790, KfW-Effizienzhaus 805, KfW-Effizienzhaus 820, KfW-Effizienzhaus 835, KfW-Effizienzhaus 850, KfW-Effizienzhaus 865, KfW-Effizienzhaus 880, KfW-Effizienzhaus 895, KfW-Effizienzhaus 910, KfW-Effizienzhaus 925, KfW-Effizienzhaus 940, KfW-Effizienzhaus 955, KfW-Effizienzhaus 970, KfW-Effizienzhaus 985, KfW-Effizienzhaus 1000

Erläuterungen zum Berechnungsverfahren

Die vorstehende Berechnungsmethode ist durch die Energieeinsparverordnung vorgegeben. Indirekte Energie wird standardisierte Bandbreiten unter Berücksichtigung der angegebenen Werte sowie Rückkopplungen auf den tatsächlichen Energieverbrauch. Die angegebenen Bedarfs- und Verbrauchswerte sind nach der EnEV pro Quadratmeter Gebäudemasse (A_G)

*) Freigelegte Angaben

1) nur in den Fällen des Neubaus und der Modernisierung ausfüllen

2) ggf. einschließlich Kühlung

3) BHK – Brennstoffkessel, Stb – Mehrfamilienhaus

Die Genauigkeit des Energieausweises hängt stark von der Qualität der erfassten Gebäudedaten ab. Eine oberflächliche Erfassung führt oft zu schlechteren Ergebnissen, da der Aussteller aus rechtlicher Vorsicht "schlechte" Standardwerte ansetzen muss, wenn ihm die exakten Kenndaten (z.B. der Dämmstoffdicke oder des U-Wertes der Fenster) fehlen. Für den Verkäufer oder Vermieter ist es daher ratsam, dem Aussteller **alle verfügbaren Bauunterlagen, Rechnungen und Pläne** zur Verfügung zu stellen, um ein realistisches und besseres

Ergebnis zu erzielen.

Der Energieausweis als Sanierungs-Tool:

Der Ausweis enthält nicht nur die Kennwerte, sondern auch **konkrete Modernisierungsempfehlungen**. Diese Vorschläge sind oft die ersten Anhaltspunkte für eine Sanierungsberatung und sind in der Regel in einem stufenweisen Fahrplan angelegt (siehe iSFP, Kap. 1.6). Da der Bedarfsausweis eine detaillierte technische Aufnahme erfordert, ist er meistens die Basis für die Antragstellung von Fördergeldern bei der KfW oder dem BAFA. Er verwandelt ein abstraktes Problem ("Mein Haus ist alt") in eine **konkrete Handlungsanweisung** mit messbaren Einsparzielen und wirtschaftlichen Kennzahlen.

Beispiel: Der Unterschied zwischen Bedarfs- und Verbrauchsausweis beim Verkauf

Ein Altbau aus den 1970er Jahren soll verkauft werden. Die Bewohner waren sehr sparsam und haben nur wenig geheizt.

Der **Verbrauchsausweis** zeigt aufgrund des geringen Nutzerverhaltens einen scheinbar guten Wert von 100 kWh/(m²a) und suggeriert eine hohe Effizienz.

Der potenzielle Käufer lässt einen **Bedarfsausweis** erstellen. Dieser berechnet den *theoretischen* Energiebedarf des Gebäudes (Wände, Dach, Fenster) und weist einen Wert von 200 kWh/(m²a) aus.

Der Bedarfsausweis spiegelt die **tatsächlich schlechte Bausubstanz** wider und macht dem Käufer klar, dass er mit normalem Heizverhalten deutlich höhere Kosten hat. Er dient nun als fundierte Grundlage für Preisverhandlungen und zeigt die notwendigen Sanierungsschritte auf, um den Wert auf das Niveau des Verbrauchsausweises oder besser zu bringen.

1.6 Der individuelle Sanierungsfahrplan (iSFP)

Vertiefung: Fahrplan als Strategie-Tool, iSFP-Bonus und die Kopplung mit Fördermitteln

Der **individuelle Sanierungsfahrplan (iSFP)** hat sich zum zentralen strategischen Werkzeug für die energetische Modernisierung im Bestand entwickelt. Er geht weit über die Modernisierungsempfehlungen des Energieausweises hinaus und bietet eine maßgeschneiderte, langfristig orientierte Roadmap.

Der iSFP als ganzheitliche Strategie:

Der iSFP wird von einem zertifizierten Energieberater im Rahmen einer umfassenden **Energieberatung (gefördert durch das BAFA)** erstellt. Er berücksichtigt nicht nur die rein energetischen Aspekte, sondern auch:

Wirtschaftlichkeit: Darstellung der Investitionskosten, Fördermittel und der Amortisationsdauer der einzelnen Maßnahmen.

Nutzerkomfort: Berücksichtigung des gewünschten Raumklimas und der Alltagstauglichkeit (z.B. die Kombination von Lüftung und Fenstererneuerung).

Gebäudeschutz: Vermeidung von Bauschäden, z.B. durch Schimmelbildung aufgrund falscher Dämmreihenfolge.

Bauliche Machbarkeit: Berücksichtigung von Denkmalschutz, statischen Gegebenheiten oder architektonischen Wünschen.

Der Fahrplan visualisiert den Sanierungsprozess in aufeinander abgestimmten Schritten (meist 3 bis 5), die sich **über einen Zeitraum von bis zu 15 Jahren** erstrecken können. Diese **Schritt-für-Schritt-Sanierung** minimiert die finanzielle und organisatorische Belastung für den Eigentümer, gewährleistet aber, dass jeder einzelne Schritt zur Erreichung des Gesamtziels (oft das **Effizienzhaus-Niveau**) beiträgt und keine **Fehlinvestitionen** getätigt werden.

Der iSFP-Bonus als finanzieller Anreiz:

Die Umsetzung von Einzelmaßnahmen, die im iSFP vorgeschlagen wurden, wird durch einen attraktiven **iSFP-Bonus** belohnt. Dieser Bonus von **5 Prozentpunkten** auf die reguläre Förderquote (BAFA Zuschüsse) oder auf die Tilgungszuschüsse (KfW Kredite) ist ein starker finanzieller Anreiz. Er verdeutlicht, dass der Staat die strategisch geplante Sanierung gegenüber ungeplanten Einzelmaßnahmen bevorzugt.

Verbindung zu den Förderprogrammen:

Der iSFP ist nicht nur ein Planungstool, sondern in vielen Fällen **Voraussetzung** für die Beantragung von Fördermitteln aus der **Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)**. Er dient der BAFA und der KfW als Nachweis, dass die geplanten Maßnahmen sinnvoll sind und zu einer langfristigen Verbesserung führen. Ein iSFP schaltet also nicht nur den Bonus frei, sondern oft erst die Möglichkeit zur Förderung selbst.

Die Kosten für die Erstellung des iSFP werden hoch bezuschusst (bis zu 80 %), was die Hürde für den Einstieg in die Sanierungsplanung deutlich senkt und das Werkzeug zu einer unverzichtbaren Investition in die Wertsteigerung und Zukunftssicherheit des eigenen Hauses macht.

Beispiel: Stufenweise Sanierung eines Einfamilienhauses mit iSFP-Bonus □

Ein Hausbesitzer lässt einen iSFP erstellen mit dem Ziel, das Gebäude in drei Schritten zum **Effizienzhaus 85** zu sanieren:

Schritt 1 (Jahr 1): Dachdämmung und neue Fenster. Die Maßnahme wird mit dem BAFA-Zuschuss und dem **iSFP-Bonus von 5%** gefördert.

Schritt 2 (Jahr 5): Austausch der Ölheizung gegen eine **Wärmepumpe**. Auch hier erhält der Bauherr den vollen BAFA-Zuschuss plus den **iSFP-Bonus**, da die Maßnahme im Plan vorgesehen war.

Schritt 3 (Jahr 8): Fassadendämmung.

Durch die Einhaltung der im iSFP definierten Reihenfolge und Standards profitiert der Hausbesitzer nicht nur von der **strategischen Sicherheit** (keine Bauschäden, optimale Abstimmung der Gewerke), sondern erhält auch über die Jahre hinweg für jede einzelne Maßnahme den **maximalen Förderbetrag** inklusive Bonus.

1.7 Finanzierung nachhaltiger Bauvorhaben

Vertiefung: BEG-Förderlandschaft, Kumulierung und "Green Loans" der Banken

Die Finanzierung von nachhaltigen Bau- und Sanierungsvorhaben wird primär durch die **Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)** gestützt. Diese Bündelung von Förderungen bei der **KfW-Bank** (Kredite) und dem **BAFA** (Zuschüsse) macht die Fördermittellandschaft effizienter, aber auch komplex.

Die Struktur der BEG-Förderung:

BEG-Wohngebäude (KfW 261, 262): Fokus auf die Komplettsanierung zum **Effizienzhaus** (EH) oder den Neubau von **Effizienzhäusern (Klimafreundlicher Neubau)**. Die Förderung erfolgt über zinsgünstige

Kredite mit attraktiven **Tilgungszuschüssen**. Der Tilgungszuschuss (der nicht zurückgezahlt werden muss) ist der eigentliche Zuschussanteil.

BEG-Einzelmaßnahmen (BAFA): Fokus auf spezifische Maßnahmen wie den **Heizungsaustausch** (besonders gefördert), die **Gebäudehülle** (Dämmung, Fenster) oder die **Anlagentechnik** (Lüftung). Hier gibt es direkte **Zuschüsse**, die nicht zurückgezahlt werden müssen.

Kumulierung und Strategie:

Ein entscheidender Vorteil ist die **Möglichkeit der Kumulierung** (Kombination) verschiedener Fördermittel. Wichtig ist:

Keine Doppelförderung: Für die **gleiche** Maßnahme dürfen nicht zwei öffentliche Fördermittel in Anspruch genommen werden (z.B. BAFA-Zuschuss und KfW-Kredit für die Dämmung).

Kombination ist möglich: Es ist zulässig, einen KfW-Kredit für die Sanierung der Hülle zu nutzen und gleichzeitig einen BAFA-Zuschuss für den Heizungsaustausch.

Eine gut durchdachte Finanzierungsstrategie beginnt mit der **Antragstellung vor Beginn der Maßnahme**. Dies ist eine zwingende Voraussetzung für fast alle staatlichen Förderungen. Die Einbindung eines **Energieeffizienz-Experten (EEE)** ist dabei essenziell, da nur dieser die technischen Nachweise erstellen und die Antragstellung bei der KfW bzw. dem BAFA begleiten darf.

Zunehmender Einfluss privater Banken ("Green Loans"):

Über die staatlichen Förderungen hinaus reagieren auch private Banken auf den Trend zur Nachhaltigkeit. Sie bieten zunehmend **"Green Loans"** oder **"Nachhaltigkeitskredite"** an, die an ökologische Kriterien gekoppelt sind. Wenn ein Bauherr beispielsweise nachweist, dass das Bauvorhaben ein QNG-Zertifikat oder ein besonders niedriges CO₂-Emissionsniveau erreicht, erhält er dafür einen Zinsvorteil. Dies unterstreicht, dass die ökologische Qualität eines Gebäudes zu einem **harten Wirtschaftsfaktor** geworden ist, der die Kapitalkosten direkt beeinflusst.

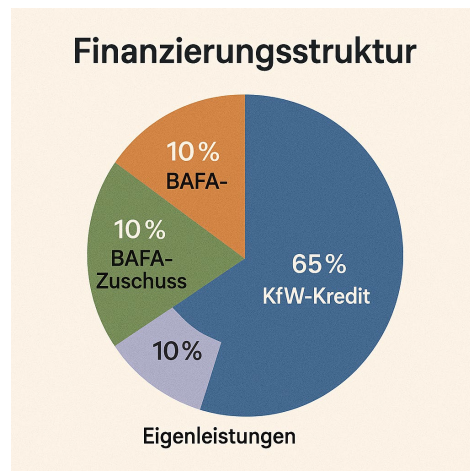
Beispiel: Kumulierung von KfW und BAFA bei einer Komplettsanierung



Ein Immobilieneigentümer möchte sein Mietshaus umfassend zu einem **Effizienzhaus 70** sanieren:

Heizung: Er beantragt einen **BAFA-Zuschuss** für den Einbau einer Biomasseheizung.

Hülle/Restfinanzierung: Er beantragt das **KfW-Programm 261** (Kredit für Wohngebäude-Sanierung) für die Dämmung von Fassade und Dach sowie den Fenstertausch.



Er nutzt die **Kumulierbarkeit** der Programme, um die Sanierung zu finanzieren. Für die Heizung erhält er einen direkten Zuschuss (BAFA), der die Investitionskosten sofort reduziert. Für die übrigen Maßnahmen nimmt er einen zinsgünstigen Kredit auf, bei dem die KfW zudem einen **hohen Tilgungszuschuss**

gewährt, sobald das Effizienzhaus-Niveau erreicht ist. Die Beauftragung eines EEE für die Antragsstellung ist dabei zwingend erforderlich und ebenfalls förderfähig.

1.8 Wohngesundheit, Raumklima und Komfort

Vertiefung: Schadstoffbilanz, Lüftungskonzepte und die Rolle von Naturbaustoffen

Ein nachhaltiges Gebäude definiert sich nicht nur über seinen Energieverbrauch, sondern ebenso stark über die Qualität des Lebensraumes. **Wohngesundheit** ist ein umfassendes Konzept, das die physikalischen, chemischen und biologischen Einflüsse des Gebäudes auf seine Bewohner betrachtet.

Die Bedeutung der Schadstoffbilanz (Low Emission):

In modernen, luftdichten Gebäuden können Emissionen aus Baustoffen zu einem Gesundheitsproblem werden. Flüchtige organische Verbindungen (**VOCs**) aus Farben, Klebstoffen, Teppichen oder Möbeln können Kopfschmerzen, Allergien oder Atemwegserkrankungen verursachen. Daher ist die Auswahl von **emissionsarmen und schadstofffreien Baustoffen** zentral. Gütesiegel wie das **Blauer Engel**, das **Sentinel Haus Institut**-Konzept oder die Anforderungen des **QNG-Siegels** (Kap. 1.4) geben Orientierung. Sie fordern eine transparente Dokumentation der Inhaltsstoffe.

Kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung (KWL):

Da eine gut gedämmte Gebäudehülle nur noch wenig unkontrollierten Luftaustausch zulässt, ist eine **kontrollierte Wohnraumlüftung (KWL)** unverzichtbar.

Funktion: Sie sorgt automatisch für den notwendigen Luftwechsel, führt Feuchtigkeit und Schadstoffe ab und beugt Schimmelbildung vor.

Wärmerückgewinnung: Der Clou ist die Integration eines **Wärmetauschers**, der bis zu 95 % der Wärmeenergie aus der Abluft zurückgewinnt und auf die frische Zuluft überträgt. Dies ist die effizienteste Methode, um ein gesundes Raumklima ohne nennenswerte Heizenergieverluste zu gewährleisten.

Filterung: KWL-Anlagen können mit hochwertigen Filtern ausgestattet werden, die Pollen, Feinstaub und andere Partikel abfangen. Das verbessert die Luftqualität signifikant und ist ein großer Vorteil für Allergiker.

Hygrothermische Pufferung durch Naturbaustoffe:

Naturbaustoffe wie **Lehm- und Kalkputze** oder **Massivholz** tragen durch ihre Fähigkeit zur **hygrothermischen Pufferung** aktiv zur Wohngesundheit bei. Sie können überschüssige Luftfeuchtigkeit schnell aufnehmen und bei Bedarf wieder abgeben, wodurch die relative Luftfeuchtigkeit in einem optimalen Bereich (40–60 %) gehalten wird. Dies wirkt sich positiv auf die Schleimhäute aus und hemmt die Schimmelbildung.

Zusammenfassend ist ein hoher Komfortstandard in einem nachhaltigen Gebäude keine Folge, sondern eine **Voraussetzung** für hohe Qualität und Akzeptanz. Die Kombination aus geringem Energieverbrauch, natürlicher Materialität und kontrollierter Frischluftzufuhr schafft einen gesunden, behaglichen und zukunftssicheren Lebensraum.

Beispiel: Optimiertes Raumklima in einem Holzständerhaus ➡

Ein junges Paar baut ein Holzständerhaus. Sie legen Wert auf schadstofffreies Wohnen und Komfort.

Materialwahl: Sie verwenden **Lehmputz** im Wohnbereich und im Schlafzimmer, um die Luftfeuchtigkeit natürlich zu regulieren. Der Lehmputz fungiert als **Feuchtigkeitspuffer** und reduziert die Notwendigkeit manueller Lüftung.

Lüftung: Sie installieren eine **kontrollierte Wohnraumlüftung mit hohem Wärmerückgewinnungsgrad**.

Dank des Systems bleibt die Raumluft frei von Allergenen (Feinstaubfilter) und Schadstoffen (durch die Wahl emissionsarmer Farben und Böden), während die **relative Luftfeuchtigkeit konstant bei 50%** gehalten wird. Die Kombination aus Naturmaterial und Technik sorgt für ein **behagliches, allergikerfreundliches Raumklima** und minimiert den Heizenergiebedarf, da die Wärme zurückgewonnen wird.

1.9 Zukunftsfähigkeit und Resilienz gegenüber Klimafolgen

Vertiefung: Multi-Hazard-Ansatz, Klimaanpassungsstrategien und Energieautarkie

Angesichts des fortschreitenden Klimawandels muss Bauen heute einen **Multi-Hazard-Ansatz** verfolgen, der die Resilienz des Gebäudes gegenüber verschiedenen extremen Wetterereignissen sicherstellt. Das Ziel ist es, die **Funktionsfähigkeit des Gebäudes** auch unter widrigen Umständen zu gewährleisten.

Strategien zur Klimaanpassung (Adaptation):

Schutz vor Überhitzung (Hitzewellen):

Außenliegender, beweglicher Sonnenschutz: Die effektivste Maßnahme gegen solare Hitzeeinträge, die dynamisch auf den Sonnenstand reagiert.

Dach- und Fassadenbegrünung: Sie nutzt die natürliche Verdunstungskühlung (Evapotranspiration) und senkt die Oberflächentemperatur, was das Mikroklima um das Gebäude verbessert.

Hohe Speichermassen (Trombe-Wände, Massivbauteile): Sie verzögern die Durchdringung der Wärme in das Innere, sodass die Hitze tagsüber absorbiert und nachts, wenn es kühler ist, wieder abgeführt werden kann.

Schutz vor Starkregen und Hochwasser:

Gründächer: Sie speichern einen Großteil des Niederschlags und entlasten die Kanalisation.

Entsiegelung und Versickerung: Planung von Rigolen, Mulden oder Zisternen zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung auf dem Grundstück.

Rückstausicherungen: Technischer Schutz vor dem Rückdrücken von Wasser aus der Kanalisation in den Keller.

Schutz vor Wind und Sturm: Verwendung von robusten und langlebigen Materialien sowie konstruktive Details, die hohe Windlasten abtragen können.

Erhöhung der Energie-Resilienz:

Die Unabhängigkeit von externen Energie- und Versorgungsnetzen erhöht die Resilienz signifikant. Die Kombination aus **Photovoltaik (PV)** und **stationärem Batteriespeicher** schafft eine hohe **Energieautarkie**. Im Falle eines längerfristigen Stromausfalls kann ein solches System (oft mit einer Notstrom- oder sogenannten **Schwarzstart-Funktion**) das Gebäude weiter mit Strom versorgen. Die Kombination mit einer **Wärmepumpe** und einem **Warmwasserspeicher** macht das Haus unabhängig von fossilen Brennstoffen und ihren Preisschwankungen.

Die Integration von Zukunftsfähigkeit und Resilienz in die Planung ist somit die logische Fortsetzung des nachhaltigen Bauens. Ein klimafreundliches Gebäude ist ein Haus, das nicht nur wenig Energie verbraucht, sondern auch den sich ändernden klimatischen und versorgungstechnischen Herausforderungen standhält und damit langfristig **Wert, Sicherheit und Komfort** für seine Bewohner gewährleistet.

Beispiel: Resilientes Wohnhaus mit Schutz vor Hitze und Starkregen



Ein Bauherr in einer Region mit hohem Starkregenschaden-Risiko plant ein Wohnhaus mit folgenden Resilienz-Merkmalen:

Starkregenschutz: Das Grundstück wird nicht vollständig versiegelt, sondern mit **Sickermulden und Rigolen** versehen, die das Regenwasser auf dem Grundstück zurückhalten und langsam versickern lassen. Zusätzlich wird ein **Gründach** installiert, das bis zu 80% des Niederschlags speichert und verdunstet.

Hitzeschutz: Alle Fenster sind mit **außenliegenden Raffstores** ausgestattet, die die Solareinstrahlung dynamisch abwehren. Die **Wärmepumpe** kann im Sommer zur **sanften Kühlung** der Fußbodenheizung genutzt werden (Passive Cooling), was das Raumklima ohne hohen Energieaufwand angenehm hält.

Energie-Resilienz: Eine **PV-Anlage mit Batteriespeicher** ist so ausgelegt, dass sie bei einem Netzausfall (Blackout) die wichtigsten Verbraucher (Licht, Kühlschrank, Wärmepumpe im Notbetrieb) für mehrere Tage autark versorgen kann.

Das Gebäude ist somit **multifunktional resilient** gegen die Hauptfolgen des Klimawandels und behält seine Funktionalität und seinen Komfort auch unter extremen Bedingungen bei.

2.1 Effiziente Baukonstruktionen – Massivbau, Holzbau und Hybridbau

Vertiefung: Materialeffizienz, Thermische Masse und Modulares Bauen

Die Wahl der Baukonstruktion ist eine fundamentale Entscheidung, die den ökologischen Fußabdruck und die Performance eines Gebäudes über seinen gesamten Lebenszyklus prägt. Die drei Haupttypen – Massivbau, Holzbau und Hybridbau – bieten unterschiedliche Stärken in Bezug auf **thermische Masse**, **Graue Energie** und **Baugeschwindigkeit**.

Massivbau – Die Rolle der thermischen Masse:

Der Massivbau (Beton, Mauerwerk) zeichnet sich durch seine hohe thermische Masse aus. Diese Masse wirkt als natürlicher Puffer: Im Winter speichert sie die Wärme und gibt sie zeitverzögert ab, was die Heizlast reduziert. Im Sommer absorbiert sie die Tageshitze und minimiert so das Risiko der Überhitzung. Dies führt zu einer niedrigen Temperaturamplitude im Inneren, was den Wohnkomfort erhöht. Allerdings steht der Massivbau vor der Herausforderung, die Graue Energie (Kap. 1.2) zu minimieren. Moderne Ansätze verwenden daher Recyclingbeton oder Bindemittelreduzierten Zement (z.B. durch Zumischung von Hüttensand), um die CO₂-Emissionen in der Herstellung zu senken.



Holzbau – CO₂-Speicher und industrielle Vorfertigung:

Der Holzbau, insbesondere der Holzrahmenbau oder der Massivholzbau (CLT), ist der Champion in puncto Ökobilanz, da Holz während seines Wachstums CO₂ bindet. Neben der hervorragenden Umweltbilanz ermöglicht der Holzbau eine hohe Vorfertigungsquote. Ganze Wandelemente, Decken und Dachelemente werden industriell mit

Fenstern und Dämmung vorgefertigt und auf der Baustelle in wenigen Tagen montiert (Modulares Bauen). Dies führt zu einer drastischen Reduktion der Bauzeit, weniger Lärmbelästigung und einer höheren Qualitätssicherheit (durch Fertigung unter optimalen Bedingungen im Werk). Die Herausforderung liegt im Schutz vor Feuchtigkeit (konstruktiver Holzschutz) und in der Gewährleistung des Schallschutzes (Kap. 2.6), der durch mehrschichtige, entkoppelte Aufbauten gelöst werden muss.

Hybridbau – Synergien der Systeme:

Der Hybridbau nutzt die jeweiligen Vorteile: Oft wird der Kern eines Gebäudes (Treppenhäuser, Keller, Decken) in Massivbauweise ausgeführt, um Brandschutz und thermische Masse zu gewährleisten. Die Fassaden und die Gebäudehülle werden dann in ökologischem Holzrahmenbau ausgeführt. Solche Konzepte maximieren sowohl die Speicherfähigkeit des Gebäudes als auch die Reduktion der Grauen Energie durch den hohen Holzanteil. Die konstruktive Herausforderung liegt in der exakten Detailplanung der Schnittstellen zwischen den unterschiedlichen Materialien, um Wärmebrücken und Feuchteprobleme zu vermeiden.

Fokus Materialeffizienz: Unabhängig von der Bauweise ist die **Materialeffizienz** entscheidend: Es geht darum, mit so wenig Material wie möglich die maximale Performance zu erreichen (**Leichtbauweise** mit hoher

Dämmwirkung) und die **Umnutzbarkeit** (Kap. 1.3) der tragenden Struktur zu ermöglichen.

Beispiel: Neubau eines siebengeschossigen Bürogebäudes als Holz-Hybridbau

Ein Investor plant ein neues Bürogebäude in der Stadt. Statt eines reinen Stahlbetonskeletts wählt er einen **Holz-Hybridbau**.

Kern: Treppenhäuser und Aufzugsschächte werden in **Beton** ausgeführt (für Stabilität und **Brandschutz**).

Decken: Die Decken bestehen aus **Beton-Holz-Verbundelementen** oder **CLT-Platten** mit einer Betonschicht (**thermische Masse und Schalldämmung**).

Fassade: Die Fassade wird als hochgedämmte **Holzrahmenkonstruktion** vorgefertigt.

Diese Bauweise erreicht eine **deutlich bessere CO₂-Bilanz** (weniger Graue Energie) als ein reiner Massivbau, nutzt die **Speicherkraft** der Betondecken gegen sommerliche Überhitzung und ermöglicht eine **schnelle Montage** dank der Vorfertigung der Fassadenelemente. Die Kombination der Materialien optimiert das Gebäude in ökologischer, bauphysikalischer und wirtschaftlicher Hinsicht.

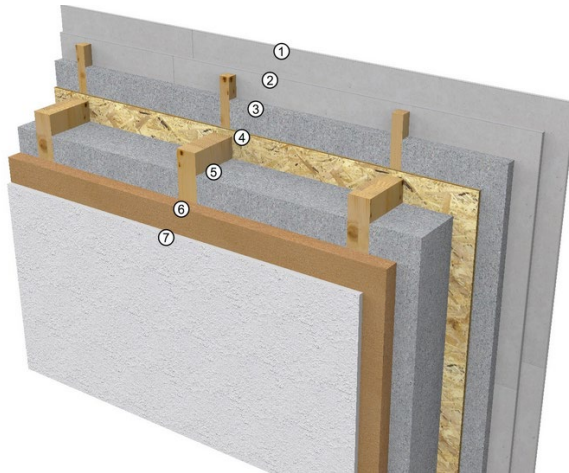
2.2 Dämmstoffe im Vergleich – Material und Wirkung

Vertiefung: Phasenverschiebung, Ökobilanz und Diffusionsoffenheit

Dämmstoffe sind der Schlüssel zur Minimierung der **Transmissionswärmeverluste** und zur Optimierung des Raumklimas. Die Auswahl sollte nicht nur auf dem **U-Wert** (Wärmedurchgangskoeffizient) basieren, sondern auch auf ökologischen und bauphysikalischen Kriterien wie der **Phasenverschiebung** und der **Diffusionsoffenheit**.

Ökobilanz und Phasenverschiebung:

Konventionelle Dämmstoffe (EPS, PUR, Mineralwolle) bieten in der Regel sehr niedrige U-Werte, sind aber in der Herstellung energieintensiv und



basieren auf endlichen Rohstoffen. Natürliche Dämmstoffe (Holzfaser, Zellulose, Hanf) punkten hingegen mit einer deutlich besseren Ökobilanz (geringere Graue Energie) und ihrem positiven Effekt auf den sommerlichen Hitzeschutz. Hier kommt die Phasenverschiebung ins Spiel: Sie beschreibt die Zeit, die eine

Hitzewelle von der Außenseite der Dämmschicht bis zur Innenseite benötigt. Naturdämmstoffe besitzen eine höhere spezifische Wärmespeicherefähigkeit (c -Wert), wodurch sie die Mittagshitze deutlich länger (bis zu 10–12 Stunden) verzögern können, sodass die Wärme das Innere erst erreicht, wenn es draußen bereits abgekühlt ist. Dies reduziert den Bedarf an aktiver Kühlung.

Die Rolle der Diffusionsoffenheit:

Ein weiterer bauphysikalischer Vorteil vieler Naturdämmstoffe ist ihre Diffusionsoffenheit. Das bedeutet, sie erlauben den kontrollierten Durchgang von Wasserdampf durch die Wandkonstruktion. Ein diffusionsoffener Wandaufbau (z.B. Holzständerwand mit Holzfaserdämmung und Kalkputz) kann Feuchtigkeit aufnehmen und nach außen abgeben (oder nach innen puffern), was das Risiko von Tauwasserbildung (Kondensation) und Schimmelbildung im Wandinneren stark reduziert. Im Gegensatz dazu erfordern diffusionsoffene Konstruktionen, wie sie bei konventionellen Baustoffen üblich sind, eine exakt geplante und fehlerfrei ausgeführte Dampfbremse oder Dampfsperre auf der Innenseite, um das Eindringen von Feuchtigkeit aus der Raumluft in die Konstruktion zu verhindern. Jeder Baufehler in der Dampfsperre kann hier zu massiven Schäden führen.

Technologischer Fortschritt:

Auch bei den konventionellen Dämmstoffen gibt es Fortschritte, etwa Vakuum-Isulationspaneele (VIPs), die extrem hohe Dämmwerte bei minimaler Dicke erreichen und für Anwendungen mit engem Platzbedarf (z.B. Balkone oder Laibungen) eingesetzt werden. Die breitere Akzeptanz und der Preisvorteil machen Naturdämmstoffe jedoch zu einem immer stärkeren Wettbewerber im nachhaltigen Bauen.

Beispiel: Sanierung einer Außenwand mit optimalem Hitzeschutz 🌡️

Ein Eigentümer saniert die Außenfassade seines Gebäudes in einer Region mit heißen Sommern.

Option 1 (Konventionell): Dämmung mit 18 cm EPS (Polystyrol). Guter U-Wert, aber geringe **Phasenverschiebung** (ca. 6 Stunden).

Option 2 (Natürlich): Dämmung mit 20 cm **Holzfaserdämmplatten**. Durch die höhere Dichte und den besseren α -Wert wird eine **Phasenverschiebung von über 10 Stunden** erreicht.

Obwohl die U-Werte beider Lösungen ähnlich sein können, sorgt die **Holzfaser-Dämmung** dafür, dass die in der Mittagszeit gespeicherte Wärme erst tief in der Nacht (wenn die Außentemperaturen fallen) das Wandinnere erreicht. Der **passive sommerliche Hitzeschutz** ist damit deutlich besser, die Innenräume bleiben kühler, und der Bedarf an Klimaanlage entfällt.

2.3 Speziallösungen – Wärmedämmputze, Strohballen und Innendämmung

Vertiefung: Kapillaraktivität, Systemintegration und Denkmalschutzkonforme Sanierung

Speziallösungen sind oft notwendig, wenn die Standard-Außendämmung (WDVS) aufgrund von Ästhetik, Denkmalschutz oder baulicher Gegebenheiten ausscheidet. Diese Lösungen erfordern ein tiefes Verständnis der **Bauphysik**, insbesondere des **Feuchtetransports**.

Innendämmung und Kapillaraktivität:

Bei denkmalgeschützten oder hochwassergefährdeten Gebäuden ist die Innendämmung oft die einzige Option. Sie ist bauphysikalisch anspruchsvoll, da die Dämmschicht die Wand zur kalten Außenseite hin verschiebt, wodurch die Gefahr der Tauwasserbildung auf der inneren Wandoberfläche entsteht. Die Lösung liegt in kapillaraktiven Dämmstoffen wie Kalziumsilikatplatten, Mineralfaserplatten oder Innendämmungen auf Lehm- und Holzfaserbasis. Kapillaraktivität bedeutet, dass diese Materialien Feuchtigkeit im flüssigen Zustand (Kondenswasser) aufnehmen, an die Oberfläche transportieren und von dort in den Raum abgeben können. Sie funktionieren ohne Dampfbremse, regulieren die Feuchte natürlich und wirken gleichzeitig schimmelhemmend (alkalischer pH-Wert). Die Systemintegration – die Verwendung von aufeinander abgestimmten Putzen, Klebern und Dämmplatten – ist hier für die Funktion entscheidend.



Wärmedämmputze und ihre Grenzen:

Wärmedämmputze sind eine ästhetische Lösung, da sie die ursprüngliche Fassadenstruktur erhalten können. Sie enthalten leichte Zuschläge (z.B. Blähton, Perlite) und reduzieren die Wärmeleitung. Allerdings erreichen sie nur einen Bruchteil der Dämmleistung konventioneller Dämmplatten. Sie sind meist nur für geringfügige Verbesserungen oder zur Eliminierung kleinerer Wärmebrücken geeignet, wo dickere Dämmungen nicht möglich sind, aber nicht für die Sanierung zu einem Effizienzhaus-Standard.

Strohballenbau – Regional und Ressourcenschonend:

Der Strohballenbau ist ein Paradebeispiel für regionale, nachwachsende und ultra-ressourcenschonende Bauweise. Stroh als Abfallprodukt der Landwirtschaft hat eine extrem gute Ökobilanz und bietet hervorragende Dämmeigenschaften (U-Werte bis zu $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$). Die Baustoffe sind hoch diffusionsoffen und werden meist mit dicken Lehm- oder Kalkputzen verputzt, die den Brandschutz (Kap. 2.7) und den Feuchteschutz gewährleisten. Moderne Ansätze verwenden industriell vorgefertigte Holzrahmen-Elemente, die mit Stroh befüllt und auf der Baustelle montiert werden.

Beispiel: Innendämmung eines denkmalgeschützten Sandsteinhauses



Ein Eigentümer möchte ein historisches Sandsteinhaus mit erhaltenswerter Fassade energetisch sanieren. Eine Außendämmung ist nicht zulässig.

Lösung: An der Innenseite der Außenwände werden **kapillaraktive Kalziumsilikatplatten** (oder Mineraldämmplatten) montiert.

Vorteil: Die Platten bilden eine feuchtigkeitsregulierende Schicht. Falls Wasserdampf aus der Raumluft auf die nun kältere Wandoberfläche trifft und kondensiert, **saugen die Platten die Feuchte auf** und leiten sie kontrolliert zurück in den Raum, wenn dort die Luftfeuchtigkeit sinkt.

Ergebnis: Die Gefahr der Schimmelbildung wird minimiert, die Wand wird leicht erwärmt, und die Ästhetik der historischen Fassade bleibt vollständig erhalten.

2.4 Bauteile im Fokus – Fenster, Türen, Dach und Boden

Vertiefung: G-Wert, Warme Kante und Perimeterdämmung

Jedes Bauteil spielt eine spezifische Rolle im Energiehaushalt und im Komfort. Eine ganzheitliche Planung betrachtet alle Komponenten, um eine nahtlose und effiziente Gebäudehülle zu schaffen.

Fenster – U-Wert versus G-Wert:

Moderne Fenster werden mit Dreifachverglasung und hochgedämmten Rahmen (Holz, Kunststoff oder thermisch getrennte Aluminiumprofile) ausgeführt. Entscheidend ist nicht nur der U-Wert (Wärmeverlust), sondern auch der G-Wert

U-Wert-Berechnung von Fenstern

Fenster-Typ:

Außenmaß Rahmen

Breite x Höhe: m x m

Verglasung

Typ:

Verglasung U-Wert: W/m²K

g-Wert:

Randverbund ψ -Wert: W/mK

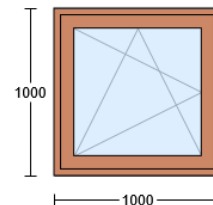
Rahmen

Rahmen Breite: mm U-Wert: W/m²K

Rahmenverbreiterung oben Breite: mm U-Wert: W/m²K

Rahmenverbreiterung unten Breite: mm U-Wert: W/m²K

Skizze



Flächen

Fenster: 1,00 m²
 Rahmen: 0,419 m²
 Verglasung: 0,581 m²
 Länge Randverbund: 3,05 m
 Rahmenanteil: 41,9 %

U-Wert: **$U_w = 1,46 \text{ W/(m}^2\text{K)}$**

(Gesamtenergiedurchlassgrad). Ein hoher G-Wert (z.B. 50–60%) erlaubt eine hohe passive Solarenergiegewinnung im Winter, insbesondere bei Südausrichtung (Kap. 2.8). Diese Gewinne können die Verluste durch den U-Wert überkompensieren. Ein weiteres wichtiges Detail ist die Warme Kante: Abstandhalter aus Edelstahl oder Kunststoff zwischen den Glasscheiben reduzieren die Wärmebrückenwirkung am Rand der Scheibe, was den U-Wert des Gesamtelementes verbessert.

Dach und Luftdichtheit:

Das Dach ist oft die größte Quelle für Wärmeverluste, da warme Luft nach oben steigt. Neben der Dämmdicke (z.B. zwischen und unter den Sparren) ist die Luftdichtheit (Kap. 2.5) der Dachebene entscheidend. Alle

Durchdringungen (Lüftungsrohre, Kabel, Kamine) müssen dauerhaft und flexibel mit der luftdichten Ebene (z.B. einer Folie) verklebt oder abgedichtet werden. Ein kleiner Fehler hier kann die Effizienz des gesamten Gebäudes halbieren. Beim Flachdach ist die Umkehrdach-Konstruktion (Dämmung liegt über der Dichtung) eine robuste Lösung, die die Dichtungsebene vor Temperaturschwankungen und UV-Strahlung schützt.

Boden und Perimeterdämmung:

Die Dämmung unter der Bodenplatte oder der Kellerdecke ist essenziell für einen gleichmäßigen Komfort und verhindert das "kalte Fußboden"-Gefühl. Bei nicht unterkellerten Gebäuden kommt die Perimeterdämmung zum Einsatz: Dämmstoffe (z.B. XPS-Platten), die direkt mit dem Erdreich in Kontakt stehen und wasserbeständig sowie druckfest sind. Sie umschließen die Bodenplatte von außen und verhindern den Wärmeverlust an das umgebende Erdreich. Bei der Kellerdeckendämmung werden oft leichte Dämmplatten an der Unterseite der Decke montiert.

Beispiel: Detaillierte Planung der Fenster-Laibung

Bei der Sanierung eines Einfamilienhauses werden alte **Zweifachfenster** durch **Dreifachverglasung mit Warm Edge** ersetzt.

Problem: Die Einbaufuge zwischen neuem Fensterrahmen und altem Mauerwerk ist eine klassische **Wärmebrücke** (Kap. 2.5).

Lösung: Der Planer sieht vor, die **Fenster in der Dämmebene** zu montieren (vorgelagerte Montage) oder die Laibung von außen mit einer dünnen Dämmkehle zu umschließen.

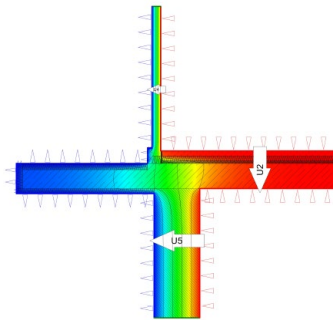
Ergebnis: Durch die sorgfältige **detaillierte Planung der Anschlussfuge** und die Reduktion der Wärmebrücke kann die Oberflächentemperatur an der Laibung innen erhöht werden, was **Schimmelbildung verhindert** und den gesamten U-Wert des Fensters optimal ausnutzt.

2.5 Wärmebrücken und Luftdichtheit

Vertiefung: Psi-Wert, Blower-Door-Test und Thermografie

Wärmebrücken und Leckagen in der Luftdichtheit sind die **Killer der Energieeffizienz** und die häufigsten Ursachen für Bauschäden in modernen, gut gedämmten Häusern.

Wärmebrücken und der Psi -Wert (Psi-Wert):



Wärmebrücken sind lokale Schwachstellen in der Gebäudehülle, an denen der Wärmestrom beschleunigt wird. Sie werden durch den linienbezogenen

Wärmedurchgangskoeffizienten, den Psi -Wert, quantifiziert. Beispiele sind die Fußpunkte von Balkonen, die Anbindung der Fensterrahmen oder Mauerecken. Selbst wenn alle Flächen

(Wände, Dach) einen guten U-Wert aufweisen, kann ein schlecht geplanter Psi -Wert (z.B. durch nicht thermisch getrennte Bauteile) den Gesamtenergiebedarf des Hauses deutlich erhöhen. Ziel ist der Wärmebrückenfreie Anschluss, was bedeutet, dass die Dämmschicht ohne Unterbrechung durch die Bauteile geführt wird.

Luftdichtheit und die Blower-Door-Messung:

Die Luftdichtheit ist die Eigenschaft der Gebäudehülle, den unkontrollierten Luftaustausch zu verhindern. Sie wird durch den n50-Wert (Luftwechselrate bei 50 Pascal Druckdifferenz) gemessen. Der Blower-Door-Test erzeugt diese Druckdifferenz und misst, wie viel Luft nachströmen muss, um den Druck zu halten.

Anforderung (GEG): Gebäude ohne mechanische Lüftung 3,0 /h; Gebäude mit Lüftungsanlage 1,5 /h.

Passivhaus-Standard: 0,6 /h (sehr hohe Anforderung).

Ein niedriger n50-Wert reduziert nicht nur unnötige Wärmeverluste (konvektive Verluste), sondern verhindert auch, dass feuchte, warme

Innenluft durch Leckagen in die Dämmschicht gelangt und dort kondensiert (**Bauschäden durch Tauwasser**).

Identifizierung von Schwachstellen:

Zur Auffindung von Leckagen und Wärmebrücken dienen die Thermografie-Kamera und die Kombination mit dem Blower-Door-Test. Bei Druckdifferenz im Haus strömt an den Leckagen Luft ein, was mit der Thermografiekamera als kalte (oder warme) Stelle sichtbar gemacht wird.

Beispiel: Aufdeckung und Behebung einer Leckage nach Blower-Door-Test 🧐

Bei einem Neubau mit Lüftungsanlage zeigt der Blower-Door-Test einen n50-Wert von 2,2 /h, was über dem gesetzlichen Maximum von 1,5 /h liegt.

Analyse: Der Energieberater kombiniert den Drucktest mit einer **Thermografie-Kamera** und einer **Rauchsonde**.

Befund: Es wird festgestellt, dass die Anschlussfuge des Dachfensters nicht sauber mit der dampfdichten Ebene verklebt wurde und dass die Kabeldurchführung der PV-Anlage am Dach nicht richtig abgedichtet ist.

Maßnahme: Die Leckagen werden mit speziellem Dichtband und Dichtmasse nachgebessert.

Kontrolle: Ein erneuter Test zeigt $n_{50} = 1,3$ /h.

Die Messung hat Bauschäden und unnötige, jahrzehntelange Energieverluste verhindert.

2.6 Bauphysik, Schallschutz und Behaglichkeit

Vertiefung: Entkopplung, Masse-Feder-Masse-Prinzip und A/V-Verhältnis

Die **Behaglichkeit** in einem nachhaltigen Gebäude ist das Ergebnis eines optimalen Zusammenspiels von thermischer, akustischer und hygrischer Bauphysik.

Schallschutz – Das Masse-Feder-Masse-Prinzip:

Guter Schallschutz ist bei dicht gedämmten Häusern ein Komfortfaktor. Im Massivbau wird Schall primär durch die Masse der Wände und Decken absorbiert. Im Leichtbau (Holzbau) muss der Schallschutz anders gelöst



werden, insbesondere der Trittschallschutz bei Holzbalkendecken und der Luftschallschutz bei leichten Trennwänden. Hier kommt das Masse-Feder-Masse-Prinzip zum Einsatz: Zwei massive Platten (Masse, z.B. Gipskarton oder OSB) werden durch eine weiche Dämmung (Feder, z.B. Mineral- oder Holzfaser) voneinander entkoppelt. Dieses Prinzip reduziert die Schallübertragung durch eine Dämpfung der

Schwingungen. Wichtig ist die Entkopplung der Bauteile, um sogenannte Flankenübertragungen zu vermeiden, bei denen der Schall Umwege über nicht entkoppelte Wände nimmt.

Hygrische Behaglichkeit:

Die hygrische Behaglichkeit beschreibt das optimale Verhältnis von Luftfeuchtigkeit und Raumtemperatur. Wie bereits erwähnt (Kap. 1.8), helfen Naturbaustoffe (Lehm, Kalkputz, Holz) durch ihre Feuchtespeicherfähigkeit, die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 40 % und 60 % zu halten. Dies ist nicht nur gesünder, sondern reduziert auch das Gefühl von "trockener Heizungsluft" im Winter.

Optimierung der Geometrie:

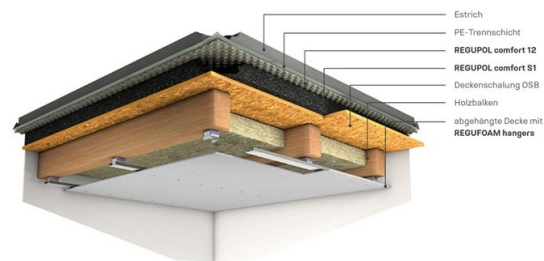
Die kompakte Bauweise (geringes A/V-Verhältnis – Oberfläche zu Volumen) reduziert nicht nur Wärmeverluste, sondern sorgt auch für eine ausgeglichene Temperaturverteilung im Gebäude, was die Behaglichkeit

steigert. Lange, verwinkelte Gebäude haben mehr Außenfläche und sind anfälliger für Temperaturschwankungen und unkontrollierte Zugerscheinungen.

Beispiel: Optimierter Trittschallschutz in einer Holzständer-Wohnung



In einem Mehrfamilienhaus in Holzbauweise soll der Trittschall von der oberen zur unteren Wohnung minimiert werden.



Konventionell (schlecht): Eine einfache Holzbalkendecke mit direkt aufliegender Boden überträgt Schall sehr effektiv.

Lösung (Masse-Feder-Masse): Die Decke wird als **entkoppelter Aufbau** realisiert:

Tragende Holzstruktur.

Schwere Schüttung (Masse) oder **Massive Holzplatte** auf der Tragstruktur.

Elastische Dämmschicht (Feder, z.B. Holzfaser).

Schwimmender Estrich (Masse) mit Bodenbelag, der keinen direkten Kontakt zu den Wänden hat.

Durch diese **Entkopplung** wird der Trittschall wirksam gedämpft, was für die Wohnqualität und Akzeptanz des Holzbaus in Mehrfamilienhäusern entscheidend ist.

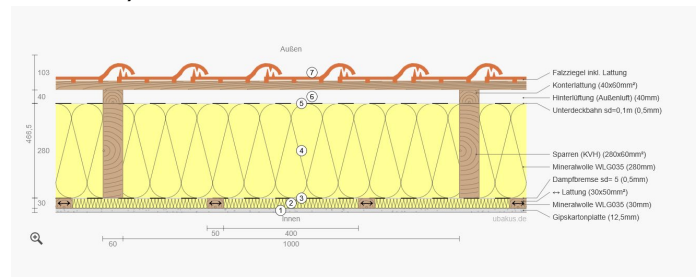
2.7 Brandschutz und Sicherheit

Vertiefung: Feuerwiderstand, Verkapselung und Intelligente Brandschutzkonzepte

Brandschutz ist eine zentrale Säule der Bauqualität und muss in nachhaltige Konzepte integriert werden. Die Materialwahl spielt hier eine große Rolle, insbesondere bei **brennbaren Baustoffen** wie Holz und Naturdämmstoffen.

Feuerwiderstand und Abbrandverhalten von Holz:

Entgegen der Intuition können Holzkonstruktionen einen hohen Feuerwiderstand aufweisen. Massivholz (z.B. CLT-Platten oder dicke Balken) brennt nicht schnell durch, sondern bildet eine schützende



Holzkohleschicht aus. Diese Kohleschicht schützt den Kern des Bauteils und verzögert den Festigkeitsverlust. Der Abbrandwiderstand von Holz ist berechenbar. Für hoch

beanspruchte Bauteile in Mehrgeschossbauten werden Brandschutzanforderungen von F60 bis F90 (60 bzw. 90 Minuten Feuerwiderstand) erreicht, indem die Dimensionen entsprechend gewählt werden oder das Holz durch nichtbrennbare Platten (Verkapselung, z.B. mehrlagiger Gipsfaserplatten) ummantelt wird.

Brandschutz bei Dämmstoffen:

Nichtbrennbare Dämmstoffe: Mineralwolle, Glaswolle und Schäume wie Polyurethan (PUR) sind oft nichtbrennbar (Baustoffklasse A1) oder schwer entflammbar.

Brennbare Dämmstoffe: Naturdämmstoffe und EPS müssen durch **Brandschutzadditive** (z.B. Borsalze bei Zellulose) behandelt oder in den Außenwänden durch **Brandriegel** (horizontale, nichtbrennbare Sperrschichten) unterteilt werden, um eine Brandausbreitung in der Fassade zu verhindern.

Integrale Brandschutzplanung:

Ein integrales Brandschutzkonzept berücksichtigt nicht nur die Materialien, sondern auch die Flucht- und Rettungswege, die Anlagentechnik (Feuerlöscheinrichtungen, Rauchabzug) und die Abschottung von Brandabschnitten. Im Sinne der Nachhaltigkeit geht es darum, Sicherheit durch planerische und konstruktive Maßnahmen zu gewährleisten, anstatt durch übermäßigen Einsatz von Chemikalien.

Beispiel: Brandschutz in einem fünfgeschossigen Holz-Hybrid-Wohnhaus

Der Bau eines mehrgeschossigen Holzhauses erfordert einen sorgfältigen Brandschutz:

Tragwerk: Die tragenden Holzstützen und -träger werden so **überdimensioniert**, dass sie im Brandfall eine **F90-Funktion** (90 Minuten Tragfähigkeit) durch die schützende Kohleschicht aufrechterhalten können.

Verkapselung: Die Wände und Decken werden mit mehreren Lagen **Gipsfaserplatten** verkleidet, die das Holz vor dem direkten Feuerkontakt schützen und die Feuerwiderstandsdauer erhöhen.

Installationen: Elektrische Leitungen und Rohrdurchführungen durch Brandabschnitte (z.B. Decken) werden mit **Brandschutzmanschetten und -mörteln abgeschottet**, um eine Brandausbreitung zu verhindern.

Die Kombination dieser Maßnahmen ermöglicht es, mit dem nachhaltigen Baustoff Holz ein hohes Sicherheitsniveau zu erreichen, das den gesetzlichen Anforderungen entspricht.

2.8 Passives Energiegewinnen durch Ausrichtung und Tageslicht

Vertiefung: Passive Solararchitektur, Lichtlenkung und Vermeidung von Blendung

Die **passive Energiegewinnung** nutzt die natürlichen Ressourcen Licht und Wärme, ohne aktive Technik, und ist damit die ökologischste und wirtschaftlichste Form der Energieeffizienz.

Passive Solararchitektur:

Der Grundsatz ist die optimale Südausrichtung der Hauptwohn- oder -arbeitsbereiche.

Wintergewinn: Große Fensterflächen nach Süden lassen die tief stehende Wintersonne einfallen, deren Wärme durch die **thermische Masse** (Boden, Wände) des Raumes gespeichert wird. Dieser **passive solare Zugewinn** kann einen erheblichen Teil der Heizlast decken.

Sommerschut: Entscheidend ist die Vermeidung der Überhitzung. Dies wird durch **feste oder bewegliche, außenliegende Verschattung** (Dachüberstände, Vordächer, Jalousien) erreicht. Die hoch stehende Sommersonne wird dadurch abgeschirmt, während die niedrig stehende Wintersonne ungehindert eindringen kann.

Tageslichtnutzung (Daylight Harvesting):

Die Maximierung des natürlichen Lichts senkt den Bedarf an elektrischer Beleuchtung. Dies wird erreicht durch:

Optimale Fensterflächen: Ein Verhältnis der Fensterfläche zur Raumfläche von ca. 1:5 ist oft optimal.

Lichtlenkung: **Lichtlenk-Jalousien** oder **Prismenplatten** in der Verglasung lenken das Licht horizontal tiefer in den Raum hinein, wodurch der beleuchtete Bereich vergrößert wird.

Hohe Reflexion: Helle Decken und Wände **reflektieren** das einfallende Licht und verteilen es gleichmäßig, wodurch der Bedarf an Kunstlicht reduziert wird. Gleichzeitig muss **Blendung** vermieden werden, da diese den Sehkomfort reduziert.

Intelligente Speicherung: Die passive Strategie funktioniert am besten in Kombination mit einer hohen **thermischen Masse** im Raum, die die solaren Gewinne speichert und eine Überhitzung verhindert (Kap. 2.1).

Beispiel: Südausgerichtetes Wohnzimmer mit optimiertem Hitzeschutz



Der Entwurf eines Einfamilienhauses sieht ein großes, südausgerichtetes Wohnzimmer vor.

Gewinnoptimierung (Winter): Der Raum verfügt über einen **Massivestrich** und eine **massive Innenwand** in der Nähe des Fensters, die die solare Wärme speichern (thermische Masse).

Schutz (Sommer): Ein **fester Dachüberstand** ist so dimensioniert, dass er die hoch stehende Sommersonne (Juni/Juli) vollständig abschattet. Eine zusätzliche, **bewegliche Jalousie** schützt vor der tiefer stehenden Sonne am Nachmittag und kann bei Abwesenheit automatisch geschlossen werden, um die Hitze draußen zu halten.

Lichtlenkung: Die Innenseiten der Fensternischen sind hell gestrichen, um das Tageslicht optimal in den Raum zu leiten.

Dies maximiert die passive Heizwirkung im Winter und verhindert aktiv die Überhitzung im Sommer, was die Betriebskosten auf ein Minimum reduziert.

2.9 Smarte Gebäudeautomation (HEMS und Smart Home)

Vertiefung: Lastverschiebung, Predictive Control und Cyber Security

Die **Smarte Gebäudeautomation** ist der technologische Überbau des Effizienzhauses. Das **Home Energy Management System (HEMS)** verwandelt das Haus von einem reinen Verbraucher in einen **intelligenten Energiemanager**.

HEMS und Lastverschiebung (Shifting):

Der primäre Nutzen des HEMS ist die Lastverschiebung (Peak Shaving). Das System analysiert die Wettervorhersage und die aktuelle PV-Erzeugung. Es trifft Entscheidungen basierend auf der aktuellen Verfügbarkeit und dem Preis der Energie.

Beispiel: Wenn die PV-Anlage um 12:00 Uhr einen hohen Überschuss produziert, steuert das HEMS die **Wärmepumpe** oder den **Heizstab** im Warmwasserspeicher gezielt an, um Warmwasser zu erzeugen oder den Pufferspeicher zu laden. Diese Energie wird gespeichert und steht abends zur Verfügung. Es wird somit **möglichst viel selbst erzeugter Strom** genutzt, bevor er ins Netz eingespeist wird (erhöhte **Eigenverbrauchsquote**).

Predictive Control und Vernetzung:

Moderne Systeme nutzen Predictive Control. Sie lernen das Nutzerverhalten und berücksichtigen externe Daten (Wetter, Strompreisbörse), um die Heizung oder Kühlung proaktiv zu steuern. Die Vernetzung (Smart Home) erweitert dies auf andere Komfortbereiche: Die automatische Beschattung (Kap. 2.8) reagiert auf Sonneneinstrahlung, die Lüftungsanlage (KWL) reagiert auf die CO₂-Konzentration im Raum (Kap. 1.8).



Sicherheit und Normen:

Da diese Systeme tief in die Energieinfrastruktur eingreifen, ist die Cyber Security ein entscheidender Faktor. Die Systeme müssen gegen unbefugten Zugriff geschützt sein. Auch die Interoperabilität (die Fähigkeit verschiedener Geräte, miteinander zu kommunizieren, z.B. über Standards wie KNX oder Matter) wird immer wichtiger, um Investitionen zukunftssicher zu machen.

Beispiel: Intelligente Steuerung der Eigenverbrauchsquote im Effizienzhaus ⚡

In einem Effizienzhaus mit PV-Anlage, Wärmepumpe und Batteriespeicher:

Szenario ohne HEMS: Der Bewohner schaltet die Waschmaschine um 18:00 Uhr ein, wenn der PV-Strom nicht mehr verfügbar ist. Der Strom muss teuer aus dem Netz bezogen werden.

Szenario mit HEMS: Das HEMS prognostiziert, dass die PV-Anlage um 14:00 Uhr einen Überschuss von 3 kWh liefern wird. Es steuert die **smarte Steckdose** der Waschmaschine so, dass der Waschvorgang **automatisch um 14:00 Uhr beginnt**.

Zusätzlich sorgt das HEMS dafür, dass der **Batteriespeicher** vorrangig gefüllt wird und die **Wärmepumpe** mit dem verbleibenden Überschuss Warmwasser erzeugt. Dies optimiert den **Eigenverbrauch von 30 % auf 70 %** und reduziert die Stromkosten massiv.

3.1 Strom erzeugen und speichern – Photovoltaik als Herzstück moderner Energieversorgung

Vertiefung: Modultechnologie, Netzdienlichkeit und Wirtschaftlichkeit der PV-Speichersysteme

Die Photovoltaik (PV) hat ihre Rolle von einer reinen Stromquelle zu einem integralen Bestandteil der Haustechnik, der aktiv zur **Netzstabilität** beiträgt, gewechselt. Die Effizienz und Wirtschaftlichkeit hängen heute nicht mehr nur vom Wirkungsgrad der Module ab, sondern maßgeblich von der **intelligenten Speicherung und Nutzung**.

Modultechnologie und Flächeneffizienz:

Moderne PV-Anlagen verwenden fast ausschließlich monokristalline Module, die dank Technologien wie PERC (Passivated Emitter and Rear Cell) oder den neuesten TOPCon-Zellen Wirkungsgrade von über 22 % erzielen. Dies ist besonders wichtig bei begrenzter Dachfläche. Ein weiterer Trend sind Bifaziale Module, die auch das indirekte Licht auf der Rückseite nutzen (z.B. durch Reflexion vom hellen Dach oder Boden), was den Gesamtertrag weiter steigert. Die Integration in das Gebäude erfolgt zunehmend ästhetisch durch Indach-Systeme (Dachziegel-Ersatz) oder Fassaden-PV-Elemente, die das Gebäude zum aktiven Kraftwerk machen.

Die Optimierung des Eigenverbrauchs durch Speicher:

Der Batteriespeicher ist der Schlüssel zur maximalen Unabhängigkeit. Ohne Speicher fällt der größte Teil der PV-Erzeugung in die Mittagszeit, wenn die meisten Bewohner außer Haus sind. Der Eigenverbrauch liegt dann oft nur bei 20–30 %. Der Batteriespeicher verschiebt diesen Strom in die Abendstunden und erhöht die Eigenverbrauchsquote auf 60–80 %. Die Dimensionierung des Speichers ist dabei entscheidend: Er sollte so gewählt werden, dass er den abendlichen Grundlastbedarf deckt, aber nicht unnötig

groß ist. Eine typische Faustformel besagt, dass pro Kilowatt-Peak (kWp) installierter PV-Leistung etwa 1 kWh nutzbare Speicherkapazität sinnvoll ist.

Netzdienlichkeit und Schwarzstartfähigkeit:

Moderne Batteriespeicher können mehr, als nur Strom speichern. Sie sind zunehmend netzdienlich (Grid-Services-fähig), was bedeutet, dass sie kurzfristig auf Signale des Netzbetreibers reagieren können, um das Stromnetz zu stabilisieren (z.B. durch kurzfristige Aufnahme oder Abgabe von Strom). Ein wichtiger Sicherheitsaspekt ist die Notstromfunktion oder Schwarzstartfähigkeit des Speichers. Im Falle eines Stromausfalls kann das System das Haus vom öffentlichen Netz trennen und die wichtigsten Verbraucher (Licht, Heizungspumpe, Kühlschrank) weiter mit Strom versorgen, was die Resilienz (Kap. 1.9) des Gebäudes erhöht.

Wirtschaftlichkeit und dynamische Tarife:

Die Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen wird durch steigende Strompreise und fallende Anlagenkosten befeuert. Zukünftig gewinnen dynamische Stromtarife an Bedeutung: Der Preis pro Kilowattstunde ändert sich je nach Angebot und Nachfrage am Strommarkt. Ein HEMS (Kap. 3.3) kann dann automatisch steuern, wann der Batteriespeicher am günstigsten geladen (aus der PV-Anlage oder dem Netz) oder entladen wird.

Beispiel: Maximierung der Eigenverbrauchsquote durch Batteriespeicher und HEMS

Ein Einfamilienhaus hat eine 8 kWp PV-Anlage und einen 8 kWh Batteriespeicher. Der Jahresstrombedarf liegt bei 4.500 kWh.

Ohne Speicher: Der Bewohner verbraucht 1.350 kWh selbst (30 % Eigenverbrauch), der Rest (3.150 kWh) wird eingespeist.

Mit Speicher: Der Speicher deckt den abendlichen Bedarf. Der Eigenverbrauch steigt auf 3.375 kWh (75 % Eigenverbrauch).

HEMS-Steuerung: Das HEMS erkennt, dass die Batterie voll ist, bevor das E-Auto (Kap. 3.3) am Abend geladen wird. Es aktiviert den **Solarstrom-Heizstab** (Kap. 3.2) im Warmwasserspeicher, um den Energieüberschuss vor der Einspeisung im Haus zu nutzen.

Die jährliche Einsparung durch den nicht bezogenen Netzstrom ist um ein Vielfaches höher als die Einnahmen aus der Einspeisevergütung, was die **Amortisationszeit** der Anlage deutlich verkürzt.

3.2 Wärme erzeugen – moderne Systeme für Heizung und Warmwasser

Vertiefung: Effizienz von Wärmepumpen, Kühlen und die Speicherkapazität der Carbonheizung

Moderne Wärmeerzeugungssysteme müssen zwei Hauptkriterien erfüllen: Sie müssen **auf erneuerbaren Energien basieren** und **intelligent steuerbar** sein.

Die Effizienz von Wärmepumpen (COP und JAZ):

Die Effizienz einer Wärmepumpe wird durch den COP (Coefficient of Performance) und die JAZ (Jahresarbeitszahl) ausgedrückt. Der COP ist das Verhältnis von abgegebener Wärme zu aufgenommener elektrischer Energie unter Normbedingungen. Die JAZ ist das realistischere Maß über ein ganzes Jahr hinweg. Eine gute JAZ (z.B. 4,0) bedeutet, dass die Wärmepumpe aus 1 kWh Strom 4 kWh Wärme erzeugt. Die JAZ hängt stark von der Vorlauftemperatur ab: Je niedriger die Temperatur im Heizkreislauf (ideal für Flächenheizungen wie Fußbodenheizungen), desto effizienter arbeitet die Pumpe.

Kühlen mit Luft-Luft-Systemen (Direkte Kühlung):

Luft-Luft-Wärmepumpen sind die effizienteste Lösung für die aktive Kühlung in hochgedämmten Gebäuden. Sie kühlen über den Luftaustausch und vermeiden das bauphysikalische Risiko der Taupunktunterschreitung

(Kondenswasserbildung), das bei kalten Flächenheizungen besteht. Zudem können sie die feuchtwarme Abluft aus dem Raum abführen und damit gleichzeitig entfeuchten – ein enormer Komfortvorteil, der den Energieaufwand reduziert, der bei anderen Pumpen für eine separate Entfeuchtung nötig wäre. Die direkte Kopplung mit der PV-Anlage (Kap. 3.1) ermöglicht es, die höchste Kühllast (Mittagszeit) genau dann zu decken, wenn der Solarstrom am höchsten ist.

Carbonheizungen und Thermische Masse:

Die Carbonheizung (Infrarot-Flächenheizung) punktet durch ihre direkte Strahlungswärme, die als besonders behaglich empfunden wird. Sie hat jedoch eine JAZ von 1,0 (1 kWh Strom = 1 kWh Wärme) und muss daher



unbedingt mit eigenem PV-Strom betrieben werden, um wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll zu sein. Ihr Vorteil ist die geringe thermische Trägheit und die punktgenaue Steuerbarkeit durch das HEMS. Sie nutzt keine fossilen Brennstoffe und eignet sich hervorragend als Ergänzung, um schnell einzelne Räume aufzuheizen. Sie nutzt nicht die thermische Masse von Wasser, sondern des Raumes selbst, was zu einer schnellen

Reaktionszeit führt.

Solarstrom-Heizstab (Power-to-Heat):

Der Heizstab im Warmwasserspeicher dient als elektrischer Überschussverbraucher (Power-to-Heat). Er ist die einfachste Form der thermischen Speicherung von Solarstrom und eine sehr wirtschaftliche Methode, den Eigenverbrauch zu optimieren, bevor der Strom für die geringe Einspeisevergütung ins Netz geleitet wird. Er macht die Warmwasserbereitung zu 100 % CO₂-neutral.

Beispiel: Heizen und Kühlen eines Effizienzhauses mit PV-optimierter Wärmepumpe 🌞 ❄️

Ein Neubau (KfW 40 Standard) installiert eine **Luft-Wasser-Wärmepumpe** (JAZ 4,5) in Kombination mit einer Fußbodenheizung (Vorlauftemperatur max. 35 grad C).

Heizbetrieb (Winter): Die Wärmepumpe wird über das HEMS so gesteuert, dass sie primär mit dem Batteriespeicher oder direkt mit PV-Strom heizt. Die niedrige Vorlauftemperatur gewährleistet eine hohe Effizienz und spart Strom.

Kühlbetrieb (Sommer): Um die Taupunktunterschreitung zu vermeiden, nutzt das Haus **passive Kühlung** über die Fußbodenheizung. Die Wärmepumpe zirkuliert dabei lediglich das relativ kühle Wasser aus dem Erdreich oder dem Außenbereich, ohne den Kompressor einzuschalten. Die **zusätzliche Kühlung** an sehr heißen Tagen übernimmt eine **Luft-Luft-Wärmepumpe** in einem der Hauptwohnräume, die aktiv kühlt und entfeuchtet, angetrieben vom PV-Überschuss.

Diese hybride Strategie optimiert die Effizienz im Winter (Luft-Wasser-WP) und den Komfort im Sommer (Luft-Luft-WP für schnelle Kühlung/Entfeuchtung).

3.3 Sektorkopplung – Strom, Wärme und Mobilität intelligent verbinden

Vertiefung: HEMS-Priorisierung, Vehicle-to-Grid und Lastmanagement

Die **Sektorkopplung** ist das strategische Ziel der Energiewende im Gebäude. Sie überwindet die traditionelle Trennung von Strom, Wärme und Verkehr und maximiert die Nutzung des selbsterzeugten, emissionsfreien PV-Stroms.

HEMS als Orchestrator der Energieflüsse:

Das Home Energy Management System (HEMS) übernimmt die entscheidende Aufgabe des Prioritätsmanagements. Es sorgt dafür, dass die wertvollste Energie (der eigene PV-Strom) zuerst dort eingesetzt wird, wo der größte wirtschaftliche Nutzen entsteht, oder wo die Speicherung am effizientesten ist.

Die typische Prioritätenkette lautet:

Grundlast: Deckung des direkten Haushaltsstrombedarfs (Licht, Elektronik).

Kurzspeicher: Laden des **Batteriespeichers** (Strom ist sofort wieder verfügbar).

Thermische Speicherung (Power-to-Heat): Aktivierung des **Heizstabs** oder der **Wärmepumpe** zur Erzeugung von Warmwasser oder Heizwärme.

Mobilität: Laden des **E-Autos** (zeitlich flexibel und hohe Speicherkapazität).

Einspeisung: Erst der verbleibende Rest wird gegen geringe Vergütung ins Netz eingespeist.

Mobilität und Vehicle-to-Grid (V2G):

Das E-Auto ist der größte potenzielle Stromspeicher im Haushalt. Die intelligente Steuerung der Wallbox durch das HEMS stellt sicher, dass das Auto nur dann lädt, wenn PV-Überschuss vorhanden ist, oder wenn der Netzstrompreis sehr niedrig ist (dynamische Tarife). Vehicle-to-Grid (V2G) ist die nächste Stufe: Das E-Auto wird zum mobilen Batteriespeicher, der im Bedarfsfall (z.B. Stromausfall oder sehr hohe Strompreise) Strom an das Haus oder sogar an das öffentliche Netz zurückgeben kann. Dies macht die Kopplung des Mobilitätssektors zur zentralen Erweiterung der Energieautarkie.

Dynamisches Lastmanagement:

Die Sektorkopplung erfordert ein präzises Lastmanagement. Wenn gleichzeitig die Wärmepumpe, der E-Auto-Ladevorgang und der Backofen in Betrieb sind, können schnell Lastspitzen entstehen. Das HEMS verhindert

das Überlasten des Hausanschlusses (Blackout-Gefahr) und verteilt die Lasten zeitlich (z.B. indem die Ladegeschwindigkeit des E-Autos gedrosselt wird, wenn die Wärmepumpe anspringt).

Beispiel: HEMS-gesteuerte Priorisierung im Tagesverlauf 🚗🏠

In einem Haus mit PV, Speicher, Wärmepumpe und E-Auto (Ladebedarf 20 kWh):

Uhrzeit	PV-Erzeugung	HEMS-Aktion	Ziel
10:00	Hoch	Lädt Batteriespeicher (8 kWh)	Erhöht abendlichen Eigenverbrauch
13:00	Peak-Leistung	Aktiviert Heizstab/WP (Power-to-Heat)	Speichert Wärme im Puffer
15:00	Hoch	Startet Ladevorgang E-Auto	Nutzt große Speicherkapazität
19:00	Null	Batterie/Wärme decken Grundlast	Reduziert Netzstrombezug

Das HEMS stellt sicher, dass der **teure Netzstrombezug (19:00 Uhr)** minimiert und die **günstige, kostenlose Solarenergie (13:00–15:00 Uhr)** maximal im Haus gespeichert wird – entweder thermisch oder elektrisch.

3.4 Anlagenplanung, Betrieb und Wartung

Vertiefung: Hydraulischer Abgleich, Systemintegration und Predictive Maintenance

Die Effizienz der Haustechnik ist nur so gut wie ihre Planung und Installation. Selbst die modernste Wärmepumpe arbeitet ineffizient, wenn das System nicht optimal aufeinander abgestimmt ist.

Präzise Dimensionierung und Systemintegration:

Der erste Schritt ist die realistische Ermittlung der Heizlast nach DIN EN 12831. Eine zu groß dimensionierte Wärmepumpe führt zum sogenannten Takten (häufiges Ein- und Ausschalten), was den Wirkungsgrad senkt und die Lebensdauer verkürzt. Die Systemintegration ist dann entscheidend: Alle Komponenten – PV, Speicher, Wärmepumpe, Lüftung und Heizflächen – müssen über das HEMS nahtlos kommunizieren können. Bei der Installation muss die hydraulische Entkopplung zwischen Wärmepumpe und Heizkreis gewährleistet sein, um die Effizienz zu maximieren.

Der unverzichtbare Hydraulische Abgleich:

Der Hydraulische Abgleich ist eine zwingende Voraussetzung für die Förderung von Wärmepumpen und die Basis für einen effizienten Betrieb. Dabei wird exakt berechnet und eingestellt, wie viel Heizwasser in jeden einzelnen Heizkreis (oder Heizkörper) fließen muss, um die Raumtemperatur gleichmäßig zu gewährleisten.

Ohne Abgleich: Die Heizkreise nahe der Pumpe werden überversorgt, die fernen Kreise unterversorgt. Das führt dazu, dass die Pumpe die **Vorlauftemperatur unnötig hoch** einstellen muss, um auch den fernsten Raum warm zu bekommen, was die JAZ massiv verschlechtert.

Mit Abgleich: Durch die präzise Einstellung der Ventile erhält jeder Raum nur die nötige Wärmemenge. Die Wärmepumpe kann mit der **niedrigstmöglichen Vorlauftemperatur** arbeiten, was ihre Effizienz (JAZ) maximiert.

Wartung und Predictive Maintenance:

Über die übliche jährliche Wartung von Wärmepumpen und Lüftungsanlagen hinaus bieten smarte HEMS-Systeme die Möglichkeit der Predictive Maintenance (vorausschauende Wartung). Das System analysiert Betriebsdaten (z.B. Druckabfall im Kältemittelkreislauf, ungewöhnlich langes Takten, zu hohe Vorlauftemperaturen) und meldet drohende Probleme, bevor es zum Ausfall kommt. Dies sichert den dauerhaft effizienten und zuverlässigen Betrieb.

Beispiel: Effizienzsteigerung durch den Hydraulischen Abgleich ✂

In einem sanierten Haus arbeitet die neue Wärmepumpe (geplante JAZ 4,0) nach der Installation nur mit einer JAZ von 2,8.

Problem: Die Vorlauftemperatur musste auf 45 grad C erhöht werden, da das Badezimmer im obersten Stockwerk nicht warm genug wurde.

Lösung: Durchführung eines **hydraulischen Abgleichs**. Es wurde festgestellt, dass der Heizkreis im Bad zu wenig Wasser erhielt und die Kreise im Erdgeschoss zu viel.

Ergebnis: Nach der korrekten Einstellung der Durchflussmengen konnte die Vorlauftemperatur auf **38 grad C gesenkt** werden. Die JAZ stieg auf **3,9**, was zu einer jährlichen **Stromeinsparung von über 20 %** im Heizbetrieb führte.

3.5 Wirtschaftlichkeit und Zukunftssicherheit

Vertiefung: Total Cost of Ownership, Förderungsanreize und der "Grüne" Immobilienwert

Die ökonomische Betrachtung nachhaltiger Haustechnik muss die **Total Cost of Ownership (TCO)** berücksichtigen – die Gesamtkosten über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes, nicht nur die anfänglichen Investitionskosten.

Die TCO-Betrachtung:

Zwar sind die Anschaffungskosten für die Kombination aus PV, Speicher und Wärmepumpe höher als für einen fossilen Brennwertkessel, doch die TCO sind langfristig deutlich niedriger:

Niedrige Betriebskosten: Der Wegfall des Brennstoffbezugs und die Nutzung des selbst erzeugten Stroms senken die monatlichen Ausgaben massiv.

Wartungskosten: PV-Anlagen und E-Heizsysteme sind wartungsärmer als Verbrennungssysteme (keine Schornsteinfeger, keine Brennerwartung).

Inflation: Die Investition schützt vor der **Inflation der Energiepreise**. Die Betriebskosten sind nach Amortisation der Anlage über Jahrzehnte nahezu festgeschrieben.

Förderungsanreize als Investitionshebel:

Staatliche Fördermittel (BAFA-Zuschüsse und KfW-Kredite) sind so konzipiert, dass sie die anfängliche Investitionshürde senken und die Amortisationszeit verkürzen. Die Förderung ist dabei oft an die Effizienz der Anlage (JAZ) und die Einhaltung des hydraulischen Abgleichs gebunden. Eine strategische Planung und die maximale Ausschöpfung der Fördermittel sind für die Rentabilität entscheidend.

Der "Grüne" Immobilienwert (Green Value):

Nachhaltige Gebäude haben einen höheren und stabileren Immobilienwert. Dieser Green Value basiert auf mehreren Faktoren:

Geringes Risiko: Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen reduziert das Risiko zukünftiger CO₂-Steuern oder strengerer gesetzlicher Anforderungen (GEG).

Transparenz: Die hohe energetische Klasse (z.B. A+ im Energieausweis) macht die Immobilie attraktiver und leichter verkaufbar/vermietbar.

Kapitalzugang: Banken bewerten diese Immobilien besser und bieten günstigere Finanzierungsbedingungen (**Green Loans**, Kap. 1.7).

Die Zukunftssicherheit nachhaltiger Haustechnik ist somit nicht nur ökologisch, sondern in erster Linie eine **kluge, langfristige Finanzentscheidung**.

Beispiel: Wirtschaftlichkeitsvergleich nach 20 Jahren 💰

Ein Einfamilienhaus vergleicht zwei Szenarien über einen Zeitraum von 20 Jahren:

Kostenfaktor	Szenario 1: Ölheizung	Szenario 2: PV (10 kWp) + WP (JAZ 4,0) + Speicher
Investition (Anfang)	30.000 € (Heizung/Tank)	65.000 € (inkl. PV, WP, Speicher)
Förderung	0 €	20.000 € (BAFA/KfW-Zuschüsse)
Investition (Netto)	30.000 €	45.000 €
Betriebskosten (20 Jahre)	40.000 € (Öl, Strom, Wartung, unter Annahme 4% Preissteigerung/Jahr)	12.000 € (Reststrom, Wartung)
Gesamtkosten (TCO)	70.000 €	57.000 €

Obwohl die Anfangsinvestition in die nachhaltige Technik höher war, ist die **Total Cost of Ownership** nach 20 Jahren dank geringer Betriebskosten und Förderung um **13.000 € niedriger**. Hinzu kommt der höhere Wiederverkaufswert der Immobilie.

4.1 Sanierungsprojekte – vom Altbau zum Effizienzhaus

Vertiefung: Sanierungsfahrplan-Hierarchie, Bauschadenvermeidung und der Hebel der Betriebsoptimierung

Die Sanierung des Gebäudebestands ist der größte Hebel für Klimaschutz, da hier die größten Einsparpotenziale liegen. Entscheidend für den Erfolg ist die Einhaltung der **Sanierungs-Hierarchie**, die logisch und bauphysikalisch aufeinander aufbaut:

Gebäudehülle: Reduktion der Verluste durch Dämmung von Dach, Fassade, Kellerdecke und Fenstertausch. Dies senkt die **Heizlast** massiv.

Anlagentechnik: Anpassung und Optimierung des Heizsystems (z.B. Umstieg auf Wärmepumpe, deren Effizienz direkt von der gesenkten Heizlast abhängt).

Erneuerbare Energien/Eigenerzeugung: Installation von PV und Speichern, um den Strombedarf der neuen Technik (Wärmepumpe) autark zu decken.

Bauschadenvermeidung und Bauphysik:

Ein zentraler Aspekt ist die Vermeidung von Bauschäden, insbesondere durch Schimmelbildung. Die nachträgliche Dämmung von Außenwänden ohne gleichzeitige Berücksichtigung der Luftdichtheit oder der Taupunkt-Verschiebung kann problematisch sein. Die Dämmung verschiebt den Punkt, an dem die warme, feuchte Raumluft kondensiert, von der Außenwand in die neue Konstruktion. Wenn dann Wärmebrücken (z.B. an Balkonanschlüssen) ungedämmt bleiben, kühlen diese Stellen lokal ab. Trifft dort die Raumluft auf die kalte Oberfläche, entsteht Tauwasser, das die Schimmelbildung fördert. Daher ist die detailgenaue Planung der

Anschlüsse und ein Lüftungstechnisches Konzept (KWL oder Stoßlüftung) unabdingbar.

Hydraulischer Abgleich und Betriebsoptimierung:

Nach der Sanierung ist die Betriebsoptimierung entscheidend. Eine neue Wärmepumpe arbeitet nur effizient, wenn der hydraulische Abgleich (Kap. 3.4) durchgeführt wurde. Dieser stellt sicher, dass alle Heizflächen gleichmäßig mit Wärme versorgt werden, wodurch die Vorlauftemperatur der Wärmepumpe auf das Minimum gesenkt werden kann – der größte Effizienzgewinn. Hinzu kommt die intelligente Regelung (HEMS), die die Anlage an die tatsächlichen Nutzungszeiten und Wetterbedingungen anpasst. Durch solche Optimierungen können oft weitere 10–20 % des Energieverbrauchs ohne zusätzliche Investitionen in Hardware eingespart werden.

Wirtschaftlichkeit und iSFP-Bonus:

Der Individuelle Sanierungsfahrplan (iSFP) macht diese Schritte transparent und ermöglicht es, die hohen Anfangsinvestitionen über mehrere Jahre zu strecken. Der Staat unterstützt dies durch den iSFP-Bonus (Kap. 1.6), der zusätzliche Fördermittel für die Umsetzung von Einzelmaßnahmen aus dem Plan gewährt. Die Sanierung ist somit nicht nur ökologisch notwendig, sondern dank geringerer Energiekosten und Wertsteigerung der Immobilie auch finanziell attraktiv.

Beispiel: Sanierung eines Gründerzeithauses zum Effizienzhaus Denkmal

Ein Eigentümer möchte ein Gründerzeithaus sanieren, dessen Fassade unter Denkmalschutz steht. Eine Außendämmung ist verboten.

- **Herausforderung:** Hohe Wärmeverluste durch die massive, aber ungedämmte Ziegelwand.
- **Lösung (Hülle):** Einsatz einer **kapillaraktiven Innendämmung** (z.B. Mineralfaserplatten) in Kombination mit neuen

Denkmalschutzfenstern (Isolierglas mit schmalen Profilen). Dies reduziert die Heizlast um über 50 % und bewahrt die Fassadenoptik.

- **Lösung (Technik):** Austausch der Gasetagenheizungen durch eine zentrale **Luft-Wasser-Wärmepumpe** im Hof, deren Effizienz dank der gesenkten Vorlauftemperatur (durch den Umbau auf Flächenheizung) optimiert ist.
- **Ergebnis:** Das Gebäude erreicht das Niveau **Effizienzhaus Denkmal**, erhält hohe **KfW-Förderungen** und die monatlichen Energiekosten sinken massiv. Die Bausubstanz wird durch die Feuchtemanagement-Fähigkeit der Innendämmung gleichzeitig geschützt.

4.2 Neubauten – Effizienzhaus 40, QNG und Plusenergiehäuser

Vertiefung: Effizienzklassen-Evolution, LCA-Anforderungen und Bauweise als CO₂-Speicher

Neubauten dienen als Vorbild für die Sanierung und treiben technologische Innovationen voran. Die Entwicklung geht über den reinen Energieverbrauch (Effizienzhaus 40) hinaus und legt den Fokus auf die **gesamte Umweltwirkung über den Lebenszyklus** (QNG).

Effizienzhaus 40 und seine Varianten:

Der Effizienzhaus 40 (EH 40)-Standard ist heute die höchste staatlich geförderte Energiestandardklasse. Er unterscheidet sich vom EH 55 (55 %



des Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes) und EH 70. Beim EH 40 ist die Gebäudehülle extrem dicht und gedämmt, der Primärenergiebedarf wird nahezu vollständig durch regenerative Quellen (WP, PV) gedeckt. Es existieren Varianten wie das EH 40 mit Nachhaltigkeits-Klasse, welche zusätzliche Anforderungen an die Graue Energie (Kap. 1.2) und die Ökobilanz stellt.

QNG – Der Fokus auf die Graue Energie:

Das Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG) ist die konsequente Weiterentwicklung. Es betrachtet nicht nur den Energieverbrauch im Betrieb, sondern fordert eine Lebenszyklusanalyse (LCA), die die CO₂-Emissionen der verbauten Materialien (Graue Energie) bilanziert.

- **Ökologische Qualität:** Verpflichtung zur Nutzung emissionsarmer, recycelbarer Materialien und zur Einhaltung strenger Grenzwerte für das **Global Warming Potential (GWP)** des gesamten Gebäudes.
- **Prozessqualität:** Nachweis der Materialtransparenz (EPDs) und des Rückbaukonzeptes (Materialpass).

Das QNG-Siegel ist ein direkter Anreiz, nachhaltige Baustoffe wie **Holz und Lehm** zu verwenden, da diese durch die CO₂-Speicherung die Bilanz des Gebäudes signifikant verbessern und das Kriterium der LCA positiv beeinflussen.

Plusenergiehäuser – Der Aktive Beitrag zum Netz:

Das Plusenergiehaus (PEH) ist der Gipfel der Bau-Effizienz. Hier wird die Größe der PV-Anlage und des Batteriespeichers so dimensioniert, dass der Jahresenergieüberschuss entsteht. Dieser Überschuss wird aktiv zur Sektorkopplung (Mobilität) oder zur Netzstützung genutzt. Diese Häuser sind nicht nur passiv energieeffizient, sondern werden zu aktiven Stromlieferanten, was in dezentralen Energieversorgungssystemen der Zukunft unverzichtbar ist.

Beispiel: Neubau eines QNG-zertifizierten Mehrfamilienhauses in Holz-Hybrid-Bauweise 🏠🌱

Ein Bauträger plant ein Mehrfamilienhaus und strebt das QNG-Siegel an.

- **Konstruktion:** Das Haus wird in **Holz-Hybrid-Bauweise** (Kap. 2.1) errichtet, wobei die Tragstruktur und die Fassade überwiegend aus **CLT-Holzelementen** bestehen. Dies führt zu einer **negativen CO₂-Bilanz** der verbauten Materialien (CO₂-Speicherfunktion von Holz).
- **Materialien:** Im Innenausbau werden **Cradle-to-Cradle (C2C)**-zertifizierte Teppichböden, Lehmputze und schadstofffreie Farben verwendet.

- **Bilanzierung:** Die **LCA** belegt einen niedrigen Wert für das Global Warming Potential.
- **Ergebnis:** Das Haus erhält das **QNG-Siegel**, erfüllt die **EU-Taxonomie-Anforderungen** (Kap. 1.4) und profitiert von den **höchsten KfN-Förderungen (Klimafreundlicher Neubau)** der KfW-Bank, was die Finanzierung sichert und den Verkaufspreis rechtfertigt.

4.3 Energieautarkie – der Weg zum unabhängigen Haus

Vertiefung: Autarkiegrad, Saisonale Speicherung und die Rolle des Wasserstoffs

Der Wunsch nach **Energieautarkie** – der weitestgehenden Unabhängigkeit von externen Versorgungsnetzen – ist eine starke Triebfeder für nachhaltiges Bauen. Der **Autarkiegrad** ist der Schlüsselbegriff, der das Verhältnis der selbst erzeugten und genutzten Energie zur Gesamtenergiebedarf misst.

Grenzen der Speicherung:

Mit Batteriespeichern (chemische Speicherung) lässt sich der Autarkiegrad beim Strom auf bis zu 80 % steigern. Die Herausforderung liegt in der saisonalen Speicherung: Im Sommer entsteht der größte Überschuss, während im dunklen Winter die größte Nachfrage besteht. Die Kapazität handelsüblicher Batteriespeicher (typisch 5–20 kWh) reicht nicht aus, um den Energiebedarf von mehreren Wochen oder Monaten zu überbrücken.

Lösungen für die Saisonale Speicherung:

Hier kommen Power-to-Gas- oder Power-to-Heat-Lösungen ins Spiel, die Energie für längere Zeit speichern:

- **Thermische Großspeicher (Power-to-Heat):** Große, hochisolierte Wassertanks oder Erdsonden können Wärme für Wochen oder Monate speichern und so die Heizung auch im Winter unterstützen (z.B. in Plusenergie-Siedlungen).

- **Wasserstoff (Power-to-Gas):** Überschüssiger Solarstrom wird in Wasserstoff umgewandelt (Elektrolyse). Dieser kann gespeichert und bei Bedarf in einer Brennstoffzelle zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt werden. Obwohl diese Technologie mit hohen Umwandlungsverlusten verbunden ist, bietet sie die derzeit beste Option zur **langfristigen, saisonalen Energiespeicherung** im Gebäudebereich.

Psychologische und Resilienz-Vorteile:

Abgesehen von der reinen Ökonomie bietet die Autarkie einen enormen Zuwachs an Resilienz (Kap. 1.9). Ein hohes Maß an Eigenerzeugung und Speicherfähigkeit schützt vor Blackouts und der Volatilität des Energiemarktes. Die psychologische Sicherheit, bei Krisen nicht auf externe Versorger angewiesen zu sein, ist ein unschätzbarer immaterieller Wert.

Beispiel: Strom- und Wärmeautarkes Einfamilienhaus mit saisonaler Wärmespeicherung ☀️🔥

Ein Bauherr möchte ein Maximum an Unabhängigkeit erreichen:

- **Strom:** Eine 15 kWp PV-Anlage in Kombination mit einem **15 kWh Batteriespeicher** deckt den Großteil des jährlichen Strombedarfs.
- **Wärme (Saisonal):** Die Anlage ist mit einer **Solarthermieanlage** und einem **Erdkollektor-Speicher** (Großer, isolierter Wassertank im Erdreich) gekoppelt. Der Wärmeüberschuss des Sommers wird im Kollektor gespeichert und über die Wärmepumpe im Winter wieder entzogen und für die Raumheizung genutzt.
- **Autarkiegrad:** Der Autarkiegrad beim Strom liegt bei 80 %, beim Wärmeenergiebedarf bei über 95 %.

Dieses Haus ist nahezu **energieunabhängig** von fossilen Brennstoffen und dem Strommarkt. Die hohen Investitionskosten werden durch eine hohe **Klima-Resilienz** und die Unabhängigkeit vom Netz gerechtfertigt.

4.4 Erfolgreiche Kombination: Wärmepumpe, PV, Speicher und HEMS

Vertiefung: Systemeffizienz, Prädiktive Regelung und Schnittstellen-Problematik

Die Effizienz in der Haustechnik ist ein Produkt der **Systemeffizienz** – die intelligente Verknüpfung der Komponenten PV, Wärmepumpe (WP), Speicher und Home Energy Management System (HEMS). Die Komponenten allein sind nur so gut wie ihre Steuerung.

Prädiktive Regelung (Vorausschauende Steuerung):

Das HEMS nutzt nicht nur Ist-Werte (z.B. Batteriespeicher ist zu 80 % geladen), sondern auch Prädiktive Daten. Es verarbeitet Wetterprognosen (z.B. Sonnenschein morgen) und dynamische Stromtarife, um vorausschauende Entscheidungen zu treffen:

- Wenn für morgen viel Sonne vorhergesagt ist, wird der Batteriespeicher heute Abend nur teilweise aus dem Netz geladen (falls Netzstrom günstiger ist) oder die WP fährt ihre Ladung herunter, um Platz für den morgigen **Solarstrom-Überschuss** zu lassen.
- Wenn eine Kältewelle erwartet wird, kann das HEMS die **thermische Masse** des Gebäudes (Estrich/Wände) schon Stunden vorher leicht überheizen, um die Wärme als Puffer zu speichern.

Die Vermeidung der Schnittstellen-Problematik:

Der Erfolg der Systemeffizienz hängt von der reibungslosen Kommunikation zwischen den Geräten ab. Hier liegt oft die größte Schwachstelle: Wenn Wechselrichter, Wärmepumpe und Speicher von unterschiedlichen Herstellern stammen, sprechen sie oft nicht dieselbe Sprache (mangelnde Interoperabilität). Ein HEMS kann dieses Problem über standardisierte Kommunikationsprotokolle (z.B. EEBus) lösen oder durch die Wahl eines Systemanbieters (alle Komponenten aus einer Hand) umgangen werden.

Wirtschaftlicher Nutzen der Systemeffizienz:

Durch die Priorisierung der Eigenstromnutzung (Kap. 3.3) und die Vermeidung von Lastspitzen (dynamisches Lastmanagement) kann die Eigenverbrauchsquote auf das Maximum gesteigert werden. Jede selbst genutzte kWh spart heute 30–40 Cent, was die Amortisationszeit der gesamten Anlage um mehrere Jahre verkürzen kann.

Beispiel: Prädiktive Steuerung der Warmwasserbereitung 🌡️🤖

Ein Haushalt nutzt eine Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser. Das HEMS soll den Eigenverbrauch optimieren.

1. **Ziel:** Warmwasserspeicher soll bis 07:00 Uhr 50 grad C haben, um den morgendlichen Bedarf zu decken.
2. **HEMS-Regelung:** Das HEMS analysiert die **PV-Prognose** (morgen um 10:00 Uhr hohe Solarernte). Es rechnet aus, wie viel Energie heute Nacht benötigt wird, um 50 grad C zu erreichen. Es verzichtet jedoch darauf, den Speicher heute Nacht komplett mit teurem Netzstrom zu laden.
3. **Aktion:** Das HEMS belässt den Speicher bei 40 grad C und wartet, bis die **PV-Anlage am Morgen anspringt**. Um 10:00 Uhr aktiviert es den Heizstab/WP mit dem **kostenlosen PV-Überschuss**, um die restlichen 10 grad C zu laden.

Dies vermeidet den Bezug von teurem Netzstrom in der Nacht und nutzt den Solarstrom intelligent zur thermischen Speicherung, bevor er ins Netz eingespeist wird.

4.5 ESG und Nachhaltigkeit als Wettbewerbsvorteil

Vertiefung: Green Finance, Investitionsrisiken und die Rolle von EPDs

ESG (Environmental, Social, Governance) und die **CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive)** haben Nachhaltigkeit von einer freiwilligen Maßnahme zu einem harten Bilanzfaktor gemacht. Im Bausektor bedeutet dies die **finanzielle Bewertung der Umweltleistung** von Immobilien.

Green Finance und Risikobewertung:

Banken und Investoren erkennen, dass "braune" (d.h. ineffiziente) Immobilien einem wachsenden Strandrungsrisiko (Stranded Assets) ausgesetzt sind. Das Risiko entsteht, wenn strengere GEG-Anforderungen oder CO₂-Preise die Sanierung so teuer machen, dass sich die Investition nicht mehr lohnt. ESG-konforme Immobilien gelten hingegen als risikoarm.

Daher bieten Finanzinstitute Green Loans mit günstigeren Zinsen für zertifizierte (QNG, DGNB) oder energetisch hochklassifizierte Gebäude an.

Die Rolle der CSRD für Unternehmen:

Die CSRD verpflichtet Unternehmen zur Berichterstattung über die Umweltauswirkungen ihrer Geschäftsaktivitäten, einschließlich der von ihnen genutzten oder besessenen Immobilien. Hierdurch wird die Nachfrage nach Immobilien mit einem niedrigen Global Warming Potential (GWP) und hoher Kreislauffähigkeit (Kap. 1.3) steigen. Bauunternehmen, die diese Transparenz bieten können, haben einen deutlichen Wettbewerbsvorteil bei der Vergabe großer Projekte.

Materialtransparenz als Asset:

Die Umwelt-Produktdeklarationen (EPDs) für Baustoffe (Kap. 4.6) werden dadurch zu einem digitalen Asset. Sie liefern die Basisdaten für die LCA-Berechnung des gesamten Gebäudes und sind der Nachweis, dass das Gebäude die ökologischen Anforderungen der Investoren und der CSRD erfüllt.

Beispiel: Finanzierungsvorteil durch ESG-Konformität eines Gewerbeparks 🏢💰

Ein Projektentwickler plant einen neuen Gewerbepark.

- **Strategie:** Zertifizierung des Parks nach **DGNB Gold** und Einhaltung der Kriterien der **EU-Taxonomie** (Kap. 1.4). Dies beinhaltet EH 40 Standard, PV-Anlagen, Gründächer und die Dokumentation der verwendeten Materialien.
- **Finanzierung:** Die Entwicklungsbank bietet für dieses Projekt einen **Green Loan** an, der einen **Zinsvorteil von 0,5 Prozentpunkten** gegenüber einem Standard-Kredit aufweist.
- **Ergebnis:** Der Zinsvorteil reduziert die Gesamtkosten der Finanzierung erheblich. Zudem ist der spätere Verkaufspreis höher, da große, CSRD-berichtspflichtige Unternehmen nur noch Flächen mieten möchten, die ihren eigenen Nachhaltigkeitszielen entsprechen. Die Nachhaltigkeit wird zum **direkten Renditefaktor**.

4.6 Umweltzeichen, Produktlabels und Materialtransparenz

Vertiefung: EPD als Ökobilanz, Wohngesundheits-Labels und Greenwashing-Schutz

Angeichts der Komplexität ökologischer Bewertungen sind **Produktlabels** unerlässlich für eine transparente Materialwahl. Sie übersetzen die Umweltleistung eines Baustoffs in eine vergleichbare Kennzahl.

EPD – Die Ökobilanz des Produkts:

Die Environmental Product Declaration (EPD) ist das wichtigste Label für die ökologische Bewertung. Sie basiert auf der LCA-Norm DIN EN 15804 und ist eine standardisierte, verifizierte Bilanz der Umweltauswirkungen eines Baustoffs (von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung – "Cradle-to-Grave"). Die EPD liefert Daten zu:

- **Global Warming Potential (GWP):** Der CO₂-Fußabdruck in kg CO₂-Äquivalent.
- **Primärenergiebedarf:** Summe der für die Herstellung benötigten Energie.
- **Abfall/Recyclingpotenzial:** Informationen zur Kreislauffähigkeit.

EPDs sind die **verbindliche Datengrundlage** für die LCA-Bilanzierung des gesamten Gebäudes (QNG, DGNB).

Wohngesundheits-Labels:

Neben der Ökologie ist die Wohngesundheit zentral. Labels wie Blauer Engel oder das natureplus-Siegel konzentrieren sich auf die Emissionsarmut (VOCs, Formaldehyd) und die Unbedenklichkeit der Inhaltsstoffe (Kap. 1.8). Das natureplus-Siegel stellt zusätzlich hohe Anforderungen an den Anteil nachwachsender Rohstoffe.

Schutz vor Greenwashing:

Der Markt ist voller vager "grüner" Werbeaussagen. Unabhängige Labels und EPDs bieten einen Schutz vor Greenwashing, da die zugrundeliegenden Daten von Dritten geprüft werden. Planer können sich nicht auf bloße Werbeslogans verlassen, sondern müssen die nachgewiesenen Kennwerte

für ihre Bauphysik- und LCA-Berechnungen verwenden. Die EPD schafft somit eine notwendige Markttransparenz.

Beispiel: Vergleich von Bodenbelägen anhand der EPD 🏷️

Ein Bauherr sucht einen ökologisch unbedenklichen Bodenbelag für eine Kindertagesstätte:

- **Vergleich:** Ein konventioneller Vinylboden (PVC) gegen einen natürlichen Linoleumboden.
- **EPD-Analyse:** Die EPD des Vinylbodens zeigt hohe Werte beim **GWP** (energieintensive Herstellung) und bei den **Toxizitätsindikatoren** (chemische Emissionen). Die EPD des Linoleumbodens (aus Leinöl, Korkmehl, Jute) weist einen **negativen GWP-Wert** (CO₂-Speicherung durch nachwachsende Rohstoffe) und hervorragende Werte bei der **Wohngesundheit** auf.
- **Entscheidung:** Obwohl der Linoleumboden in der Anschaffung teurer ist, ist er die klar bessere Wahl für ein **QNG-zertifiziertes Gebäude**, da er die ökologische und gesundheitliche Bilanz des Gebäudes verbessert und somit zur Einhaltung der strengen Kriterien beiträgt.

4.7 Begrünte Gebäude – Dach, Fassade und Umweltwirkung

Vertiefung: Urbane Hitzeinsel-Effekt, Retentionsvolumen und PV-Effizienz

Begrünte Gebäudehüllen sind eine Schlüsselstrategie zur Anpassung an den Klimawandel in urbanen Räumen (**Klimaresilienz**, Kap. 1.9). Sie bieten ökologische und bauphysikalische Vorteile, die weit über die Ästhetik hinausgehen.

Reduktion des Urbanen Hitzeinsel-Effekts:

Gründächer und Grünfassaden mindern die Aufheizung von Städten (Urban Heat Island Effect). Pflanzen nutzen Wasser zur Evapotranspiration (Verdunstung), was der Umgebung Wärme entzieht. Ein Schwarz- oder



Kiesdach kann sich im Sommer auf 80 grad C aufheizen, während ein Gründach kaum über 30 grad C steigt. Dies kühlt das Mikroklima und senkt den Kühlenergiebedarf des Gebäudes massiv.

Regenwassermanagement (Retention):

Gründächer speichern große Mengen an Regenwasser (Retentionsvolumen). Bei Starkregenereignissen wird das Wasser verzögert und reduziert in die Kanalisation abgegeben, was die Infrastruktur entlastet

und Hochwasserschäden vorbeugt. Eine extensive Begrünung (pflegeleichte Sedum-Pflanzen) speichert 40–60 % des jährlichen Niederschlags.

Synergie mit Photovoltaik (PV-Cooling):

Die Kombination von PV-Anlagen und Gründächern schafft eine überraschende Synergie:

- PV-Module verlieren bei hohen Temperaturen (über 25 grad C) an Wirkungsgrad.
- Das Gründach kühlt die Umgebungsluft durch Verdunstung.
- Die kühlere Luftzirkulation unter den Modulen (Hinterlüftung) steigert deren **Leistungsfähigkeit um bis zu 5–10 %**.

Zudem schützt das Gründach die darunterliegende Dachabdichtung vor UV-Strahlung und extremen Temperaturschwankungen, was deren **Lebensdauer verdoppeln** kann.

Beispiel: Kombination von Gründach und PV-Anlage auf einem Firmengebäude 🌿⚡

Ein Logistikzentrum installiert auf seinem großen Flachdach eine PV-Anlage.

- **Maßnahme 1:** Das gesamte Dach wird mit einer **extensiven Begrünung** versehen.

- **Maßnahme 2:** Die PV-Module werden mit ausreichend Abstand über der Begrünung montiert.
- **Vorteile:**
 - Die **Verdunstungskühlung** des Gründachs hält die Module auch im Hochsommer bei optimaler Temperatur, was den **Stromertrag maximiert**.
 - Die **Versickerungsgebühr** der Kommune für das Dachwasser kann durch das hohe **Retentionsvolumen** des Gründachs reduziert werden.
 - Die Begrünung dient als **ökologische Ausgleichsfläche** für das Bauvorhaben.

Die Investition in das Gründach zahlt sich über die gesteigerte PV-Effizienz, die Entlastung der Kanalisation und die verlängerte Lebensdauer der Abdichtung schnell aus.

4.8 Smarte Lüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung

Vertiefung: Feuchtemanagement, Filterklassen und Bedarfsgeführte Steuerung

Kontrollierte Wohnraumlüftung (KWL) mit Wärmerückgewinnung ist in luftdichten Effizienzhäusern unverzichtbar (Kap. 1.8). Sie gewährleistet die Bauphysik, die Hygiene und die Energieeffizienz.

Feuchtemanagement und Bauschutz:



Die KWL entfernt kontinuierlich die durch Kochen, Duschen und Atmen entstehende Feuchtigkeit aus dem Gebäude. Dies ist entscheidend, um die relative Luftfeuchtigkeit unter dem kritischen Wert von 60 % zu halten und damit Schimmelbildung an Wärmebrücken oder kalten Außenwänden (trotz Dämmung) zu verhindern. Für den Winter ist ein Enthalpie-Wärmetauscher sinnvoll, der

neben der Wärme auch einen Teil der Feuchtigkeit an die Zuluft überträgt, um die Gefahr der Über Trocknung der Raumluft zu minimieren.

Filterklassen und Hygiene:

Die Zuluft wird durch Filter gereinigt. Die Wahl der Filterklasse bestimmt die Hygienequalität:

- **Standardfilter (G4/F7):** Filtern Grobstaub und Pollen.
- **Feinstaubfilter (HEPA/ePM):** Werden für Allergiker oder in städtischen Gebieten mit hoher Feinstaubbelastung empfohlen.

Bedarfsgeführte Steuerung (HEMS-Integration):

Moderne KWL-Anlagen sind bedarfsgeführt. Sensoren messen kontinuierlich die Luftqualität anhand von:

- **CO₂-Gehalt:** Indikator für die Anwesenheit von Personen.
- **Luftfeuchtigkeit (VOCs):** Indikator für Kochen, Duschen oder Materialemissionen.

Das System passt die Lüftungsleistung **dynamisch** an, um nur die wirklich benötigte Luftmenge auszutauschen. Dies spart den Strom für die Ventilatoren und optimiert die Wärmerückgewinnung. Ohne Bedarfssteuerung läuft die Anlage oft unnötig auf voller Leistung.

Beispiel: Bedarfsgeführte Lüftung im Kinderzimmer 🏠

In einem EH 40 Haus ist das Kinderzimmer am Abend belegt und die Luftqualität sinkt schnell.

- **Sensorik:** Ein **CO₂-Sensor** im Zimmer misst, wie die CO₂-Konzentration von 400 ppm (Außenluft) auf 1.200 ppm steigt (kritische Grenze).
- **Aktion:** Die KWL-Anlage, gesteuert durch das HEMS, erhöht automatisch die **Luftwechselrate nur in diesem Raum** von Stufe 1 auf Stufe 3.

- **Effizienz:** Die verbrauchte, aber warme Abluft wird durch den Wärmetauscher geleitet, der 90 % der Wärme zurückgewinnt. Die frische Außenluft wird vorgewärmt in den Raum geleitet.
- **Ergebnis:** Die Luftqualität bleibt hoch (keine Müdigkeit/Kopfschmerzen), ohne dass ein Fenster geöffnet werden muss (kein Lärm, kein Wärmeverlust).

4.9 Aufklärung und Wissen – Mythen im Bausektor

Vertiefung: Atmende Wände, Taktung der Wärmepumpe und Amortisationsrealität

Die Verbreitung von Fehlinformationen ist ein großes Hindernis für die Umsetzung der Energiewende im Bau. Fundiertes Wissen über Bauphysik und Anlagentechnik ist essenziell.

Der Mythos der „Atmenden Wand“:

Der Satz „Ein Haus muss atmen“ ist bauphysikalisch falsch. Wände dürfen Feuchtigkeit in Form von Wasserdampf regulieren (Diffusionsoffenheit), aber sie tragen nicht zur notwendigen Lüfterneuerung bei. Die Luft muss kontrolliert und aktiv ausgetauscht werden. Wenn ein luftdichtes Haus ohne KWL durch Leckagen „atmet“, führt dies zu unkontrollierten Wärmeverlusten (Konvektion) und Bauschäden durch eindringende Feuchtigkeit. Die erforderliche Luftmenge für Hygiene und Gesundheit muss durch kontrollierte Lüftung erfolgen.

Wärmepumpe und kalte Temperaturen:

Die Befürchtung, Wärmepumpen (WP) würden bei Kälte versagen, stammt von veralteten Geräten. Moderne WP sind für das mitteleuropäische Klima ausgelegt und liefern auch bei -20 grad C noch ausreichend Wärme. Die Effizienz (JAZ) sinkt zwar bei tiefen Temperaturen, bleibt aber meist deutlich besser als bei einem direkten elektrischen Heizbetrieb. Wichtiger als die Außentemperatur ist die Vorlauftemperatur (Kap. 3.4), die durch gute Dämmung und Flächenheizung niedrig gehalten werden muss.

Amortisation und Langzeitwert:

Der Irrglaube, nachhaltiges Bauen sei zu teuer, ignoriert die TCO-Betrachtung (Kap. 3.5). Die Mehrkosten für Dämmung, PV und WP werden durch staatliche Förderungen abgedeckt und durch die eingesparten Energiekosten über die Lebensdauer der Immobilie kompensiert. Angesichts der steigenden CO₂-Bepreisung fossiler Brennstoffe ist die ökologische Sanierung die wirtschaftlich sicherste Entscheidung.

Beispiel: Der Unterschied zwischen falscher und richtiger Lüftung

Ein Besitzer eines ungedämmten Altbaus dämmt seine Fassade und tauscht die Fenster aus, installiert aber keine KWL.

- **Mythos-Folge:** Der Bewohner glaubt, die Dämmung verursache Schimmel. In Wahrheit verschiebt die neue Dämmung den **Taupunkt**.
- **Physik-Realität:** Die alte Fugenlüftung (unkontrollierter Luftwechsel) fällt weg. Die **Feuchtigkeit** aus dem Wohnraum kann nicht mehr entweichen und kondensiert an der kältesten Stelle (oft an den alten Fensterlaibungen oder ungedämmten Ecken).
- **Korrektur:** Installation einer **KWL mit Wärmerückgewinnung**. Die Luftfeuchtigkeit wird kontinuierlich unter 60 % gehalten, die Fensterlaibungen bleiben trocken, und der Schimmel verschwindet. Die Lüftungsanlage hat nicht nur die Feuchte abgeführt, sondern dabei auch noch 90 % der Wärme gespart.

4.10 Leuchtturmprojekte und die Zukunft des Bauens

Vertiefung: Quartierslösungen, Digitaler Zwilling und Klimapositive Gebäude

Die Zukunft des Bauens liegt in der **skalierbaren, klimapositiven Quartiersentwicklung**, in der einzelne Gebäude zu einem vernetzten, intelligenten System zusammenwachsen.

Die Transformation zum Energieteilnehmer (Prosumer):

Der einzelne Hausbesitzer wird vom reinen Konsumenten (Consumer) zum aktiven Erzeuger und Konsumenten (Prosumer). Quartierslösungen organisieren diesen Ansatz auf Siedlungsebene:

- **Gemeinschaftliche PV:** Zentrale PV-Anlagen und Windkraft liefern Strom für die gesamte Siedlung.
- **Lokale Wärmenetze:** Eine zentrale Groß-Wärmepumpe (z.B. gekoppelt mit Geothermie oder Abwärme) versorgt alle Häuser über ein effizientes Niedertemperatur-Wärmenetz.
- **Mobilitäts-Hubs:** Zentrale Ladestationen und E-Carsharing-Angebote werden mit dem PV-Überschuss versorgt.

Digitaler Zwilling und Künstliche Intelligenz (KI):

Die Steuerung dieser komplexen Systeme wird durch den Digitalen Zwilling ermöglicht – eine virtuelle Echtzeit-Kopie des Gebäudes oder Quartiers. KI kann die gewaltige Menge an Betriebsdaten (Wetter, PV-Ertrag, Speicherauslastung, Netzentlastung) analysieren und die Anlagen vollautomatisch optimieren. KI ermöglicht die vorausschauende Wartung (Kap. 3.4) und die dynamische Lastverschiebung (Kap. 4.4).

Klimapositive Gebäude (Carbon Positive):

Das ultimative Ziel geht über die Klimaneutralität hinaus. Klimapositive Gebäude produzieren nicht nur mehr Energie, als sie verbrauchen, sondern speichern auch aktiv mehr CO₂, als für ihre Errichtung freigesetzt wurde (z.B. durch massive Holzbauweise, die CO₂ bindet). Diese Häuser sind nicht nur emissionsfrei im Betrieb, sondern wirken über ihren Lebenszyklus als aktive Kohlenstoffsinken.

Beispiel: Quartier mit saisonalem Wärmespeicher und Bürger-PV



In einem Neubaugebiet entsteht eine Plusenergie-Siedlung:

1. **Versorgung:** Alle 50 Häuser sind an ein **lokales Niedertemperatur-Wärmenetz** angeschlossen, das von einer zentralen Groß-Wärmepumpe und einem **saisonalen Erdwärmespeicher** gespeist wird.

2. **Strom:** Auf allen Dächern wird PV installiert, die über ein **smartes Quartiersnetz** vernetzt ist. Die Bürger können ihren Überschuss untereinander handeln (sog. **Bürgerenergie**).
3. **Steuerung:** Eine **KI-Plattform** steuert die zentrale Wärmepumpe, die Ladezyklen der E-Autos und die Ladung des saisonalen Speichers, um den Netzbezug des gesamten Quartiers zu minimieren.

Das Quartier erreicht eine **Energieautarkie von über 90 %** und demonstriert, wie die dezentrale, vernetzte Energieversorgung der Zukunft funktioniert.

Kapitel 5 – HEMS – Das intelligente Energiemanagementsystem

5.1 Grundprinzip eines HEMS

Vertiefung: Vom Verbraucher zum Prosumer, Prädiktive Kontrolle und Wirtschaftliche Priorisierung

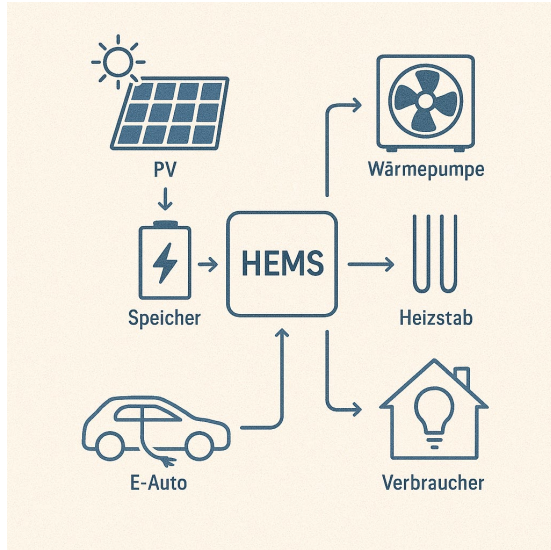
Das **Home Energy Management System (HEMS)** transformiert das traditionelle Haus vom passiven **Energieverbraucher (Consumer)** zum aktiven **Erzeuger und Verbraucher (Prosumer)**. Es ist das übergeordnete Steuerungsinstrument, das alle lokalen Energieflüsse nach ökonomischen und ökologischen Kriterien orchestriert. Das HEMS agiert in zwei Hauptdimensionen: **Echtzeit-Analyse** und **Prädiktive Kontrolle**.

Echtzeit-Analyse und Lastmanagement:

Das HEMS misst in Echtzeit die aktuelle Energiebilanz (PV-Ertrag vs. Basislast). Seine primäre Aufgabe ist das Dynamische Lastmanagement (DLM), das verhindert, dass alle energieintensiven Geräte (E-Auto, Wärmepumpe, Herd) gleichzeitig laufen und eine teure Lastspitze erzeugen, die möglicherweise den Hausanschluss überlastet (Gefahr des Blackouts) oder unnötig hohen Netzstrombezug auslöst. Es priorisiert die Verbraucher, drosselt bei Bedarf die Leistung (z.B. die Ladegeschwindigkeit des E-Autos) und schaltet flexible Verbraucher (Waschmaschine, Heizstab) nur dann zu, wenn die Eigenversorgung gesichert ist.

Prädiktive Kontrolle und die Zeitachse:

Das HEMS ist nicht nur reaktiv, sondern nutzt Prädiktive Kontrolle. Durch die Verarbeitung von Wetterprognosen (Sonnenscheindauer, Temperatur) und dynamischen Stromtarifen (zukünftige Netzstrompreise) kann das System



vorausschauend planen. Wenn für den nächsten Tag viel Sonne erwartet wird, verzichtet das HEMS darauf, den Batteriespeicher in der Nacht vollständig aus dem Netz zu laden, um Platz für den kostenlosen Solarstrom zu schaffen. Es trifft Entscheidungen anhand der voraussichtlichen Stromkosten für die nächsten 24 bis 48 Stunden.

Wirtschaftliche Priorisierung:

Die zentrale Logik des HEMS beruht auf der Priorisierung des Eigenverbrauchs.

Ökonomisch betrachtet ist jede selbst genutzte kWh (die den Bezug von teurem Netzstrom spart) deutlich wertvoller als die Einspeisevergütung für den überschüssigen Strom (typisch 30–40 Cent vs. 8 Cent/kWh). Das HEMS sorgt dafür, dass dieser wirtschaftliche Mehrwert maximiert wird, indem es Energie in die flexibelsten Speicher (Batterie, Warmwasser, Auto) lenkt, bevor es zur Einspeisung kommt.

Beispiel: Prädiktive Steuerung zur Maximierung des Solarertrags 🌞 🧠

Ein HEMS prognostiziert für morgen einen sonnigen Tag mit hohem PV-Überschuss, aber für übermorgen eine Schlechtwetterfront.

- **Aktion des HEMS (Heute Abend):** Trotz des hohen nächtlichen Verbrauchs der Familie (Ladebedarf des E-Autos) lädt das HEMS den **Batteriespeicher nicht vollständig** aus dem Netz auf. Es belässt die Batterie bei 50 % Füllstand.
- **Grund:** Um **Speicherkapazität** für den morgigen, kostenlosen Solarstrom zu reservieren. Wäre der Speicher heute Abend voll, müsste der morgige Überschuss größtenteils billig ins Netz eingespeist werden.
- **Aktion des HEMS (Morgen Mittag):** Sobald die Sonne scheint, werden die restlichen 50 % der Batterie mit **eigenem Solarstrom** gefüllt. Der verbleibende Überschuss wird sofort für die Warmwasserbereitung genutzt (Kap. 5.3) und dann erst für das E-Auto.

Durch diese **vorausschauende Strategie** erhöht das HEMS den Eigenverbrauch um X kWh und spart damit X Netzstrompreis, anstatt nur die geringe Einspeisevergütung zu erzielen.

5.2 Kommunikation zwischen PV, Speicher und Verbrauchern

Vertiefung: Datenprotokolle, Interoperabilität und Die Rolle des Wechselrichters

Die Leistungsfähigkeit des HEMS steht und fällt mit der nahtlosen **Kommunikation (Interoperabilität)** der einzelnen Komponenten. Die Zeiten, in denen Geräte als isolierte Einheiten agierten, sind vorbei.

Kommunikationsebene und Datenprotokolle:

Die Vernetzung im HEMS erfolgt über definierte Kommunikationsprotokolle. Die wichtigsten Datenquellen sind:

- **Wechselrichter:** Meldet die **aktuelle PV-Leistung in Watt (W)** und die **maximale mögliche Leistung**. Er ist die Brücke zwischen PV-Anlage und HEMS.
- **Batteriespeicher:** Meldet den **aktuellen Ladezustand in kWh** und die **Lade-/Entladeleistung**.
- **Smart Meter/Energiemanager:** Protokolliert den **Netzbezug** und die **Netzeinspeisung**.

Das HEMS empfängt diese Daten und sendet Steuersignale an die Verbraucher (z.B. "Erhöhe die Wärmepumpenleistung um 2 kW"). Standards wie **EEBus** oder **Modbus** gewährleisten, dass Geräte unterschiedlicher Hersteller miteinander kommunizieren können. Ohne diese offenen Schnittstellen wäre ein flexibles, herstellerübergreifendes System nicht möglich.

Sicherstellung der Interoperabilität:

Die Schnittstellen-Problematik ist in der Praxis oft eine Herausforderung. Viele HEMS-Anbieter bevorzugen oder funktionieren nur mit Geräten aus dem eigenen Ökosystem (Wechselrichter und Speicher vom selben Hersteller). Der Trend geht jedoch zu offenen Plattformen, die eine breitere

Geräteintegration ermöglichen. Bei der Anlagenplanung muss daher explizit auf die Kompatibilität zwischen dem gewünschten HEMS und den geplanten Großverbrauchern (Wärmepumpe, Wallbox) geachtet werden.

Der Mehrwert der Echtzeitdaten:

Die Fähigkeit, den Ladezustand des Speichers in Echtzeit zu kennen, erlaubt es dem HEMS, präzise auf den restlichen Speicherbedarf zu reagieren. Wenn der Speicher fast voll ist, wird die Priorität sofort auf die thermische Speicherung (Warmwasser) oder das Laden des E-Autos verschoben, um keinen einzigen Watt Peak Solarstrom zu verschenken.

Beispiel: Nahtlose Umschaltung zur thermischen Speicherung

Ein HEMS überwacht eine 12 kWp PV-Anlage, einen 10 kWh Speicher und einen 3 kW Warmwasser-Heizstab.

1. **Status 12:00 Uhr:** Die PV-Anlage liefert 8 kW. Der Batteriespeicher ist zu 95 % geladen und kann nur noch 0,5 kWh aufnehmen.
2. **HEMS-Entscheidung:** Das HEMS erkennt den bevorstehenden **Solarüberschuss**. Es sendet ein Signal an den **Heizstab**, diesen mit 3 kW Leistung zu aktivieren.
3. **Wirkung:** Anstatt die restlichen 4,5 kW Überschuss billig einzuspeisen, werden 3 kW davon zur Erzeugung von Warmwasser (effektive **Wärmespeicherung**) genutzt. Der Heizstab wird kurz vor Erreichen der Warmwasser-Solltemperatur wieder gedrosselt, um den Speicher nicht zu überladen.

Diese **dynamische Priorisierung** verhindert, dass der wertvolle Solarstrom "verschenkt" wird, nur weil die primäre Speicherform (Batterie) fast voll ist.

5.3 Warmwasserbereitung über Heizstab – automatisch und effizient

Vertiefung: Power-to-Heat-Effizienz, Thermischer Speicher als Puffer und Hygienischer Aspekt

Die Nutzung von überschüssigem PV-Strom zur Warmwasserbereitung über einen **Heizstab (Power-to-Heat)** ist eine der einfachsten, effizientesten und wirtschaftlichsten Formen der Energiespeicherung im Haushalt. Es nutzt den Warmwasserspeicher als **thermischen Puffer**.

Effizienz und Wirkungsgrad:

Der elektrische Heizstab hat einen Wirkungsgrad von nahezu 100 %. Das bedeutet, fast die gesamte elektrische Energie wird direkt in Wärme



umgewandelt. Im Vergleich zur Speicherung im Batteriespeicher (ca. 80–90 % Wirkungsgrad) ist die direkte Wärmeumwandlung im Überschussfall oft effizienter.

HEMS-gesteuerte
Priorisierung:

Die Intelligenz liegt in der Steuerung durch das HEMS: Der Heizstab wird nicht nur aktiviert, wenn "irgendwie Strom da ist", sondern erst dann, wenn der Batteriespeicher fast

vollständig geladen ist. Dies stellt sicher, dass der lukrativere Stromspeicher (der Strom schneller und mit höherem Wert wieder abgibt) zuerst Priorität hat. Der Heizstab dient als "Überschussverwerter" kurz vor der Einspeisung.

Einsatz in verschiedenen Systemen:

Der PV-gesteuerte Heizstab ist vielseitig:

- **Als Ergänzung zur Wärmepumpe:** Die Wärmepumpe sorgt für die Grundlast, und der Heizstab übernimmt die **Anhebung der Temperatur** (z.B. von 45 grad C auf 60 grad C) ausschließlich mit PV-Strom.

- **Als Ergänzung zur Solarthermie:** An Tagen mit geringer Sonneneinstrahlung kann der Heizstab das Warmwasser ohne fossile Nachheizung auf die Solltemperatur bringen.

Hygienischer Aspekt (Legionellen):

Das HEMS kann auch zur hygienischen Sicherheit beitragen. Es kann so programmiert werden, dass es einmal täglich oder wöchentlich eine Legionellen-Schutzschaltung durchführt (Erhitzen des Wassers auf über 60 grad C). Wenn diese Schaltung gezielt in Zeiten des PV-Überschusses gelegt wird, geschieht dies mit kostenlosem Solarstrom, was die Betriebskosten der Hygiene-Funktion auf Null senkt.

Beispiel: Intelligente Nutzung des Warmwasserspeichers als Zwischenspeicher

Ein Haushalt duscht hauptsächlich am Abend (20:00 Uhr). Die Solltemperatur des Warmwasserspeichers liegt bei 55 grad C.

1. **Ohne HEMS:** Der Speicher kühlt ab. Die Wärmepumpe läuft am späten Nachmittag (17:00 Uhr) mit teurem Netzstrom, um die Temperatur wieder zu erreichen.
2. **Mit HEMS:** Um 13:00 Uhr wird ein großer PV-Überschuss gemessen. Das HEMS schaltet den Heizstab ein, um den Speicher auf **65 grad C (Temperatur-Override)** zu erhöhen.
3. **Ergebnis:** Das Wasser ist thermisch **überladen**. Die tagsüber gespeicherte Wärme deckt den Bedarf am Abend um 20:00 Uhr ab. Die teure Nachheizung mit Netzstrom am späten Nachmittag entfällt vollständig. Der Speicher wurde als **kostengünstiger, effizienter Solarstromspeicher** genutzt.

5.4 Integration von Carbonheizung und Wärmepumpe

Vertiefung: Thermische Trägheit, Lastverschiebung und Hybride Effizienz

Die Kombination von **Wärmepumpe (WP)** und **Carbon-Flächenheizung** unter HEMS-Steuerung maximiert die Effizienz, indem sie die unterschiedliche **thermische Trägheit** beider Systeme intelligent nutzt.

Wärmepumpe – Die Grundlast-Maschine:

Die WP ist die effizienteste Methode zur Deckung der thermischen Grundlast. Sie arbeitet am besten mit niedriger Vorlauftemperatur und langen, gleichmäßigen Laufzeiten (geringes Takten). Das HEMS sorgt dafür, dass die WP primär in Zeiten des hohen PV-Ertrags (tagsüber) oder des niedrigen Netzstrompreises läuft. Sie nutzt die thermische Masse des Estrichs oder des Warmwasserspeichers, um Wärme als Puffer zu speichern.

Carbonheizung – Die Spitzenlast-Maschine:

Die Carbonheizung (oder andere direktelektrische Heizsysteme) hat eine extrem geringe thermische Trägheit und reagiert sofort. Sie ist ideal für:

1. **Schnelle Temperaturanpassung:** Zum Beispiel das schnelle Aufheizen des Badezimmers am Morgen.
2. **Feinjustierung:** Deckung von kurzfristigen **Wärmespitzen** in bestimmten Zonen, ohne die träge WP ineffizient hochfahren zu müssen.

Das HEMS steuert die Carbonheizung ausschließlich als **PV-gesteuerten Spitzenlastverbraucher**. Wenn die PV-Erzeugung die WP und den Speicher vollständig versorgt, wird der verbleibende Überschuss zur Erhöhung der Raumtemperatur (z.B. um 1 grad C über die Solltemperatur) in wenig genutzten Räumen genutzt.

Hybride Effizienz und Lastverschiebung:

Durch diese hybride Strategie wird die teure und ineffiziente Nutzung von Netzstrom für die WP in Spitzenzeiten vermieden. Die WP läuft kontinuierlich effizient, während die Carbonheizung den flexibelsten Überschuss aufnimmt. Das HEMS bewirkt hier eine thermische Lastverschiebung vom Netzstrom in den Solarstrom.

Beispiel: HEMS-gesteuerte Schnellwärme im Bad 🚿⚡

Die Familie wünscht um 07:00 Uhr morgens eine schnelle 24 grad C-Wärme im Bad, obwohl die WP noch nicht angelaufen ist (oder in der Nacht mit niedrigster Leistung lief).

1. **Szenario ohne HEMS/Carbon:** Die WP müsste hochgefahren werden, was ineffizient ist und lange dauert. Eventuell wird der elektrische Heizstab der WP mit teurem Netzstrom zugeschaltet.
2. **Szenario mit HEMS/Carbon:** Das HEMS erkennt den Heizbedarf im Bad. Es weiß, dass der PV-Ertrag um 07:00 Uhr noch gering ist, aber der **Batteriespeicher** noch Energie enthält (vom Vortag).
3. **Aktion:** Das HEMS aktiviert die **Carbon-Fußbodenheizung** im Bad mit der Leistung aus dem Speicher.
4. **Ergebnis:** Das Bad ist in wenigen Minuten warm, die WP bleibt im effizienten Grundlastbetrieb, und es wurde kein teurer Netzstrom bezogen. Der Speicher wurde optimal für eine **kurzzeitige Spitzenlast** eingesetzt.

5.5 Steuerung der Haushaltsgeräte und E-Mobilität

Vertiefung: Smart-Grid-Ready-Geräte, Zeitfenster-Management und Priorisierung in der E-Mobilität

Die Integration von Haushaltsgeräten und E-Mobilität in das HEMS schließt den Kreis der **Sektorenkopplung** (Kap. 3.3) und maximiert die Nutzung des selbst erzeugten Solarstroms.

Smart-Grid-Ready (SG-Ready)-Geräte:

Moderne Haushaltsgeräte wie Waschmaschinen oder Geschirrspüler sind oft SG-Ready oder Smart-Home-fähig. Das bedeutet, sie besitzen eine Schnittstelle, die es dem HEMS ermöglicht, sie nicht sofort beim Drücken des Startknopfs zu starten, sondern nur dann, wenn ein Überschuss-Signal vom HEMS gesendet wird. Der Nutzer wählt das Programm, und das HEMS wählt den besten Startzeitpunkt (zeitversetztes Starten), um den Eigenverbrauch zu optimieren.

Management der E-Mobilität – Die größte Flexibilität:

Das Elektrofahrzeug ist der größte einzelne Stromverbraucher und gleichzeitig der flexibelste Speicher. Seine Ladung kann zeitlich und leistungstechnisch am einfachsten gesteuert werden:

- **Solar-Optimierung:** Die Wallbox wird durch das HEMS so gesteuert, dass sie nur mit dem **aktuell verfügbaren PV-Überschuss** lädt. Sollte die PV-Leistung von 5 kW auf 2 kW fallen (Wolken), drosselt das HEMS die Ladeleistung dynamisch nach.
- **Prioritäts-Laden:** Der Nutzer kann dem HEMS mitteilen, wann das Auto wieder benötigt wird (z.B. "Ich brauche das Auto morgen früh um 7:00 Uhr mit 80 % Ladung"). Das HEMS entscheidet dann selbst, ob die Ladung langsam und solargesteuert über den Tag, oder schnell und netzgestützt in der Nacht erfolgen muss.

Wirtschaftlicher Vorteil:

Durch die Verschiebung des Ladens von Netzzeiten (abends) auf PV-Zeiten (mittags) wird der teure Netzstrom für die Mobilität vermieden, was die jährlichen Betriebskosten des E-Autos drastisch senkt.

Beispiel: Dynamische Verschiebung von Ladezyklen

Ein Haushalt möchte mittags die Waschmaschine starten und gleichzeitig das E-Auto laden. Die PV-Anlage liefert 6 kW.

1. **Priorität im HEMS:** 1. Haushaltsgeräte (Abschluss vor 15:00 Uhr), 2. E-Auto.
2. **Aktion:**
 - Die **Waschmaschine** wird mit voller Leistung (2 kW) gestartet, da sie zeitkritisch ist.
 - Der verbleibende PV-Überschuss (4 kW) wird zum Laden des E-Autos verwendet.
3. **Wolkendecke:** Eine Wolke zieht auf, der PV-Ertrag fällt auf 3 kW.
4. **Reaktion des HEMS:** Es **drosselt die Ladeleistung** der Wallbox sofort auf 1 kW, während die Waschmaschine (2 kW) weiterläuft. Damit wird **kein Strom aus dem Netz** bezogen.

Ohne HEMS müssten beide Geräte mit Netzstrom versorgt werden, da der Überschuss nicht ausreicht. Das HEMS nutzt den gesamten Solarstrom, ohne den kritischen Netzbezug zu erhöhen.

5.6 Energieeinsparung und Autarkie durch HEMS

Vertiefung: Quantifizierung des Autarkiegrads, Selbstlernende Algorithmen und Datenanalyse

Der messbare Nutzen eines HEMS liegt in der **Steigerung des Autarkiegrads** und der **Quantifizierung der Energieeinsparung**. Es geht über die reine Steuerung hinaus in die Sphäre der **Datenanalyse und Optimierung**.

Quantifizierung des Autarkiegrads:

Der Autarkiegrad (selbst genutzter PV-Strom im Verhältnis zum Gesamtbedarf) und die Eigenverbrauchsquote (selbst genutzter PV-Strom im Verhältnis zur gesamten PV-Erzeugung) sind die zentralen Kennzahlen. Das HEMS protokolliert diese Werte kontinuierlich, wodurch die Nutzer ihren Fortschritt messen können. Die Steigerung von 30 % (ohne Speicher/HEMS) auf 70–80 % ist der größte wirtschaftliche Effekt.

Selbstlernende Algorithmen:

Moderne HEMS nutzen selbstlernende Algorithmen (Künstliche Intelligenz), um die Steuerung kontinuierlich zu verbessern.

- Das System lernt, wann der höchste Warmwasserbedarf besteht (z.B. Samstagmorgen 09:00 30 Min.).
- Es lernt die spezifische Reaktion der Wärmepumpe auf die Außentemperatur.
- Es lernt das spezifische **Entladeverhalten** der Batterie.

Auf Basis dieser Daten kann das HEMS seine **prädiktiven Modelle** verfeinern und die Energieflüsse noch präziser steuern, als es eine manuelle Programmierung jemals könnte.

Komfort und Passive Einsparung:

Die Einsparung erfolgt ohne Komfortverlust, da die Lüftung oder die Heizung bedarfsgeführt (Kap. 4.8) gesteuert werden, anstatt fest programmiert zu sein. Die automatische Steuerung eliminiert menschliche Fehler (z.B. das Vergessen des Ausschaltens von Heizstäben).

Beispiel: Messbare Effizienzsteigerung durch HEMS-Optimierung

Ein Haushalt erreicht mit PV und Speicher (ohne HEMS) eine Eigenverbrauchsquote von 62 %.

1. **Datenerfassung:** Das HEMS wird installiert und beginnt, die Ertrags- und Verbrauchsmuster zu analysieren.
2. **HEMS-Optimierung:** Das System verschiebt die Warmwasserbereitung und die Ladezyklen des E-Autos dynamisch in die Zeitfenster mit dem größten Überschuss. Es lernt, dass die PV-Anlage an Wochentagen mittags am besten arbeitet.
3. **Ergebnis:** Nach drei Monaten steigt die **Eigenverbrauchsquote** durch die intelligente Steuerung auf **75 %**.

Die zusätzliche Einsparung von 13 Prozentpunkten des selbst erzeugten Stroms reduziert den jährlichen Netzstrombezug um 13% Gesamt-PV-Ertrag und beschleunigt die Amortisation der Gesamtanlage.

5.7 HEMS als Zukunft der Gebäudeautomation

Vertiefung: Smart Grids, Bidirektionales Laden und Dezentrale Netzstabilität

Das HEMS ist nicht nur die Zukunft des Einzelhauses, sondern auch der entscheidende Baustein für die **Energiewende auf Quartiersebene** und das **Intelligente Stromnetz (Smart Grid)**.

Die Rolle im Smart Grid:

In einem Smart Grid agieren Gebäude nicht mehr nur als passive Verbraucher, sondern als aktive Teilnehmer, die auf die Netzstabilität reagieren. Das HEMS wird zur Schnittstelle zum Netzbetreiber. Bei drohender Überlastung im Netz (z.B. wenn alle E-Autos abends laden) kann das HEMS die Wallboxen im Haus automatisch drosseln. Bei Energieüberschuss im Netz (z.B. Windstromüberschuss in der Nacht) kann das HEMS die WP oder den Speicher gezielt laden.

Bidirektionales Laden (Vehicle-to-Grid, V2G):

Die nächste technologische Stufe ist das Bidirektionale Laden. Dabei wird das E-Auto nicht nur geladen, sondern kann im Bedarfsfall (z.B. Stromausfall im Haus, sehr hohe Netzstrompreise) Energie an das Haus oder das Netz zurückgeben. Das HEMS steuert diesen Energiefluss (Vehicle-to-Home, V2H, oder V2G) und muss dabei die Mobilitätsanforderung des Nutzers (z.B. "Brauche morgen 80 % Ladung") immer priorisieren. Dies macht das E-Auto zum riesigen, mobilen Puffer im HEMS.

KI und der Blick über das Haus hinaus:

Künstliche Intelligenz im HEMS wird zukünftig nicht nur interne Daten verarbeiten, sondern auch mit externen Akteuren interagieren (Wärmenetzbetreiber, Energiebörse). Es wird das Haus in ein dezentrales, selbstoptimierendes Energiesystem einbinden, das auf lokalen und überregionalen Energiebedarf reagiert. Das Ziel ist die Klimapositive Immobilie, die aktiv zur CO₂-Reduktion des Gesamtnetzes beiträgt.

Beispiel: Einbindung in ein Virtuelles Kraftwerk (VPP)

Ein Haus mit HEMS, PV und Speicher nimmt an einem **Virtuellen Kraftwerk (VPP)** teil.

1. **Aktion des VPP:** Der Netzbetreiber meldet um 17:00 Uhr einen Engpass im Netz (hohe Last, geringe Erzeugung).
2. **HEMS-Reaktion:** Das HEMS erhält das Signal und **entlädt den Batteriespeicher** für 30 Minuten mit der maximalen Leistung in das Netz, um den Engpass zu überbrücken.
3. **Kompensation:** Der Hausbesitzer erhält dafür eine **finanzielle Vergütung** vom VPP. Das HEMS stoppt die Entladung rechtzeitig, um die **Mindestladung** für den nächtlichen Eigenbedarf zu garantieren.

Das HEMS ermöglicht es dem Haus, durch diese Flexibilität aktiv Einnahmen zu generieren und gleichzeitig die Stabilität des öffentlichen Stromnetzes zu sichern.

Kapitel 6 – Förderlandschaft: Finanzierung durch öffentliche Programme

Nachhaltiges Bauen und Sanieren ist eine Investition in die Zukunft – sowohl ökologisch als auch wirtschaftlich. Damit solche Projekte für Familien, Eigentümer und Unternehmen realisierbar bleiben, unterstützen Bund und Länder sie mit umfangreichen Förderprogrammen. Die wichtigsten Akteure dabei sind die **Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)**, das **Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)** und verschiedene **Landesförderbanken**. Wer diese Fördermittel gezielt kombiniert, kann seine Bau- oder Sanierungskosten um bis zu 30 % reduzieren – manchmal sogar noch mehr.

6.1 Überblick über die Förderlogik

Vertiefung: BEG-Systematik, Technische Mindestanforderungen und die Rolle des EEE

Die deutsche Förderlandschaft, die primär in der **Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)** gebündelt ist, folgt einer klaren Logik: Sie zielt darauf ab, über den gesetzlichen Mindeststandard (GEG) hinausgehende Effizienzmaßnahmen finanziell zu belohnen. Die Förderlogik unterscheidet klar zwischen **Komplettmaßnahmen (Effizienzhaus-Niveau)** und **Einzelmaßnahmen (Anlagentechnik/Hülle)**.

Die BEG-Systematik und die Zuständigkeiten:

- **KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau):** Zuständig für **Komplettsanierungen** zum Effizienzhaus (EH) und **Neubauten** (Kreditförderung, d.h. Darlehen mit attraktiven Tilgungszuschüssen).
- **BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle):** Zuständig für **Zuschüsse** zu Einzelmaßnahmen (z.B. Heizungstausch, Dämmung, Energieberatung).

Die wichtigste Regel der Förderlogik ist das **Antragsprinzip: Förderung muss immer vor Auftragsvergabe** (Beginn der Maßnahme) beantragt werden. Eine Missachtung führt fast immer zum Verlust des Anspruchs.

Technische Mindestanforderungen und der EEE:

Alle Förderungen sind an strenge technische Mindestanforderungen geknüpft. Beim Neubau und der Komplettisanierung müssen bestimmte Primärenergiekennwerte und Transmissionswärmeverluste erreicht werden. Die Einhaltung dieser Werte muss durch einen Energieeffizienz-Experten (EEE), der auf der Liste der Deutschen Energie-Agentur (dena) geführt wird, bestätigt werden.

Die Rolle des EEE ist zentral:

1. **Planung und Nachweis:** Er erstellt die **Technische Projektbeschreibung (TPB)** bzw. den **Individuellen Sanierungsfahrplan (iSFP)**.
2. **Antragstellung:** Er reicht die notwendigen Unterlagen zur **Förderzusage** ein.
3. **Bestätigung:** Er bescheinigt nach Abschluss der Arbeiten die korrekte Ausführung und die Einhaltung der Effizienzwerte (**Verwendungsnachweis**).

Die **Förderung der Fachplanung und Baubegleitung durch den EEE** (bis zu 50 % der Kosten) ist ein starker Anreiz, diese Expertise frühzeitig einzubinden, da sie die **Qualitätssicherheit** des Projekts massiv erhöht und Bauschäden verhindert.

Beispiel: Korrekte Vorgehensweise bei einer Sanierung

Ein Hauseigentümer plant den Einbau einer Wärmepumpe und eine Dachdämmung.

1. **Falsche Vorgehensweise:** Handwerker beauftragen und danach beim BAFA anfragen. **Folge:** Keine Förderung, da die Maßnahme begonnen wurde.
2. **Korrekte Vorgehensweise:**
 - **EEE beauftragen** (wird gefördert).
 - **EEE erstellt iSFP** und die **technischen Unterlagen** für die Wärmepumpe.
 - **Antrag beim BAFA** für den Heizungstausch stellen und **Zusage abwarten** (Zuschuss).

- **Antrag bei der KfW** für das Sanierungsdarlehen der Dachdämmung stellen und **Zusage abwarten** (Kredit).
- Erst **danach** die Handwerker beauftragen.

6.2 KfW-Programme im Überblick (Neubau und Sanierung)

Vertiefung: KFN, Tilgungszuschüsse als Hebel und Die Wichtigkeit des QNG

Die KfW-Programme bilden das Fundament der **Investitionsförderung** und fokussieren auf höchste Energieeffizienz im Neubau und bei der Komplettsanierung.

Neubauförderung: Klimafreundlicher Neubau (KFN) – KfW 297/298/300: 🏠

Die KfW-Neubauförderung (Programme 297, 298 und 300 – Klimafreundlicher Neubau, KFN) hat den alten Effizienzhaus-Standard ersetzt und ist strenger geworden. Sie fokussiert auf die Reduktion der CO₂-Emissionen im gesamten Lebenszyklus (Graue Energie).

1. **Basis-KFN (Kredit):** Gefordert ist mindestens der Standard **EH 40** (geringer Primärenergiebedarf) und die **Nutzung von 100 % erneuerbarer Energien** für Wärme/Kälte. Zudem muss auf fossile Brennstoffe und Biomasse (Heizung) verzichtet werden.
2. **KFN mit QNG (Kredit mit niedrigerem Zinssatz):** Die höchste Stufe erfordert zusätzlich das **Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG)**. Das Siegel verlangt einen **Nachweis der geringen Treibhausgasemissionen** über den Lebenszyklus (LCA) und hohe Anforderungen an die **Wohngesundheit** (Kap. 4.2). Die Einhaltung des QNG wird mit den **besten Zinssätzen** belohnt.

Sanierungsförderung – KfW 261 (Kredit mit Tilgungszuschuss): 🛠️

Die Programme KfW 261/262 dienen der Komplettsanierung zum Effizienzhaus (EH). Der zentrale finanzielle Anreiz ist der Tilgungszuschuss:

- Je besser die erreichte Effizienzhaus-Stufe (z.B. EH 55 statt EH 85), desto **höher** ist der Tilgungszuschuss (aktuell bis zu 25 % der Kreditsumme).
- Ein **iSFP-Bonus** von 5 Prozentpunkten wird gewährt, wenn die Sanierung innerhalb von 15 Jahren gemäß dem individuellen Sanierungsfahrplan (iSFP) durchgeführt wird.

Der **Tilgungszuschuss** ist faktisch ein nicht rückzahlbarer Zuschuss, der die Kreditsumme reduziert und somit die **Amortisationszeit** der Sanierung stark verkürzt. Er macht die Sanierung zum hohen Effizienzstandard wirtschaftlich erst wirklich attraktiv.

Beispiel: Finanzierung einer Komplettsanierung mit Tilgungszuschuss 💰

Ein Eigentümer saniert sein Haus von unsaniert auf **Effizienzhaus 55 (EH 55)** gemäß iSFP.

- **Kreditbedarf:** 100.000 € über KfW 261.
- **Tilgungszuschuss EH 55:** Angenommen 20 % der Kreditsumme, plus 5 % iSFP-Bonus.
- **Gesamt-Zuschuss:** 25.000 € (25 % von 100.000 €).
- **Ergebnis:** Der Eigentümer muss nur 75.000 € zurückzahlen. Zusätzlich profitiert er von den **niedrigen Zinssätzen** der KfW und den stark gesenkten Energiekosten.

6.3 BAFA-Förderungen – Zuschüsse für Einzelmaßnahmen

Vertiefung: Heizungstausch als Förderschwerpunkt, iSFP-Bonus und Kumulierungsgrenzen

Das BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) ist der Ansprechpartner für **Einzelmaßnahmen** und agiert mit **direkten Zuschüssen**, die sofort Liquidität schaffen.

Fokus Heizungsaustausch: 🔥

Der stärkste Förderanreiz liegt auf dem Austausch alter, fossiler Heizungen (Öl, Gas, Kohle) gegen Anlagen auf Basis erneuerbarer Energien.

- **Basis-Förderung:** Für Wärmepumpen, Biomasseheizungen oder EE-Hybridheizungen gibt es eine Grundförderung (derzeit 25–30 %).
- **Klima-Boni:** Ein **Geschwindigkeits-Bonus** wird gewährt, wenn besonders alte, ineffiziente oder fossile Heizungen zeitnah ausgetauscht werden.
- **Emissions-Bonus:** Für Biomasseheizungen (z.B. Pelletkessel), die besonders emissionsarm sind.
- **iSFP-Bonus:** Ein **zusätzlicher Bonus** von 5 Prozentpunkten, wenn die Maßnahme Teil eines individuellen Sanierungsfahrplans ist.

Die maximalen Fördersätze können bei einem Heizungstausch bis zu 70 % der förderfähigen Kosten betragen, wobei eine **Obergrenze** von 30.000 € für die förderfähigen Ausgaben (bei selbstgenutztem Wohneigentum) beachtet werden muss.

Förderung der Gebäudehülle und Anlagentechnik:

Auch Einzelmaßnahmen zur Verbesserung der Gebäudehülle (Dämmung, Fenster) und der Anlagentechnik (KWL mit Wärmerückgewinnung, digitaler Energiemanager) werden durch direkte BAFA-Zuschüsse unterstützt (aktuell bis zu 15–20 % der Kosten, mit iSFP-Bonus).

Kumulierung und Abgrenzung:

Der große Vorteil der BAFA-Zuschüsse ist die Kombinierbarkeit mit KfW-Krediten (Kap. 6.5). Allerdings gilt das Verbot der Doppelförderung: Dieselben Kosten dürfen nicht doppelt angesetzt werden. Wenn beispielsweise die Wärmepumpe über das BAFA gefördert wird, darf sie nicht gleichzeitig im KfW-Kredit als förderfähige Ausgabe aufgeführt werden. Der EEE muss die Kosten in der Bilanz klar voneinander abgrenzen.

Beispiel: Maximale BAFA-Zuschüsse für einen Heizungstausch

Ein Eigenheimbesitzer mit einer 30 Jahre alten Gasheizung (Bestandsanlage) ersetzt diese durch eine **Sole-Wasser-Wärmepumpe**. Die Investitionskosten betragen 40.000 €.

1. **Basis-Förderung:** 30 % der förderfähigen Kosten (max. 30.000 €).
 2. **Klima-Bonus (Heizungstausch):** Angenommen 20 % (bei Austausch der alten Gasheizung).
 3. **iSFP-Bonus:** 5 % (da iSFP vorliegt).
- **Gesamtfördersatz:** 30 % + 20 % + 5 % = **55 %** (da die Obergrenze von 70% nicht überschritten wird).
 - **Auszahlung:** 55 % von 30.000 € (Obergrenze) = **16.500 € direkter Zuschuss**.

6.4 Landes- und Kommunalförderung

Vertiefung: Regionaler Schwerpunkt, Komplementärfunktion und Kumulierungshürden

Zusätzlich zu den Bundesprogrammen bieten die 16 Bundesländer und zahlreiche Kommunen eigene Förderprogramme an, die sich oft durch eine höhere Flexibilität und einen **regionalen Fokus** auszeichnen.

Komplementäre Förderfunktion: 

Die Landesprogramme, die meist über die Landesförderbanken (z.B. NRW.BANK, L-Bank, ISB) abgewickelt werden, verfolgen oft zwei Hauptziele:

1. **Zuschuss-Ergänzung:** Sie gewähren zusätzliche, oft geringere Zuschüsse für Maßnahmen, die auf Bundesebene nicht oder nur unzureichend gefördert werden (z.B. Dachbegrünung, Zisternen, PV-Speicher).
2. **Einkommensabhängige Förderung:** Viele Länderprogramme bieten eine einkommens- und kinderabhängige Wohnraumförderung, die die Finanzierung für Familien mit geringerem Einkommen zusätzlich verbilligt (z.B. durch zusätzliche Tilgungszuschüsse oder zinsverbilligte Darlehen).

Regionale Schwerpunkte:

Die regionalen Programme können sehr spezifisch sein:

- **Städte mit hohem Starkregenrisiko** fördern oft verstärkt die Entsiegelung und den Bau von Retentionsanlagen.
- **Kommunen mit Solarpflicht** (z.B. in Baden-Württemberg und Berlin) bieten oft PV-Zuschüsse für Mieterstrommodelle oder Balkonkraftwerke an, um die Akzeptanz zu erhöhen.

Kumulierung mit Vorsicht:

Die Kumulierung von Landes- und Bundesförderungen ist meistens erlaubt, jedoch muss die Summe der öffentlichen Förderung (Bund + Land + Kommune) die Höhe der förderfähigen Kosten nicht überschreiten (häufig auch nicht mehr als 60–70 % der Gesamtkosten). Die genauen Kumulierungshürden sind oft komplex und müssen in den jeweiligen Förderrichtlinien geprüft werden. Eine frühzeitige Abstimmung mit der Landesbank ist ratsam.

Beispiel: Zusätzliche Förderung durch die Kommune

Eine Familie in Köln (NRW) plant die Installation einer PV-Anlage mit Speicher.

1. **Bundesförderung:** Die PV-Anlage wird nicht direkt gefördert (KfN nur über Gesamteffizienz), der Speicher nur indirekt. Die Familie beantragt den **BAFA-Zuschuss** für die **Wärmepumpe**.
2. **Landesförderung (NRW.BANK):** Die Familie nutzt ein **zinsgünstiges Wohnraumförderdarlehen** der NRW.BANK, das über die Hausbank beantragt wird.
3. **Kommunalförderung (Stadt Köln):** Die Stadt Köln bietet ein **Zuschussprogramm für PV-Batteriespeicher** und **Dachbegrünung** an, um lokale Klimaziele zu erreichen.

Die Familie kombiniert den BAFA-Zuschuss (Heizung) mit dem günstigen NRW.BANK-Darlehen (Gesamtfinanzierung) und den lokalen Zuschüssen (Speicher/Dachbegrünung). Dadurch werden Kosten gefördert, die auf Bundesebene gar nicht oder nur über Umwege berücksichtigt worden wären.

6.5 Fördermittel kombinieren und optimal nutzen

Vertiefung: Das Anti-Doppelförderungsprinzip, der "iSFP-Katalysator" und die Digitale Antragstellung

Die Kunst der Förderlandschaft liegt in der **strategischen Kumulierung** von Zuschüssen und Krediten, ohne das strikte **Anti-Doppelförderungsprinzip** zu verletzen.

Strategische Kumulierung:

Die Kombination funktioniert am besten, wenn BAFA-Zuschüsse für Einzelmaßnahmen (z.B. Heizung) mit KfW-Krediten für die Komplettsanierung der Hülle kombiniert werden.

- **Beispiel (Sanierung):** KfW 261 (Kredit mit Tilgungszuschuss für Hülle/Dämmung/Fenster) + BAFA-Zuschuss (Heizungstausch) + Landesförderung (PV-Speicher).
- **Das Anti-Doppelförderungsprinzip:** Es verbietet, dass die Kosten einer Wärmepumpe, für die ein BAFA-Zuschuss gezahlt wird, gleichzeitig in die Berechnung der förderfähigen Kosten für den KfW-Kredit einfließen. Die Kosten müssen sauber getrennt werden.

Der iSFP-Katalysator:

Der Individuelle Sanierungsfahrplan (iSFP) fungiert als Katalysator für die gesamte Förderlandschaft:

1. **Pflicht-Voraussetzung:** Der iSFP ist Voraussetzung für den **BAFA-Bonus** von 5 Prozentpunkten.
2. **Planungsinstrument:** Er strukturiert die Sanierung so, dass die spätere Erreichung der EH-Stufe (KfW) garantiert wird, was Bauschäden und Fehlinvestitionen vermeidet.
3. **Förderfähigkeit der Beratung:** Die Erstellung des iSFP selbst ist mit bis zu 80 % durch das BAFA förderfähig.

Digitale Antragstellung und Fachbegleitung:

Der gesamte Antragsprozess wird zunehmend digital abgewickelt (z.B. über die Kundenportale der KfW und des BAFA). Die frühzeitige Einbindung eines zertifizierten EEE ist die beste Versicherung gegen Formfehler und die einzige Möglichkeit, die hohen Boni (iSFP-Bonus, Klima-Bonus) in Anspruch

zu nehmen. Der EEE stellt sicher, dass alle technischen Mindestanforderungen korrekt eingehalten und nachgewiesen werden.

Beispiel: Der perfekte Fördermittel-Mix

Ein Rentnerpaar (geringes Einkommen) plant die Sanierung ihres 1965er Hauses.

1. **Start:** BAFA-Zuschuss für die **iSFP-Erstellung** (80 % Förderung der Beratungskosten).
2. **Maßnahme 1 (Heizung):** **BAFA-Zuschuss** für den Einbau einer Wärmepumpe (50 % Basis + 5 % iSFP-Bonus).
3. **Maßnahme 2 (Hülle):** **KfW 261 Kredit** für die Fassaden- und Dachdämmung, um das **EH 70-Niveau** zu erreichen (hoher Tilgungszuschuss).
4. **Zusatz (Land):** **Landesförderung** (z.B. ISB) für die Installation einer barrierefreien Dusche im Rahmen der Sanierung.

Der EEE rechnet alle Kosten sauber auseinander und maximiert so die staatliche Unterstützung aus drei verschiedenen Töpfen, was die Nettoinvestition erheblich reduziert.

6.6 Fazit: Förderung als Teil des Gesamtkonzepts

Vertiefung: Langfristige Kapitalerträge, Politischer Rückenwind und die Rolle der Amortisation

Die staatliche Förderung ist kein Almosen, sondern ein **politisches Steuerungsinstrument**, um die notwendige **Investition in die Energieeffizienz** (besonders im Gebäudebestand) zu beschleunigen. Sie ist integraler Bestandteil der **Wirtschaftlichkeitsberechnung** jedes nachhaltigen Projekts.

Förderung als Kapitalertrag:

Die Förderung muss als Teil des Kapitalertrags gesehen werden. Ein hoher Tilgungszuschuss oder ein direkter Zuschuss reduziert die Investition sofort, während die gesenkten Energiekosten über die Laufzeit der Immobilie einen langfristigen, inflationsgeschützten Cashflow-Vorteil bieten. Dies führt zu

einer schnellen Amortisation der Mehrkosten für Dämmung, PV und WP, oft schon nach 8 bis 15 Jahren (Kap. 3.5).

Politischer und Regulatorischer Rückenwind:

Die Förderlandschaft signalisiert einen klaren politischen Trend: fossile Systeme werden teurer (CO₂-Bepreisung), erneuerbare Systeme werden subventioniert. Bauherren, die heute die hohen Förderstandards (EH 40, QNG) erreichen, bauen regulatorisch resilient und müssen keine Angst vor zukünftigen, strengeren gesetzlichen Anforderungen haben.

Langfristiger Immobilienwert (Green Value):

Die Inanspruchnahme von Förderungen und das Erreichen hoher Effizienzstandards erhöhen den Green Value der Immobilie (Kap. 4.5). Zertifizierte und energieeffiziente Gebäude sind am Markt gefragter, haben einen besseren Energieausweis (A- oder B-Klasse) und erzielen höhere Wiederverkaufspreise, da die Käufer von den geringen Betriebskosten profitieren.

Das Fazit lautet: Wer nachhaltig plant, profitiert dreifach – ökologisch (CO₂-Reduktion), wirtschaftlich (geringe Betriebskosten und Förderung) und durch eine höhere **Zukunftssicherheit** der Immobilie.

Beispiel: Verhältnis Investition, Förderung und Amortisation

Ein Neubau eines EH 40 Hauses (Gesamtinvestition 400.000 €, Mehrkosten für Effizienz: 40.000 €).

1. **Investition:** 400.000 €.
2. **Förderung (KFN):** 150.000 € Kredit zu Zinsen deutlich unter Marktniveau. Angenommen Zinseinsparung über 10 Jahre: 15.000 €.
3. **Betriebskosten-Ersparnis:** Durch den geringen Verbrauch sparen die Eigentümer 1.500 € pro Jahr gegenüber einem GEG-Standardhaus.
4. **Amortisation:** Die Mehrkosten von 40.000 € werden durch die Zinseinsparung (15.000 €) und die kumulierte Energieeinsparung (25 Jahre 1.500 €/Jahr) **bei weitem übertroffen**.

Die Förderung macht die nachhaltige Investition nicht nur tragbar, sondern über die Lebensdauer des Hauses **hochrentabel**.

Kapitel 7 – Moderne und zukünftige Heizmethoden und Energiegewinnungskonzepte für Wohnhäuser

7.1 Heizen mit Wasserstoff und Brennstoffzellen

Vertiefung: Effizienzanalyse, Infrastruktur-Herausforderung und Methanol als Wasserstoffträger

Das Heizen mit **Wasserstoff (H^2)** ist ein strategischer Ansatz, um die Wärmewende für Gebäude zu ermöglichen, die heute am Gasnetz hängen und für die eine Umstellung auf eine Wärmepumpe (WP) aufgrund baulicher Gegebenheiten (z.B. mangelnde Dämmung, Denkmalschutz, zu hohe Vorlauftemperaturen) schwierig ist. Zwei Technologien stehen im Fokus: die **Wasserstoff-Brennwerttherme** und die **Brennstoffzellen-Heizung (KWK)**.

H_2 -Brennwertthermen – Direkte H^2 -Nutzung:

Der Vorteil der H^2 -Brennwerttherme ist die technische Kompatibilität mit der bestehenden Gasinfrastruktur. Pilotprojekte wie "H2Direkt" in Hohenwart zeigen, dass eine Umrüstung der Heizkessel schnell und mit geringen Anpassungen am Gasnetz möglich ist. Die Emissionen bestehen nur aus Wasserdampf, was die direkte CO_2 -Freiheit garantiert. Der Innovationsgrad liegt hier in der Kesseltechnologie, da neue Brenner- und Sicherheitssysteme für reinen H^2 -Betrieb notwendig sind. Allerdings ist der Wirkungsgrad des Gesamtsystems (von Stromerzeugung H^2 -Erzeugung H^2 -Transport Wärme im Kessel) vergleichsweise niedrig, da bei jedem Umwandlungsschritt Energie verloren geht. Direktelektrische Lösungen (WP) sind in der Regel energieeffizienter.

Brennstoffzellen (SOFC) – Kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung:

Brennstoffzellen-Heizungen arbeiten nach dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK): Sie erzeugen aus H^2 (oder Erdgas, Biomethan) Strom und nutzen die dabei entstehende Abwärme zum Heizen. Der elektrische Wirkungsgrad ist dabei höher als bei der Verbrennung. Deutsche

Forschungseinrichtungen wie das Forschungszentrum Jülich treiben die Entwicklung langlebiger Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC) voran, die über 10 Jahre stabil laufen. Die Entwicklung des reversiblen Brennstoffzellen/Elektrolyseur-Prototyps in Jülich stellt einen visionären Ansatz zur saisonalen Energiespeicherung im Gebäude dar, da das Gerät je nach Bedarf H^2 speichern oder freisetzen kann.

Herausforderung Infrastruktur und Methanol als Träger:

Der Potenzial für den Praxiseinsatz hängt primär von der Verfügbarkeit von grünem H^2 ab. Bis heute ist grüner H^2 teuer und seine Verteilungsinfrastruktur muss erst aufgebaut werden. Alternative Ansätze nutzen leicht lagerbare H^2 Träger, wie im deutschen Projekt zur Methanol-Brennstoffzelle. Methanol ($CH^2 OH$) ist flüssig, leichter zu transportieren und kann in der Brennstoffzelle in H^2 umgewandelt werden, um Strom und Wärme zu erzeugen. Solche Entwicklungen (Reifegrad: Entwicklung/Demonstration) sind vielversprechend für die dezentrale Versorgung von Einzelgebäuden.

Beispiel: ** H^2 Brennwertkessel in der Altbau-Umrüstung** 

In der bayerischen Pilotgemeinde **Hohenwart** werden **Bestandsgebäude** (Altbauten, oft ohne vollständige Außendämmung) im Rahmen des Projekts "H2Direkt" auf reinen Wasserstoffbetrieb umgestellt.

- **Ausgangssituation:** Die Häuser werden mit Erdgas befeuert. Eine Umstellung auf WP ist aufgrund der notwendigen **hohen Vorlauftemperaturen** der alten Heizkörper und fehlender Dämmung ineffizient oder zu teuer.
- **Umrüstung:** Die bestehenden Gaskessel werden durch **Vaillant-Prototypen** (100% H^2 Brennwertthermen) ersetzt. Die Umrüstung dauerte pro Haus nur wenige Stunden.
- **Ergebnis:** Die Häuser heizen weiterhin über das bestehende Heizsystem (Heizkörper), nutzen aber einen klimaneutralen Brennstoff (H^2). Die **technische Machbarkeit** der schnellen Umstellung im Bestand ist somit bewiesen, was das Potenzial für eine **Dekarbonisierung von Millionen Altbauten** ohne massive Sanierungsmaßnahmen aufzeigt.

7.2 Energiezisterne: Heizen mit Regenwasser

Vertiefung: Thermodynamik, Klimaresilienz und die Kopplung mit der Wärmepumpe

Das Konzept der **Energiezisterne** ist ein hochgradig innovativer, deutscher Forschungsansatz, der die Herausforderungen der **Wärmewende** und der **Klimaanpassung** (Starkregen, Dürre) im urbanen Raum gleichzeitig adressiert.

Funktionsweise und Thermodynamik:

Die Energiezisterne ist ein integriertes System aus Regenwasserspeicher und geothermischem Wärmequellensystem. Das gespeicherte Regenwasser und das umgebende Erdreich dienen als thermischer Puffer für eine Wärmepumpe. Der entscheidende thermodynamische Vorteil liegt in der Nutzung der Kristallisationswärme des Wassers. Beim Gefrieren von Wasser (0 grad C flüssig zu 0 grad C fest) wird eine große Menge an Energie freigesetzt (ca. 83 kWh pro m³), die die Wärmepumpe nutzen kann. Im Sommer regeneriert sich der Speicher passiv durch die erneute Wasserzufuhr (Regen) und die Wärme des umgebenden Erdreichs.

Klimaresilienz und Doppelfunktion:

Der Innovationsgrad liegt in der Doppelfunktion:

1. **Wärmeversorgung:** Erschließung einer oberflächennahen, platzsparenden Wärmequelle für Wärmepumpen, ideal für **dicht bebaute Gebiete**, in denen herkömmliche Erdwärmekollektoren oder Sondenbohrungen nicht möglich sind.
2. **Wasserwirtschaft:** Die Zisterne dient der **Regenwassernutzung** (Garten, WC) und dem **Starkregenschutz** (Entlastung der Kanalisation durch Pufferung). Durch ein integriertes Versickerungselement wird zudem die **Grundwasserneubildung** gefördert.

Das Konzept, entwickelt von der **Consolinno Energy** im Rahmen eines **ZIM-Forschungsprojekts**, erhöht zudem die **Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Bodens**, da feuchter Boden ein besserer Wärmeleiter ist. Der aktuelle **Reifegrad** ist das **Prototypen-Niveau**; die technische Funktion ist

in Simulationen und ersten Feldtests nachgewiesen, aber die wirtschaftliche Skalierung steht noch aus.

Beispiel: Einsatz der Energiezisterne im dicht besiedelten Neubaugebiet

In einem Neubaugebiet mit kleinen Grundstücken und **kommunalen Auflagen** zur Regenwasserbewirtschaftung soll jedes Haus eine Wärmepumpe erhalten.

- **Problem:** Herkömmliche Erdwärmekollektoren benötigen zu viel Fläche; Luft-Wasser-Wärmepumpen (WP) sind in dicht bebauten Gebieten lautstark.
- **Lösung:** Die Installation einer **Energiezisterne** (10 m³ Tankvolumen) im Garten.
- **Vorteil 1 (Heizung):** Die Zisterne liefert der WP eine stabilere Quelltemperatur als die Außenluft, was die **Jahresarbeitszahl (JAZ) der WP verbessert**. Die Nutzung der Kristallisationswärme gewährleistet die Funktion auch an kalten Wintertagen.
- **Vorteil 2 (Klimaanpassung):** Die Zisterne reduziert die versiegelte Fläche und erfüllt die **kommunalen Auflagen** zur dezentralen Regenwasserversickerung. Die Baukosten des einen kombinierten Systems sind effizienter als zwei separate Systeme (Zisterne + separate Wärmequelle).

7.3 Solardachpfannen und gebäudeintegrierte Photovoltaik

Vertiefung: Hybrid-PV-T-Systeme, Ästhetische Akzeptanz und Flächeneffizienz

Die **gebäudeintegrierte Photovoltaik (GIPV)**, insbesondere in Form von **Solardachpfannen** oder **Solar-Dachziegeln**, adressiert die wachsende Nachfrage nach **ästhetisch ansprechenden** und multifunktionalen Solarlösungen, gerade dort, wo konventionelle Aufdach-Module aus gestalterischen oder baurechtlichen Gründen (Denkmalschutz) ausscheiden.

Innovation durch Integration und Ästhetik:

Der Innovationsgrad liegt nicht nur in der Miniaturisierung der PV-Zellen, sondern vor allem in der nahezu unsichtbaren Integration in die Dachhaut (Gleiche Form, Farbe und Material wie klassische Ziegel). Deutsche Forschungsprojekte wie die der TH Köln und der Uni Stuttgart (Projekt EnQM) haben gezeigt, dass moderne Solarziegel eine vergleichbare elektrische Leistung wie Aufdach-Module erreichen können, was ein Problem früherer Generationen war.

Hybrid-PV-T-Systeme (Photovoltaik-Thermische Kopplung):

Die größte Innovation sind die Hybrid-Solardachpfannen (PV-T). Diese erzeugen nicht nur Strom (PV), sondern nutzen auch die unvermeidbare Abwärme der PV-Zellen zur thermischen Energiegewinnung (T). Die TH Köln entwickelte einen Prototyp, der:

1. Die PV-Zellen durch einen **Luftkanal** kühlt, um den **elektrischen Wirkungsgrad** zu erhalten (PV-Zellen arbeiten bei Kälte effizienter).
2. Die dabei **erwärmte Luft** einer **Luft-Wasser-Wärmepumpe als vorgewärmte Quelle** zuführt.

Dieser Ansatz steigert die **Leistungszahl (COP)** der Wärmepumpe um bis zu 25 % und macht das Dach zum **Multi-Energie-Lieferanten**.

Marktreife und Potenzial:

Der Reifegrad ist als fortgeschrittenes Demonstrationsstadium einzustufen. Einige Systeme sind bereits kommerziell verfügbar (z.B. Autarq, Tesla Solar Roof). Das Potenzial ist hoch, insbesondere im Neubau oder bei Dachsanierungen, wo der Mehrpreis gegenüber der gleichzeitigen Einsparung der Dacheindeckungskosten relativiert wird. Für Denkmalschutz-Immobilien sind sie oft die einzige genehmigungsfähige Lösung zur Erschließung von Solarenergie.

Beispiel: Installation von Hybrid-Solardachpfannen auf einer Denkmal-Immobilie

Ein historisches Gebäude in einem Altstadtkern steht unter Denkmalschutz; konventionelle PV-Anlagen sind verboten.

- **Problem:** Das Gebäude hat hohe Energiekosten und kann keine herkömmliche Solartechnik nutzen.
- **Lösung:** Die Eindeckung des Daches erfolgt mit **dunkelgrauen Solardachpfannen**, die die historische Ziegeloptik imitieren (Entwicklung der Uni Stuttgart).
- **Funktion:** Die Pfannen erzeugen **Strom** und nutzen die darunter entstehende **Warmluft** als **Wärmequelle** für die installierte Wärmepumpe.
- **Ergebnis:** Die **ästhetischen Anforderungen** des Denkmalschutzes werden erfüllt, während das Gebäude zum **aktiven Strom- und Wärmeerzeuger** wird. Die anfänglich höheren Kosten der Solardachpfannen werden durch die **Förderfähigkeit** des integrierten Systems und die Einnahmen aus der Energieerzeugung kompensiert.

7.4 Sektorkopplung im Haushalt: PV + Speicher + Wärmepumpe + HEMS

Vertiefung: Standardisierung, Netzdienlichkeit und die Rolle der §14a-Steuerung

Die **Sektorkopplung** im Einfamilienhaus ist das heute am weitesten verbreitete Konzept unter den Zukunftstechnologien. Der **Innovationsgrad** liegt hier in der **intelligenten Systemintegration** aller Komponenten durch das **Home Energy Management System (HEMS)**.

HEMS und die Steuerung der Flexibilität:

Das HEMS ist die zentrale Schaltstelle (Kap. 5.1). Es sorgt für die wirtschaftlich optimale Priorisierung der Eigenstromnutzung: Basislast - Speicher - thermische Speicher (WP/Heizstab) - Mobilität - Netz (Kap. 5.3). Die Forschung (z.B. TU München, HTW Berlin) konzentriert sich darauf, die Algorithmen zur Prognose von Ertrag und Bedarf zu optimieren, um die Eigenverbrauchsquote (Ziel: 70-80%) maximal zu steigern.

Standardisierung und Interoperabilität:

Der Reifegrad der Einzelkomponenten ist hoch (marktreif). Die Herausforderung liegt in der Interoperabilität zwischen den Geräten verschiedener Hersteller. Deutsche Initiativen wie der EEBus-Standard

zielen darauf ab, eine einheitliche Kommunikationssprache zu schaffen, damit HEMS-Systeme alle Verbraucher (WP, Wallbox) effizient ansteuern können.

Netzdienlichkeit und § 14a EnWG:

Ein entscheidender Treiber für die smarte Steuerung ist die geplante Gesetzgebung in Deutschland (§ 14a EnWG). Diese erlaubt es Netzbetreibern, die Leistung von großen, steuerbaren Verbrauchern wie Wärmepumpen und E-Auto-Wallboxen in Zeiten hoher Netzbelastung (Lastspitzen) kurzfristig zu drosseln (Abregeln).

- **Vorteil:** Die HEMS-Steuerung kann dem Netzbetreiber **Flexibilität** anbieten und im Gegenzug **vergünstigte Stromtarife** für die Hausbesitzer erhalten.
- **Potenzial:** Die millionenfache Vernetzung solcher Prosumer-Haushalte bildet die Grundlage für ein stabiles, dezentrales **Smart Grid** (Kap. 5.7).

Das **Potenzial für den Praxiseinsatz** ist **sehr hoch** – die Sektorkopplung ist bereits in vielen Neubauten Realität.

Beispiel: Dynamische Lastverschiebung im HEMS mit Wallbox 🚗⚡

Ein Haushalt mit PV (10 kWp), Speicher und E-Auto möchte maximale Autarkie. Die Wallbox ist **Smart-Grid-Ready** und über das HEMS steuerbar.

- **Status 1:** Es ist 14:00 Uhr, die PV-Anlage liefert 7 kW, der Speicher ist voll. Das HEMS hat 4 kW Überschuss zur freien Verfügung.
- **Aktion des HEMS:** Das HEMS startet das Laden des E-Autos mit **dynamisch 4 kW**.
- **Status 2:** Eine Wolke zieht auf, der PV-Ertrag fällt auf 2 kW.
- **HEMS-Reaktion:** Das HEMS **drosselt die Wallbox** sofort auf 2 kW und verhindert so den Bezug von Netzstrom.
- **Status 3 (Netzdienlich):** Es ist 19:00 Uhr, die Sonne scheint nicht. Der Netzbetreiber signalisiert eine Netzüberlastung. Das HEMS **unterbricht den Ladevorgang** (oder drosselt ihn auf 0,1 kW), auch wenn das Auto noch geladen werden müsste, um das Netz zu entlasten.

Das HEMS sorgt so für eine **optimale Eigenverbrauchsquote** und erfüllt gleichzeitig die Anforderungen an die **Netzstabilität**.

7.5 Weitere zukunftsweisende Technologien

Vertiefung: Eisspeicher, Thermochemie und Abwärmenutzung im Detail

Neben den dominierenden Konzepten gibt es eine Reihe weiterer vielversprechender Technologien, die spezifische Nischen bedienen oder langfristig das Problem der **saisonalen Speicherung** lösen könnten.

Eisspeicher-Heizungen: ❄️

Konzept: Nutzen die Kristallisationswärme von Wasser, die beim Phasenwechsel von flüssig zu fest bei 0 grad C freigesetzt wird (83 kWh / m³). Eine Wärmepumpe entzieht dem Wassertank (typisch 10 m³ für ein EFH) im Winter Wärme, wodurch das Wasser allmählich zu Eis gefriert. Im Sommer regeneriert sich der Tank durch Solarabsorber oder Außenluft.

Vorteil: Kombination von Heizen und Kühlen. Im Sommer kann das kalte Eiswasser direkt zur sanften Gebäudekühlung (Passive Cooling) genutzt werden. Die Systeme deutscher Hersteller (z.B. Viessmann) sind kommerziell verfügbar.

Potenzial: Hohe Akzeptanz bei Neubauten mit ausreichend Gartenfläche als Alternative zur geothermischen Bohrung.

Thermochemische Wärmespeicher (Salzhydrate): 🧴

Konzept: Speicherung von Wärme in chemischen Bindungen (z.B. durch Trocknung von Salzhydraten). Beim späteren Hinzufügen von Wasser (Hydratisierung) wird die gespeicherte Wärme wieder freigesetzt.

Innovationsgrad: Sehr hoch. Salzhydrate haben eine deutlich höhere Energiedichte als Wasser, was die Speicherung von Sommerwärme für den Winter auf kleinstem Raum ermöglichen würde (saisonale Speicherung).

Reifegrad: Experimentell/Laborstadium (Forschung durch ZAE Bayern, Fraunhofer). Herausforderungen sind die Stabilität der Zyklen und die Kosten.

Potenzial: Langfristige Lösung für die ganzjährige, CO₂-freie Wärmeversorgung von Häusern.

Abwasser- und Umweltwärmenutzung (Aquathermie): 💧

Konzept: Nutzung unkonventioneller Wärmequellen für Wärmepumpen.

- **Abwasserwärme:** Wärmetauscher in Kanälen (Quartiersebene) oder im Hausabfluss (Einzelhaus) nutzen die konstante Wärme des Abwassers.
- **Aquathermie:** Nutzung der Wärme aus Oberflächengewässern (Flüssen, Seen).

Reifegrad: Im kommunalen Bereich (Nahwärmenetze) bereits im Einsatz (z.B. TU Braunschweig). Für Einzelhäuser sind dies Nischenlösungen.

Potenzial: Geringe Temperaturschwankungen und konstante Verfügbarkeit der Wärmequelle erhöhen die JAZ der Wärmepumpen.

Weiterentwicklungen der Wärmepumpentechnik:

- **Hochtemperatur-Wärmepumpen (HT-WP):** Erzeugen Vorlauftemperaturen bis 70-80 grad C (Forschung Fraunhofer ISE), wodurch sie auch in **unsanierten Altbauten** mit alten Heizkörpern effizient eingesetzt werden können.
- **Natürliche Kältemittel (Propan):** Ersetzen umweltschädliche F-Gase.

Diese Entwicklungen sind **evolutionär**, aber **essenziell** für die breite Akzeptanz der Wärmepumpe im Bestand.

Beispiel: Eisspeicher zur gleichzeitigen Heizung und Kühlung im EFH



Ein Neubau in Süddeutschland möchte auf eine teure Erdwärmepumpenbohrung verzichten, aber Erdwärme nutzen und eine integrierte Kühlmöglichkeit haben.

- **Installation:** Ein Eisspeicher 10 m³) wird im Garten vergraben, kombiniert mit Solar-Luft-Absorbern auf dem Dach.
- **Winter:** Die Wärmepumpe entzieht dem Wasser Wärme, wodurch Eis entsteht. Die Absorber fangen zusätzlich Wärme ein, um den Entzug zu unterstützen.
- **Sommer:** Die Solar-Luft-Absorber schmelzen das Eis und erwärmen das Wasser für den nächsten Winter. Das kalte Wasser (10 grad C) aus dem Speicher wird direkt durch die Fußbodenheizung geleitet (**Passive Cooling**), um das Haus ohne Kompressorbetrieb sanft zu kühlen.
- **Vorteil:** Die Investition ermöglicht Heizen, Kühlen und Warmwasserbereitung mit einer einzigen, effizienten WP und reduziert die Betriebskosten der Kühlung auf ein Minimum.

7.6 Forschungseinrichtungen, Akteure und Ausblick

Vertiefung: Innovationsförderung, Internationale Vergleichbarkeit und das Zukunfts-Portfolio

Die Vielfalt der Innovationen basiert auf einem starken Netzwerk von **Forschungsinstitutionen, Industrie und staatlicher Förderung** in Deutschland. Die Forschung reicht von Grundlagenstudien bis hin zu praxisnahen **Reallaboren**.

Führende Deutsche Forschungsinstitutionen: DE

- **Fraunhofer-ISE (Freiburg):** Führend in der Entwicklung von PV-Technologie, Plusenergiehäusern und hocheffizienten WP (z.B. Propan-WP). Sie liefern die technischen Baupläne für die Umsetzung.
- **Forschungszentrum Jülich:** Spezialisiert auf **Wasserstoff** und **Brennstoffzellen** (SOFC, reversible Elektrolyseure), was die langfristige Technologieentwicklung sichert.

- **TH Köln / Uni Stuttgart:** Fokus auf die angewandte Forschung im Bereich **Gebäudeintegration** (Solardachziegel, Solardachsteine) und **Energiemanagement** (HEMS-Strategien).
- **Fraunhofer-ISI (Karlsruhe):** Liefert **systemische Analysen** und Metastudien zur zukünftigen Rolle verschiedener Technologien im nationalen Energiemix (z.B. Prognosen zur H²-Nutzung).

Staatliche Innovationsförderung:

Programme wie ZIM (Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand) und die Reallabore der Energiewende (gefördert durch BMBF/BMWK) sind entscheidend, da sie auch experimentelle, risikoreiche Ansätze wie die Energiezisterne (ZIM-Projekt) oder neue HEMS-Strategien mitfinanzieren. Diese Programme stellen sicher, dass Innovationen den Schritt vom Labor in den Prototyp schaffen.

Ausblick – Ein Portfolio von Lösungen:

International zeigt sich, dass kein einzelnes "Patentrezept" existiert. In Skandinavien dominieren WP den Neubau, in Japan sind Brennstoffzellen weiter verbreitet. Deutschland setzt auf ein Technologie-offenes Portfolio:

- **Elektrifizierung (PV+WP):** Der Standard für Neubau und gut sanierte Bestandsgebäude (hoher Reifegrad).
- **Grüne Gase (H²/Biomethan):** Die Lösung für Altbauten mit geringem Sanierungsgrad (mittlerer Reifegrad, abhängig von Infrastruktur).
- **Saisonale Speicher:** Die langfristige Lösung für die vollständige Autarkie (niedriger Reifegrad, hohes Potenzial).

Die zukünftigen Häuser werden durch diese Forschung zu **aktiven, energieintelligenten Elementen** des dezentralen Netzes, die Energie erzeugen, speichern, verteilen und die CO²-Bilanz des gesamten Systems verbessern.

Beispiel: Erprobung reversibler Brennstoffzellen im Jülicher Labor 

Das **Forschungszentrum Jülich** entwickelt einen **reversiblen SOFC (Festoxid-Brennstoffzellen/Elektrolyseur)-Prototyp**.

- **Funktion:** Das Gerät kann in zwei Richtungen arbeiten:

1. **Elektrolyseur-Modus:** PV-Überschussstrom wird genutzt, um Wasser in H^2 und Sauerstoff zu spalten. Der H^2 wird gespeichert (saisonale Speicherung).
 2. **Brennstoffzellen-Modus:** Bei Bedarf (z.B. im Winter oder nachts) wird der gespeicherte H^2 genutzt, um **Strom und Wärme** für das Haus zu erzeugen.
- **Innovationsgrad:** Sehr hoch. Das Modul vereint Energieerzeugung und Langzeitspeicherung in einem kompakten Gerät.
 - **Potenzial:** Ermöglicht die **ganzjährige H^2 -basierte Autarkie** für ein Einfamilienhaus. Die Forschung ist noch im **Laborstadium**, aber demonstriert einen Weg zur Lösung des größten Problems der erneuerbaren Energien: der **saisonalen Speicherung**.

Zusammenfassung: Grundlagen, Technik und Zukunft nachhaltiger Bauvorhaben

Diese Zusammenfassung führt die Kernthemen aus den Kapiteln 1 bis 7 zusammen und beleuchtet die ganzheitlichen Aspekte, die für die Planung, Umsetzung und den Betrieb klimafreundlicher und zukunftsfähiger Gebäude in Deutschland entscheidend sind.

Kapitel 1: Grundlagen und Planung nachhaltiger Bauvorhaben

Das Fundament nachhaltigen Bauens ist die **durchdachte, integrale Planung** (Kap. 1.1). Der Gebäudesektor ist für rund **35 % des Energiebedarfs** verantwortlich, weshalb eine frühzeitige Weichenstellung für minimale Betriebskosten und CO²-Emissionen unerlässlich ist. Ziel ist nicht nur der Niedrigstenergie-Standard, sondern der **Plus-Energie-Standard**, bei dem Gebäude aktiv zur Energiewende beitragen.

Ein zentraler Fokus liegt auf der **Grauen Energie** (Kap. 1.2), also dem Energieaufwand für Herstellung, Transport und Entsorgung der Baustoffe. Bei modernen, gut gedämmten Gebäuden macht die Graue Energie oft **über 50 % des Gesamtenergieverbrauchs** über den Lebenszyklus aus. Die **Lebenszyklusanalyse (LCA)** und **Umwelt-Produktdeklarationen (EPDs)** sind notwendig, um Materialien mit geringem CO²-Fußabdruck (z.B. Holz, Lehm) zu bevorzugen.

Das **Lebenszyklusdenken** führt zur **Kreislaufwirtschaft (Circular Economy)** und zum **Cradle-to-Cradle (C2C)**-Prinzip (Kap. 1.3). Ziel ist die **Abfallvermeidung** und **Wiederverwendbarkeit** von Bauteilen (**Design for Disassembly**). Der **Materialpass** dient als digitales Inventar aller verbauten Rohstoffe und erhöht den Wert einer Immobilie als Rohstofflager der Zukunft.

Die **gesetzlichen Grundlagen** (Kap. 1.4) werden primär durch das **Gebäudeenergiegesetz (GEG)** und europäische Vorgaben wie die **EU-Taxonomie** und die **CSRD** (Corporate Sustainability Reporting Directive) definiert. Zertifizierungssysteme wie das staatliche **QNG-Siegel**

(Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude) und die **DGNB** gehen über die Mindestanforderungen hinaus und werden zum entscheidenden Faktor für die **Finanzierungsfähigkeit** (ESG-Kriterien).

Der **Energieausweis** (Kap. 1.5), insbesondere der **Bedarfsausweis**, ist das zentrale Transparenzinstrument zur Bewertung der Bausubstanz und dient als Basis für Sanierungsstrategien. Für den Bestand ist der **Individuelle Sanierungsfahrplan (iSFP)** (Kap. 1.6) das unverzichtbare Tool. Er strukturiert die Sanierung in aufeinander aufbauenden Schritten, verhindert Bauschäden und schaltet den lukrativen **iSFP-Bonus** von 5 Prozentpunkten auf BAFA-Zuschüsse frei.

Kapitel 2: Bautechnische Umsetzung: Materialien, Konstruktion und Dämmung

Die Wahl der **Baukonstruktion** (Kap. 2.1) beeinflusst die CO²-Bilanz und die bauphysikalische Performance. Der **Massivbau** punktet mit hoher **thermischer Masse** (Speicherkraft gegen Überhitzung), während der **Holzbau** (Holzrahmen oder CLT) durch seine **niedrige Graue Energie** und die CO²-Speicherfunktion ökologisch überzeugt. Der **Hybridbau** kombiniert die Stärken beider Systeme.

Die Auswahl des **Dämmstoffs** (Kap. 2.2) muss über den reinen U-Wert hinausgehen. **Natürliche Dämmstoffe** (Holzfaser, Zellulose) weisen durch ihre höhere **Phasenverschiebung** einen signifikanten Vorteil beim **sommerlichen Hitzeschutz** auf und sind zudem **diffusionsoffen**, was das Feuchtemanagement in der Wandkonstruktion erleichtert.

Speziallösungen (Kap. 2.3) sind für Alt- und Denkmalschutzbauten essenziell. Die **Innendämmung** erfordert den Einsatz **kapillaraktiver Materialien** (Kalziumsilikat, Lehmputze), um Tauwasserbildung und Schimmel zu verhindern. Konzepte wie der **Strohballenbau** bieten regionale, extrem ressourcenschonende und hochdämmende Alternativen.

Alle **Bauteile** (Kap. 2.4) sind integrale Bestandteile der effizienten Hülle. Bei Fenstern sind **Dreifachverglasung** und die **Warme Kante** Standard. Beim Dach und der Fassade ist die absolute **Luftdichtheit** (Kap. 2.5) die Grundvoraussetzung. Der **Blower-Door-Test** kontrolliert die Luftdichtheit und hilft, Leckagen zu identifizieren. **Wärmebrücken** an Anschlüssen (Fensterlaibungen, Balkonen) müssen durch sorgfältige Planung (geringer

Psi-Wert) eliminiert werden, da sie sonst zu Energieverlusten und Schimmel führen.

Die **Bauphysik** (Kap. 2.6) umfasst auch **Schallschutz** und **Behaglichkeit**. Der Schallschutz im Leichtbau wird durch das **Masse-Feder-Masse-Prinzip** (entkoppelte Aufbauten) gewährleistet. Für die Sicherheit ist der **Brandschutz** (Kap. 2.7) essenziell, wobei Massivholz durch seine **berechenbare Abbrandgeschwindigkeit** und **Verkapselung** hohe Feuerwiderstandsklassen erreicht.

Die **Ausrichtung** des Gebäudes (Kap. 2.8) zur passiven Energiegewinnung (Südfenster) ist die kostengünstigste Form der Effizienz. Abschließend vernetzt die **Smarte Gebäudeautomation (HEMS)** (Kap. 2.9) alle Komponenten zur optimierten Steuerung der Energieflüsse.

Kapitel 3: Energieversorgung und Haustechnik

Die moderne Energieversorgung basiert auf der **Elektrifizierung** des Wärmesektors und der lokalen **Eigenerzeugung**. Die **Photovoltaik (PV)** (Kap. 3.1) ist das Herzstück: In Kombination mit einem **Batteriespeicher** steigt der Eigenverbrauchsanteil des erzeugten Solarstroms von 30% auf bis zu 80%. Intelligente Steuerung (**HEMS**) ist dabei der Schlüssel, um den Strom dort zu nutzen, wo er am wertvollsten ist.

Bei der **Wärmeerzeugung** (Kap. 3.2) dominieren **Wärmepumpen (WP)**. Die Effizienz wird durch die **Jahresarbeitszahl (JAZ)** gemessen, die bei niedriger Vorlauftemperatur (Flächenheizungen) am höchsten ist. **Luft-Luft-Wärmepumpen** sind für die aktive Kühlung am effizientesten, da sie das Risiko der Taupunktunterschreitung vermeiden. Der **PV-gesteuerte Heizstab** im Warmwasserspeicher ist die einfachste und effektivste Form der **Power-to-Heat-Speicherung** von Solarstrom. **Carbonheizungen** dienen als schnell reagierende Spitzenlast-Ergänzung zur WP, ideal bei PV-Überschuss.

Die **Sektorkopplung** (Kap. 3.3) integriert **Strom, Wärme und Mobilität**. Das **HEMS** steuert die Prioritätenkette: Zuerst wird der Grundbedarf gedeckt, dann der Speicher geladen, danach das Warmwasser erhitzt und zuletzt das E-Auto über die Wallbox mit Solarstrom geladen. Diese Priorisierung ist nicht nur ökologisch, sondern auch wirtschaftlich sinnvoll, da der Eigenverbrauch den Bezug von teurem Netzstrom ersetzt.

Die **Anlagenplanung** (Kap. 3.4) erfordert die präzise Ermittlung der Heizlast. Der **Hydraulische Abgleich** ist die wichtigste Maßnahme zur **Betriebsoptimierung** jeder WP-Anlage, da er die Senkung der Vorlauftemperatur und damit die Steigerung der JAZ ermöglicht. **Wartung** wird zunehmend durch **Predictive Maintenance** (vorausschauende Wartung) über das HEMS unterstützt.

Die **Wirtschaftlichkeit** (Kap. 3.5) der nachhaltigen Haustechnik wird über die **Total Cost of Ownership (TCO)** betrachtet. Hohe Anfangsinvestitionen amortisieren sich durch staatliche Förderung und massive Einsparungen bei den Betriebskosten in der Regel innerhalb weniger Jahre, was die **langfristige Unabhängigkeit** von steigenden Energiepreisen sichert.

Kapitel 4: Praxis, Innovation und Zukunftskonzepte

Die **Sanierung** (Kap. 4.1) von Bestandsgebäuden folgt der **Hierarchie Hülle vor Technik** (iSFP-Logik) und ist der effektivste Weg zur CO²-Reduktion. **Neubauten** (Kap. 4.2) erreichen heute den Standard **Effizienzhaus 40** (EH 40) und werden durch das **QNG-Siegel** für ihre geringe **Graue Energie** ausgezeichnet. **Plusenergiehäuser** produzieren aktiv mehr Energie, als sie verbrauchen.

Die **Energieautarkie** (Kap. 4.3) wird durch die Kombination von PV, Speicher, WP und HEMS angestrebt, erhöht die **Resilienz** gegen Stromausfälle und reduziert den Netzstrombezug auf ein Minimum. Die **erfolgreiche Kombination** (Kap. 4.4) all dieser Systeme wird durch das HEMS ermöglicht, das **Systemeffizienz** durch prädiktive Regelung erreicht.

Im gewerblichen Bereich sind **ESG-Kriterien** (Kap. 4.5) zum **Wettbewerbsvorteil** geworden, da Banken und Investoren ESG-konforme Immobilien (Green Value) bevorzugen und günstiger finanzieren. Die **Materialtransparenz** (Kap. 4.6) durch **Umweltzeichen** (Blauer Engel) und **EPDs** schützt vor Greenwashing.

Begrünte Gebäude (Kap. 4.7) sind essenziell für die **Klimaresilienz** in Städten: Gründächer reduzieren den **Urbanen Hitzeinsel-Effekt**, entlasten die Kanalisation (Retention) und können den Wirkungsgrad von PV-Anlagen erhöhen (PV-Cooling). **Smarte Lüftungssysteme** (Kap. 4.8) sind für dichte Häuser Pflicht, sichern die Hygiene und gewinnen bis zu 90 % der Wärme zurück.

Die Beseitigung von **Mythen** (Kap. 4.9) ist für die Akzeptanz wichtig: Schimmel entsteht durch Feuchte an kalten Oberflächen (Wärmebrücken/falsches Lüften), nicht durch Dämmung. Die **Zukunft des Bauens** (Kap. 4.10) liegt in **Quartierslösungen** mit lokalen Speichern, Wärmenetzen und der Steuerung durch **Künstliche Intelligenz**.

Kapitel 5: HEMS – Das intelligente Energiemanagementsystem

Das **HEMS (Home Energy Management System)** ist das zentrale Steuerungsorgan zur Maximierung des Eigenverbrauchs (Kap. 5.1). Es vernetzt alle Sektoren – PV, Speicher, WP, E-Mobilität – und entscheidet in Echtzeit und **prädiktiv** über die optimale Energieverwendung.

Die **Kommunikation** (Kap. 5.2) zwischen den Komponenten erfordert **offene Schnittstellen** (EEBus, Modbus). Das HEMS priorisiert die Energieflüsse: Ist der Batteriespeicher fast voll, wird der Überschuss zur **Warmwasserbereitung über den Heizstab** (Kap. 5.3) umgeleitet (thermische Speicherung), bevor er ins Netz eingespeist wird.

Die **Integration von Carbonheizung und Wärmepumpe** (Kap. 5.4) nutzt die unterschiedliche **thermische Trägheit**: Die WP liefert die effiziente Grundlast, während die Carbonheizung als schnell reagierender, PV-gesteuerter **Spitzenlastverbraucher** dient.

Das HEMS erweitert die Steuerung auf **Haushaltsgeräte und E-Mobilität** (Kap. 5.5). Smart-Grid-Ready-Geräte (Waschmaschine) und die Wallbox können so programmiert werden, dass sie nur mit dem **verfügbaren Solarstrom-Überschuss** laden, was die **Eigenverbrauchsquote** massiv steigert und den Netzbezug minimiert.

Der Nutzen des HEMS (Kap. 5.6) ist die **messbare Steigerung des Autarkiegrads** von 30% auf bis zu 80%. Es ermöglicht **selbstlernende Algorithmen**, die das System an individuelle Verhaltensmuster und dynamische Wetterdaten anpassen. Das HEMS ist die Voraussetzung für die **Zukunft der Gebäudeautomation** (Kap. 5.7) und die aktive Teilnahme an **Smart Grids** (Bidirektionales Laden, VPP), was die Stabilität des öffentlichen Netzes unterstützt.

Kapitel 6: Förderlandschaft: Finanzierung durch öffentliche Programme

Die **Förderlandschaft** (Kap. 6.1) basiert auf der **Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)** und unterscheidet zwischen **Zuschüssen** (BAFA) und **Kredit mit Tilgungszuschuss** (KfW). Der Antrag muss **immer vor Auftragsvergabe** durch einen **zertifizierten Energieeffizienz-Experten (EEE)** erfolgen.

Die **KfW-Programme** (Kap. 6.2) unterstützen Neubau (**Klimafreundlicher Neubau, KFN**) und Sanierung (**KfW 261/262**) mit zinsgünstigen Krediten und attraktiven **Tilgungszuschüssen**. Der Tilgungszuschuss (z.B. 25 % der Kreditsumme bei EH 55) ist der wichtigste Hebel, da er einen Teil des Darlehens in einen direkten Zuschuss umwandelt. Die besten Konditionen gibt es für das **QNG-Siegel** (KFN).

BAFA-Förderungen (Kap. 6.3) bieten **direkte Zuschüsse** für **Einzelmaßnahmen**. Der Schwerpunkt liegt auf dem **Heizungstausch** gegen erneuerbare Energien (WP, Biomasse), wobei durch **Klima-Boni** und den **iSFP-Bonus** Fördersätze von bis zu **70 %** möglich sind. Auch die **Energieberatung** (iSFP) wird bis zu 80 % gefördert.

Landes- und Kommunalförderungen (Kap. 6.4) ergänzen die Bundesförderung, oft mit regionalen Schwerpunkten (Dachbegrünung, PV-Speicher). Die **strategische Kumulierung** (Kap. 6.5) dieser Förderungen (BAFA-Zuschuss für WP + KfW-Kredit für Hülle) ist der Schlüssel zur **Reduktion der Nettoinvestition**, wobei die **Doppelförderung derselben Kosten** verboten ist.

Kapitel 7: Moderne und zukünftige Heizmethoden und Energiegewinnungskonzepte für Wohnhäuser

Dieses Kapitel beleuchtet zukunftsweisende Technologien, oft angetrieben durch deutsche Forschung:

- **Heizen mit Wasserstoff (H²) und Brennstoffzellen** (Kap. 7.1): Ein potenzieller Weg zur Dekarbonisierung von **unsanierten Altbauten** über das bestehende Gasnetz (Pilotprojekt "H2Direkt"). **Brennstoffzellen** erzeugen aus H² Strom und Wärme (KWK). Das Potenzial hängt von der künftigen Verfügbarkeit von grünem H² ab.

- **Energiezisterne** (Kap. 7.2): Ein innovatives deutsches Konzept, das eine Regenwasserzisterne mit einem **geothermischen Wärmequellsystem** für die Wärmepumpe koppelt. Sie nutzt die **Kristallisationswärme** des Wassers zur Effizienzsteigerung der WP und dient gleichzeitig dem **Starkregenschutz** (Klimaresilienz).
- **Solardachpfannen und GIPV** (Kap. 7.3): Ästhetisch ansprechende PV-Lösungen, insbesondere für Denkmalschutz oder architektonisch anspruchsvolle Neubauten. **Hybrid-PV-T-Systeme** (Forschung TH Köln) nutzen die Abwärme zur **Steigerung der WP-Effizienz**.
- **Sektorkopplung** (Kap. 7.4) ist der marktreife Standard und wird durch Initiativen zur **Standardisierung (EEBus)** und **Netzdienlichkeit** (§14a EnWG) weiter optimiert.
- **Weitere Technologien** (Kap. 7.5): Dazu gehören **Eisspeicher-Heizungen** (nutzen Kristallisationswärme für Heizen/Kühlen), **Thermochemische Wärmespeicher** (langfristige, saisonale Speicherung von Wärme in Salzhydraten) und **Hochtemperatur-Wärmepumpen** (für Altbauten).

Die **Zukunft des Bauens** (Kap. 7.6) liegt in der **Systemintegration** aller Technologien. Deutsche Forschungsinstitute (Fraunhofer, Jülich) treiben diese Entwicklung voran, um das Einzelhaus zum **aktiven, klimapositiven Prosumer** im Smart Grid zu machen.

Impressum

Titel: Wirtschaftlich und klimafreundlich bauen und sanieren

Autor: Dipl. Ing. Rolf Krause

Adresse: Ginsterweg 2a, 41379 Brüggen

Telefon: +49 176 22872775

E-Mail: energieberatung@rolfkrause.com

Über den Autor

Dipl. Ing. Rolf Krause ist Maschinenbauingenieur mit den Schwerpunkten Energieeffizienz, IT-Systeme und nachhaltige Gebäudetechnik.

Seit über 25 Jahren entwickelt er praxisorientierte Energiekonzepte und berät private wie gewerbliche Bauherren bei der Umsetzung klimafreundlicher Bau- und Sanierungsmaßnahmen.

Mit seiner Leidenschaft für Technik, Wirtschaftlichkeit und Klimaschutz verbindet er Ingenieurwesen mit Zukunftsdenken – und zeigt, wie Nachhaltigkeit konkret funktioniert.

© 2025 – Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, Vervielfältigung oder digitale Weitergabe nur mit schriftlicher Genehmigung des Autors.

Dieses Werk wurde mit größter Sorgfalt erstellt; technische Änderungen und Irrtümer bleiben vorbehalten.