

Baukasten für energetisch optimierte Gebäude

G. Girmscheid, D. Lunze

330

LC-Leistungsangebot • Lebenszykluskostenoptimierung • Energieoptimierung

Zusammenfassung Sowohl private, als auch öffentliche Bauherren fordern für ihre baulichen Anlagen einen Paradigmawechsel von der reinen Investitionskostenbetrachtung hin zu lebenszyklusorientierten, nachhaltigen, energetisch optimierten Gebäuden mit minimalen Lebenszykluskosten. Als Reaktion auf diese Forderung muss die Bauwirtschaft Lebenszyklusleistungsangebote entwickeln, die der geforderten Lebenszyklusorientierung weitgehend entsprechen.

Der vorliegende Beitrag stellt einen Baukasten aus verschiedenen möglichen energetischen Modulen vor, aus denen Planer und Leistungsanbieter lebenszyklusorientierte energetisch optimierte bauliche Lösungen entwickeln können, die auf die Bedürfnisse potentieller Kunden maßgeschneidert werden. Die energetisch nachhaltigen, lebenszyklusorientierten Lösungen sollten den Prinzipien des *Green Building* folgen und ihre Nachhaltigkeit mittels entsprechender Zertifizierung nachweisen. Die Verknüpfung zu integrierten bzw. vernetzten energetischen Modulen und Teilsystemen erfolgt auf Basis möglicher Synergiepotentiale. Die projektspezifische, kundenorientierte Zusammensetzung und Ausgestaltung der energetischen Module und Teilsysteme zu einem integralen, nachhaltigen baulichen Gesamtsystem wird mittels einer LC-Kostenanalyse bezüglich Nutzen-Kosten-Verhältnis bewertet.

Construction Kit for Energetically Optimized Buildings

Abstract Both private and public sector clients demand for a paradigm shift for their building constructions away from the pure investment costs consideration towards life cycle oriented, sustainable, energetically optimized buildings at minimal life cycle costs. In response to this demand, the construction industry needs to develop life cycle service provisions that largely reflect the required life cycle orientation.

This paper presents a construction kit comprised of various possible energetic modules that planners and service providers can use to develop life cycle oriented energetically optimized structural solutions that can be customized to the needs of prospective clients. The life cycle oriented solutions should reflect the principles of “green building” and be correspondingly certified to document their sustainability. Integrated respectively interlinked modules and sub-systems are combined on the basis of potential synergy effects. The project specific, client oriented configuration and arrangement of the energetic modules and sub-systems in an integral sustainable structural overall system will be evaluated with regard to the benefit-cost-ratio by means of a life cycle costs analysis.

1 Einleitung/Ausgangssituation

Hinsichtlich der Optimierung des globalen Energieverbrauchs besteht in der Wahrnehmung der Öffentlichkeit ein starker Fokus auf den Mobilitäts-Sektor.

In der Folge von verschiedenen Maßnahmen und Anreizen ist der Kraftstoffverbrauch von Fahrzeugen spätestens seit der Ölkrise in den 70-er Jahren ein wichtiges Kriterium beim Kauf von Neuwagen geworden [1]. Von diesem Kundenbedürfnis angetrieben konnte der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch neu zugelassener Pkw in den letzten 20 Jahren um mehr als 25% gesenkt werden ([2], [3]). Gleichzeitig erfolgte in vielen Ländern der Ausbau des Schienenverkehrs. Der Fokus der Energiedebatte auf den Mobilitäts-Sektor täuscht jedoch darüber hinweg, dass der Bausektor einen wesentlich höheren Anteil am gesamten Energieverbrauch hat (Bild 1) [4]. Der hohe Anteil an fossilen Energieträgern zur energetischen Bewirtschaftung von Gebäuden erzeugt darüber hinaus CO₂-Emissionen, die sich negativ auf das Klima der Erde auswirken.

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid

M. ASCE, John O. Bickel Award 2004 und 2005
 Institutsvorsteher
 Institut für Bauplanung und Baubetrieb
 ETH Zürich
 girmscheid@ibb.baug.ethz.ch

Dipl.-Ing. (TU) David Lunze

Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand
 Institut für Bauplanung und Baubetrieb
 ETH Zürich
 lunze@ibb.baug.ethz.ch

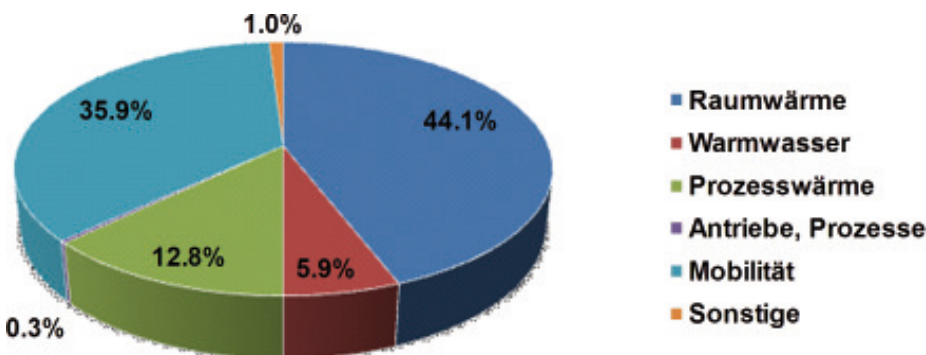


Bild 1. Prozentualer Anteil der Verwendungszwecke am fossilen Energieverbrauch 2006 in der Schweiz [4]
 Fig. 1. Percentage share of the uses for which fossil energy was consumed in Switzerland in 2006 [4]

- Der globale Bedarf an Energieträgern steigt z.B. aufgrund:
- weltweitem Bevölkerungswachstum,
 - Steigerung der globalen Produktion,
 - Erhöhung der Ansprüche an Wohn- und Arbeitskomfort sowie
 - Steigerung der individuellen Mobilität.

Gleichzeitig stehen nur begrenzte Vorräte an fossilen Energieträgern zur Verfügung, die darüber hinaus von einer Minderheit der Weltbevölkerung kontrolliert werden. Ferner werden Energieträger und Rohstoffe als Spekulationsobjekte an den Finanzmärkten gehandelt, wodurch der Preis des weiteren von finanzwirtschaftlichen und politischen Faktoren beeinflusst werden kann.

Die Diskrepanz zwischen steigender Nachfrage und sinkendem Angebot führt und wird auch zukünftig zu massiven Preissteigerungen auf dem Energie- und Rohstoffmarkt führen. Dies manifestiert sich insbesondere am Rohölpreis, der sich beispielsweise zwischen den Jahren 1997 und 2007 um mehr als das 5-fache gesteigert hat [5].

Neben den ökologischen Aspekten sind es vor allem die wirtschaftlichen Aspekte, die Bauherren und Nutzer zu einem Umdenken im Umgang mit fossilen Energieträgern anregen. Bei der Analyse der Lebenszykluskosten von Gebäuden werden die Betriebskosten in der Nutzungsphase und hier insbesondere die Kosten für Nutzenergie-träger als maßgebliche Kostentreiber identifiziert ([6], [7], [8]). Mit dem Ziel, die Lebenszykluskosten von Gebäuden langfristig nachhaltig zu optimieren und verlässlich kalkulierbar zu machen, fordern Bauherren und Nutzer deshalb einen Paradigma-wechsel ([7], [9], [10], [11], [12], [13]). Dieser geforderte Paradigmawechsel [9] zielt darauf ab, dass Gebäude nicht mehr unter dem Gesichtspunkt ihrer initialen Investitionskosten, sondern mit Blick auf die Gesamtlebenszykluskosten optimiert werden [7]. Dabei werden zwei wesentliche Ziele angestrebt:

- Lebenszyklusorientierung:
Im Rahmen der Lebenszyklusorientierung werden alle Phasen (Planung, Erstellung, Nutzung/Betrieb und Rückbau) des Lebenszyklus eines Gebäudes berücksichtigt. Ziel ist es, das Gebäude hinsichtlich seiner Gesamtlebenszykluskosten (bzw. hinsichtlich einer vereinbarten Lebenszyklusperiode) zu optimieren.
- Gewerkeübergreifende Gesamtoptimierung:
Um zu echter Lebenszyklusorientierung eines Gebäudes zu gelangen, ist die gewerkeübergreifende Optimierung der baulichen Anlagen durch die Zusammenarbeit der Schlüsselplaner und -unternehmen notwendig. Ziel ist es, die Fragmentierung der Bauprozesse zu Gunsten der Freisetzung möglicher Synergiepotentiale zu überwinden und das Gebäude so zu einem Gesamtoptimum zu führen.

Als proaktive Antwort der Schweizer Bauwirtschaft entwickelt das Institut für Bauplanung und Baubetrieb der ETH Zürich im Rahmen des von Girmscheid entwickelten Forschungsansatzes Systemanbieter Bau (SysBau®) [9] in einem von der KTI (staatliche Förderagentur für Innovationen der Schweiz) geförderten Forschungsprojekt, zusammen mit namhaften Unternehmen der Schweizer Bauwirtschaft, ein Geschäftsmodell für ein Lebenszyklusleistungsangebot im Hochbau. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurde der im vorliegenden Beitrag beschriebene energietechnische Modulbaukasten als potentielles Gestaltungskonzept für ein energetisches Lebenszyklusleistungsangebot (LC-Leistungsangebot) im Hochbau zusammengestellt.

Das Ziel dieses Beitrags ist es, einen energietechnischen Modulbaukasten vorzustellen, um Planern und Leistungsanbietern die Möglichkeiten aufzuzeigen, innovative projektspezifische energietechnisch nachhaltige Lösungen für die Bauherren zu entwickeln.

Das von Girmscheid entwickelte LC-NPV-Modell [6] bietet ein wissenschaftlich fundiertes sowie praxisorientiertes Entscheidungsinstrument zur Ermittlung der Lebenszykluskosten zur Bewertung verschiedener Investitionsalternativen.

2 Systemkonzeption energetisch optimierter Gebäude

Die Systemkonzeption energetisch optimierter Gebäude über ihren Lebenszyklus, die zu einem LC-Gesamtkostenminimum führen soll, beinhaltet die Reduzierung der fossilen Betriebsenergie in der Nutzungsphase unter Beachtung der Kundenanforderungen. Das Gesamtkostenminimum für eine bauliche Lösung beinhaltet einerseits die Investitionskosten sowie andererseits die Betriebs- und Unterhaltskosten über die intendierte Nutzungsperiode.

Daher soll in diesem Beitrag zuerst der konzeptionelle Aufbau energetisch optimierter Gebäude und deren internationale Standards dargestellt werden. Darauf aufbauend werden die potentiellen energietechnisch beeinflussenden Module (Bauteile) und Teilsysteme und deren integrierte Vernetzung aufgezeigt, die zu einem kundenspezifisch optimierten Gesamtsystem führen. Dazu gehören die Teilsysteme Gebäudehülle, Energiesystem mit den einzelnen Anlagenmodulen und den passiven Speicher- und Bauelementen sowie Beleuchtung, elektrische Energieversorgung und Wasserversorgung und Entsorgungsmodule.

Diese Systemkonzeption liefert lebenszyklusorientierte, projektspezifisch optimierte, maßgeschneiderte Lösungen für die bauliche Aufgabenstellung des jeweiligen Kunden/Bauherrn. Basis der individuellen Angebotsgestaltung ist die Evaluation der individuellen Anforderungen eines potentiellen Kunden mittels eines entsprechenden Anforderungsmanagements [14]. Die spezifischen Anforderungen von Bauherren werden erfüllt, indem aus einer breiten Palette von verschiedenen energetischen Modulen und Teilsystemen ein kundenorientiertes systemgeschäftliches LC-Leistungsangebot synergetisch entwickelt wird.

2.1 Grundkonzepte energetisch optimierter Gebäude

Der hier vorgestellte energietechnische Modulbaukasten verfolgt die energetische Optimierung von Gebäuden als Reaktion auf den von der Gesellschaft und von Bauherren geforderten Paradigmawechsel nach einer Lebenszyklusorientierung der Gebäude und Infrastrukturen. Damit wird dem globalen Trend des *Green Building* gefolgt.

Green Building

Green Building steht als internationales Synonym für die Anstrengungen zum Planen und Bauen nachhaltiger Gebäude. Der Begriff des *Green Building* zielt darauf ab, die durch das Planen, Bauen und Nutzen von Gebäuden beanspruchten Ressourcen (Energie, Wasser und Materialien) möglichst effizient zu nutzen und darüber hinaus den Einfluss der Gebäude auf die Gesundheit ihrer Nutzer sowie auf die Umwelt insgesamt zu reduzieren [15]. Dabei liegt der Fokus auf der systemischen Betrachtung von Gebäuden als integriertes System im kompletten Lebenszyklus [16]. In der Folge haben

Gebäude, die nach *Green-Building*-Prinzipien erstellt werden, einen geringeren negativen Einfluss auf ihre Umwelt und können als nachhaltig im Sinne aller drei Nachhaltigkeitsaspekte (ökologisch, ökonomisch, sozial) angesehen werden [17]. Zu den ersten *Green Buildings* gehören das „Willis, Faber and Dumas Headquarter“ von Norman Foster in England (1977) und das „Gregory Bateson Building“ von Sim van der Ryn in den USA (1978). [15]

Um die Nachhaltigkeit von Gebäuden messbar und damit auch vergleichbar zu machen, die nach *Green-Building*-Prinzipien erstellt werden, haben sich international verschiedene Zertifizierungssysteme etabliert. Die Umsetzung des *Green Building* erfolgt dabei international mit unterschiedlichen Schwerpunkten.

BREEAM

Das durch das „Building Research Establishment (BRE)“ der Britischen Regierung entwickelte „Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM)“ wurde 1990 als Zertifizierungssystem für nachhaltige Gebäude eingeführt. Die Prüfungsschwerpunkte des britischen Zertifizierungssystems BREEAM sind:

- Gebäudemanagement (Planen, Bauen und Betreiben)
- Gesundheit und Komfort
- Ressourcenverbrauch im Lebenszyklus (Energie und Wasser)
- Eingesetzte Materialien sowie Abfallvermeidung und Recycling
- Flächenverbrauch und ökologischer Einfluss

In den verschiedenen Prüfungsschwerpunkten werden nach einem vorgegebenen Katalog Punkte vergeben und dem Gebäude die Nachhaltigkeit anhand von Noten („pass“, „good“, „very good“ und „excellent“) zertifiziert.

BREEAM ist Vorbild für weitere Zertifizierungssysteme auf der ganzen Welt wie zum Beispiel HK-BEAM Hong Kong und BREEAM Netherlands.

Passivhausstandard

Parallel zu den britischen Anstrengungen wurde in Deutschland der Passivhausstandard entwickelt. Die Entwicklung mündete 1991 im Bau des ersten Passivhauses in Darmstadt [18]. Der Passivhausstandard legt keine Bauweise fest, sondern gibt einen Baustandard hinsichtlich des Energiekonzeptes eines Gebäudes vor. Das Grundprinzip basiert darauf, verloren gehende Wärme auf ein Minimum zu reduzieren und die ohnehin im Gebäude anfallende Wärme sowie die solare Wärme maximal zu nutzen.[18] Demnach kommen Passivhäuser ohne eine aktive Heizungsanlage im herkömmlichen Sinne aus. Stattdessen nutzen Passivhäuser interne und solare Wärmegewinne und verhindern Wärmeverluste. Der Restheizwärmebedarf darf 15 kWh/m²a nicht überschreiten [19] und wird üblicherweise durch eine Wärmepumpe (Erdwärme, Luft etc.) gedeckt. Die Dichtigkeit der Gebäudehülle zur Vermeidung von Wärmeverlusten erfordert eine Lüftungsanlage, die zur Vermeidung von Lüftungswärmeverlusten als Komfortlüftung, d.h. mit Wärmerückgewinnung konzipiert wird.

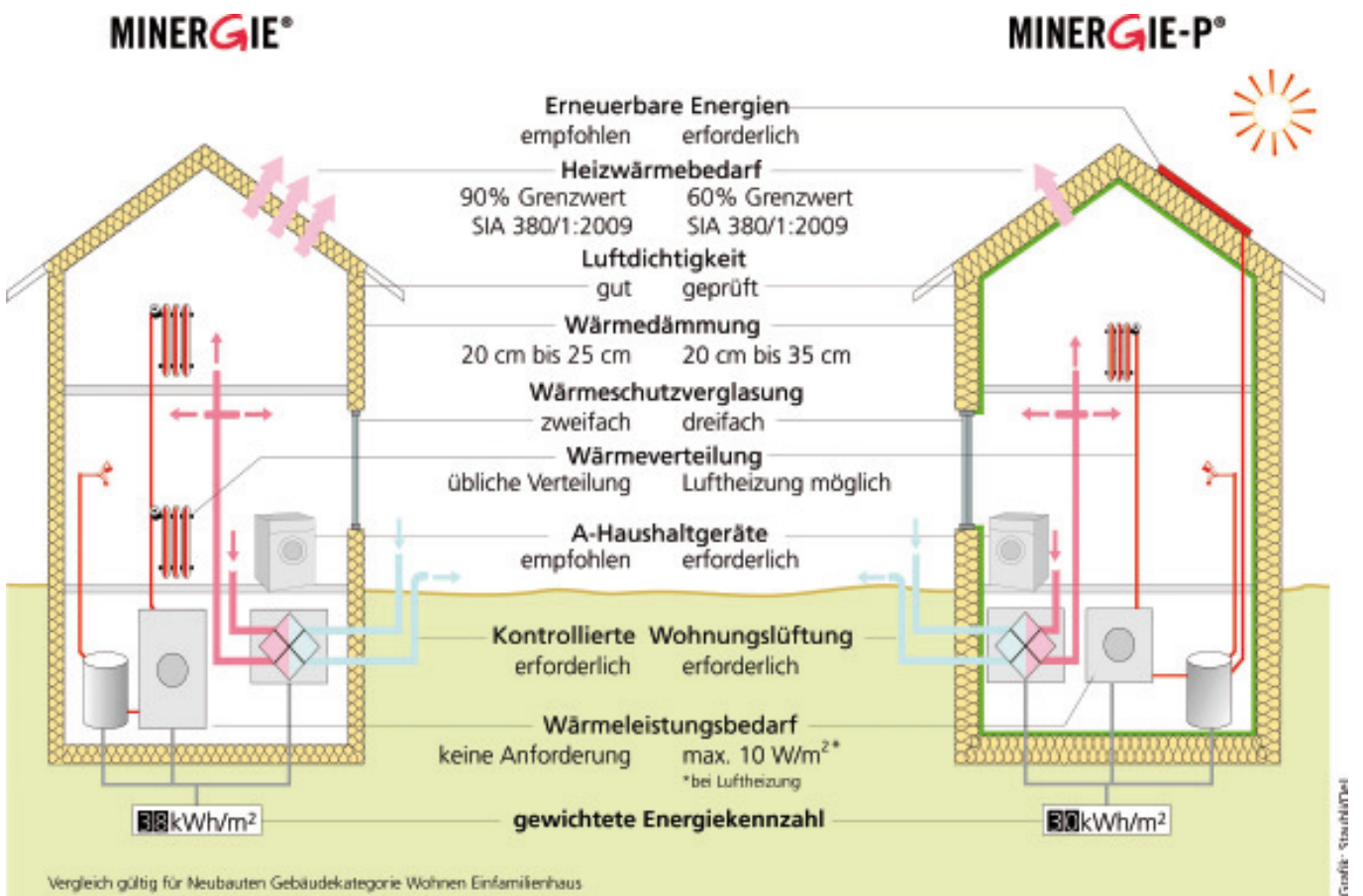


Bild 2. Vergleich der Qualitätslabel Minergie® und Minergie-P® für energieeffiziente Gebäude [21]
 Fig. 2. Comparison of Minergie® and Minergie-P® quality labels for energy efficient buildings [21]

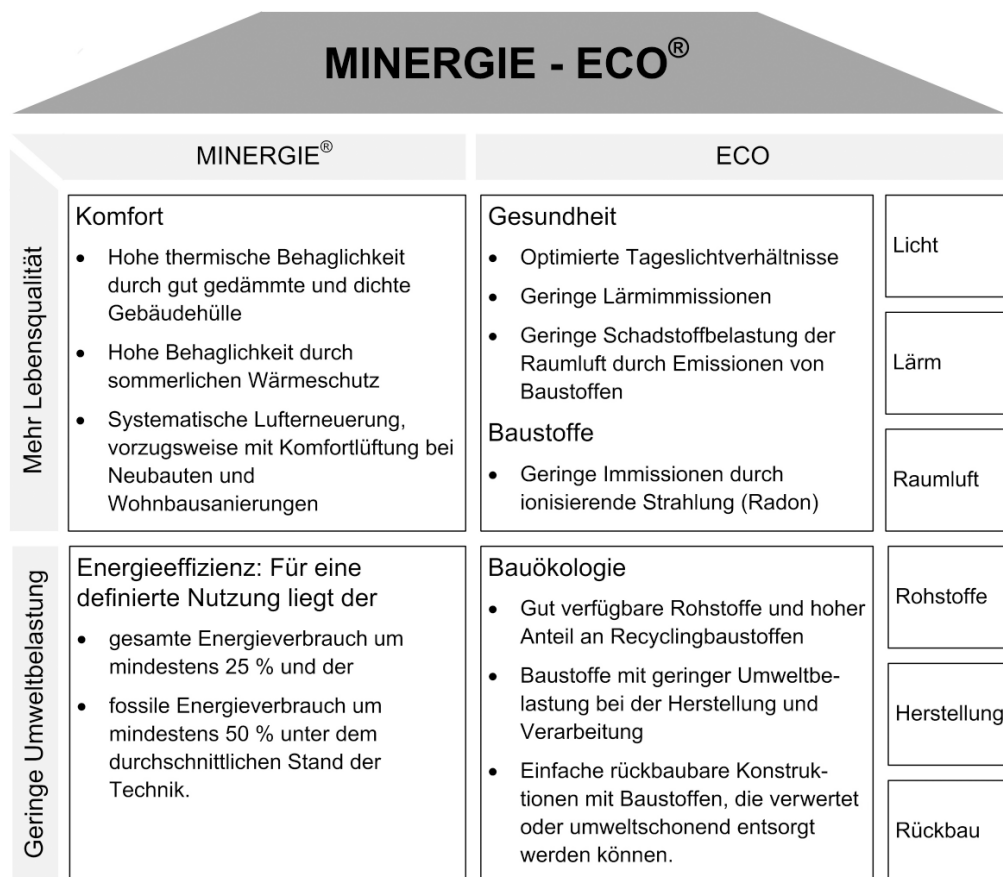


Bild 3. Ergänzungen der MINERGIE-ECO®-Standards gegenüber dem MINERGIE®-Standard [21]
 Fig. 3. Additional standards stipulated by MINERGIE-ECO® compared with the MINERGIE® standard [21]

Minergie®

In der Schweiz gibt es mit dem Minergie®-Zertifizierungssystem vergleichbare *Green-Building*-Anstrengungen. Erste Minergie®-Gebäude wurden 1994 in Kölliken (CH) gebaut. 1998 gründeten die schweizerischen Kantone Zürich und Bern den schweizerischen Verein Minergie® und führten das Minergie®-Label als weltweit geschützten Marke für einen Niedrigenergiehausstandard für Gebäude ein [20].

Das Minergie® Qualitätslabel wird an Gebäude vergeben, die den effizienten Energieeinsatz und die Nutzung erneuerbarer Energieträger nachgewiesen haben, ohne dass darunter die Nutzungsqualität oder die Wirtschaftlichkeit der Gebäude beeinträchtigt wird. Dabei werden im Rahmen des Zertifizierungsverfahrens die folgenden Anforderungen überprüft [21]:

- Primäranforderungen an die Gebäudehülle hinsichtlich des Heizwärmebedarfs (z.B. Transmissionswärmeverluste)
- Lüfterneuerung mittels Komfortlüftung
- Gewichtete Energiekennzahl nach SIA 380/1:2009 [22] als Grenzwert für den Energieverbrauch unter Berücksichtigung der Erneuerbarkeit der eingesetzten Energien
- Thermischer Komfort im Sommer
- Zusatzanforderungen hinsichtlich Beleuchtung, gewerblicher Kälte- und Wärmeerzeugung
- Begrenzung der Mehrkosten gegenüber konventionellen Gebäuden auf maximal 10%

Im Jahre 2001 wurde durch den schweizerischen Verein Minergie® das Minergie-P®-Label als Passivhausstandard eingeführt. Zur Erlangung des Minergie-P®-Labels muss der

Energieverbrauch gegenüber dem Minergie®-Standard bezüglich seines Heizwärmebedarfs um weitere 30% gesenkt werden (Bild 2). Grundlage des Minergie-P®-Standards ist ein Passivhausstandard, bei dem die aktive Wärmeenergiezufuhr durch eine entsprechend dichte Gebäudehülle, die Mobilisierung interner Wärmegevinne sowie die Wärmerückgewinnung aus Abluft und Abwasser weitgehend vermieden wird. Bild 2 stellt die wichtigsten Unterschiede der beiden Qualitätslabel Minergie® und Minergie-P® dar.

Als Ergänzung des Minergie®- bzw. Minergie-P®-Standards wurde 2006 das Label Minergie-Eco® eingeführt. Es ergänzt diese energieeffizienzbezogenen Standards hinsichtlich Anforderungen an eine gesunde Nutzung und eine ökologische Bauweise. Bild 3 zeigt die Ergänzungen des Minergie-Eco®-Standards gegenüber dem energieeffizienzbezogenen Minergie®-Standard.

LEED

Im Jahre 1998 wurde durch das U.S. Green Building Council das Zertifizierungssystem "Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)" zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden entwickelt und eingeführt. Das US-amerikanische Zertifizierungssystem LEED beurteilt die Nachhaltigkeit von Gebäuden in den folgenden sechs Kategorien:

- Grund und Boden
- Energie und Atmosphäre
- Raumluftqualität
- Wassereffizienz
- Materialien und Ressourcen
- Innovation und Design

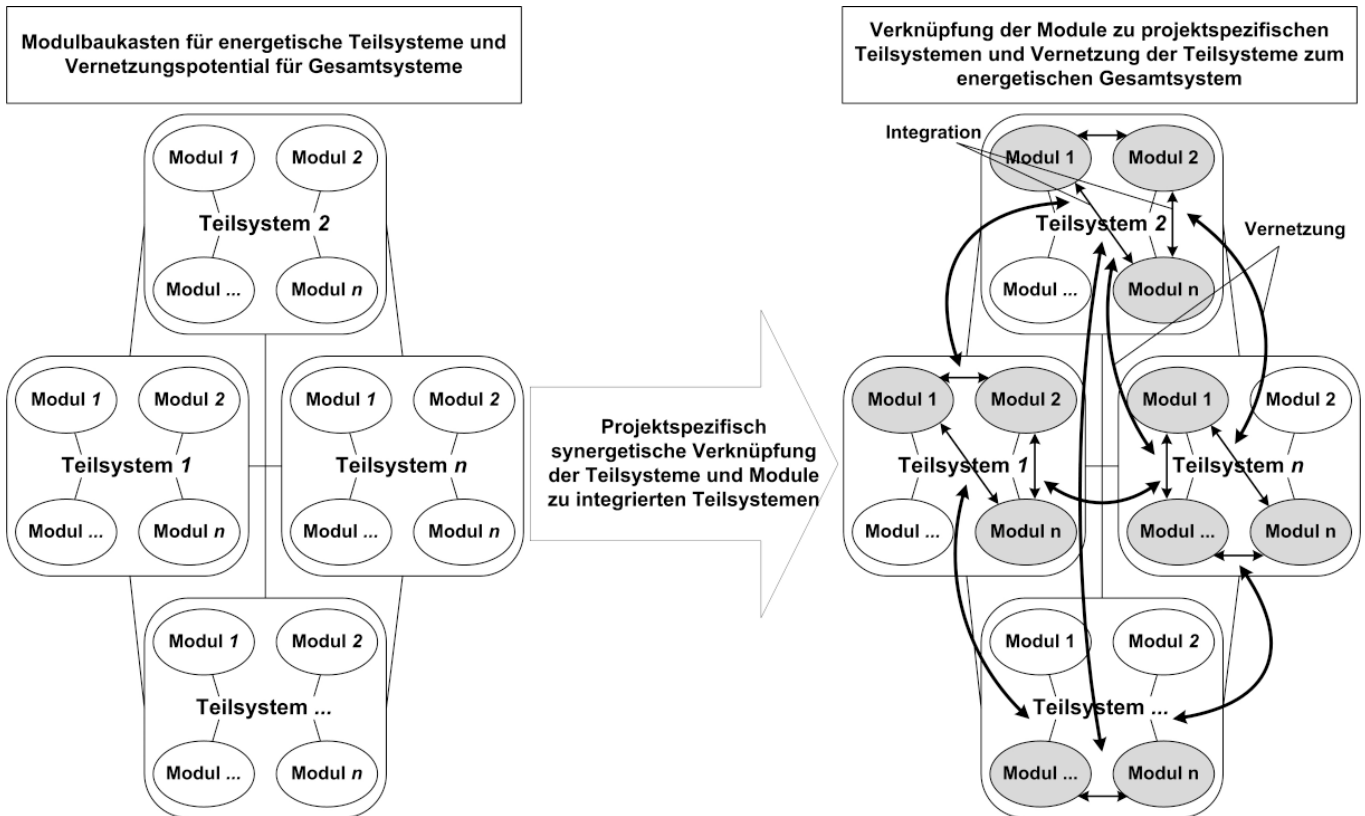


Bild 4. Integration der Module zu Teilsystemen und Vernetzung der Teilsysteme eines LC-Leistungsangebots zu einem projektspezifischen, teilsystem- und gewerkeübergreifenden, integrierten Gesamtsystem
 Fig. 4. Integration of the modules to form sub-systems and interlinking of the sub-systems in an LC service provision to form a project-specific, integrated and/or interlinked overall system across all sub-systems and trades

Je Kategorie kann eine bestimmte Anzahl Punkte erreicht werden, die in der Summe zu einem Leed-Zertifizierungslevel („Certified“, „Silver“, „Gold“, „Platin“) führen. LEED ist Vorbild für weitere Zertifizierungssysteme auf der ganzen Welt wie zum Beispiel LEED Brasil, LEED India und LEED Canada.

DGNB

Im Jahre 2009 wurde durch die Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen das „Deutsche Gütesiegel Nachhaltiges Bauen“ (DGNB) eingeführt. Das „Deutsche Gütesiegel Nachhaltiges Bauen“ (DGNB) stellt an sich selbst den Anspruch die Nachhaltigkeit von Gebäuden umfassender als seine englischsprachigen Pendanten (BREEAM, LEED) beurteilen zu können [23]. Mittels eines umfangreichen Kriterienkatalogs werden die folgenden Aspekte des Systems Gebäude hinsichtlich seiner Nachhaltigkeit evaluiert:

- Ökologische Qualität
- Ökonomische Qualität
- Soziokulturelle und funktionale Qualität
- Technische Qualität
- Prozessqualität
- Standortqualität

Auf Basis der Bewertung der benannten Aspekte und unter Berücksichtigung gewisser Mindeststandards wird das „Deutsche Gütesiegel Nachhaltiges Bauen“ (DGNB) in Bronze, Silber oder Gold verliehen.

Die Nachhaltigkeit von Immobilien wird zukünftig mehr denn je eine strategische Relevanz in der Immobilienwirtschaft einnehmen [24]. Große global agierende Unterneh-

men haben bereits Nachhaltigkeitsstrategien für ihre Immobilienbestände formuliert, weitere Unternehmen werden folgen. Die Nachhaltigkeit wird deshalb einen steigenden Einfluss auf den Wert von Immobilien und die mit ihnen erzielbare Rendite haben. Um den Grad der Nachhaltigkeit gegenüber dem Markt nachweisen zu können werden die Kunden der Bauwirtschaft deshalb zukünftig verstärkt die entsprechende Zertifizierung ihre Immobilien anstreben. Zur Erzielung dieser energetischen Nachhaltigkeitsstandards unter Berücksichtigung der architektonischen Qualität, der lebenszyklusorientierten Nutzungsflexibilität sowie der antizipierten Nutzungsdauer des Kunden, ist es erforderlich, dass sich Ingenieure und Architekten mit den möglichen energetischen Modulen und Teilsystemen vertraut machen.

2.2 Konzeption eines LC-Leistungsangebots

Die Verknüpfung der energietechnischen Module und Teilsysteme erfolgt auf zwei Ebenen entsprechend den inhärenten Synergiepotentialen wie folgt (Bild 4):

- Auswahl und Entwicklung der projektspezifischen Module
- Integration von verschiedenen Modulen in einem Teilsystem
- Integration und Vernetzung der Teilsysteme untereinander

Module im hier beschriebenen Kontext sind weitgehend standardisierte, projektunabhängige Bestandteile eines Teilsystems. Die projektunabhängige bzw. projektübergreifende Entwicklung und Optimierung der Module erfolgt im Innovationsprozess auf der Ebene der Hersteller bzw. Liefere-

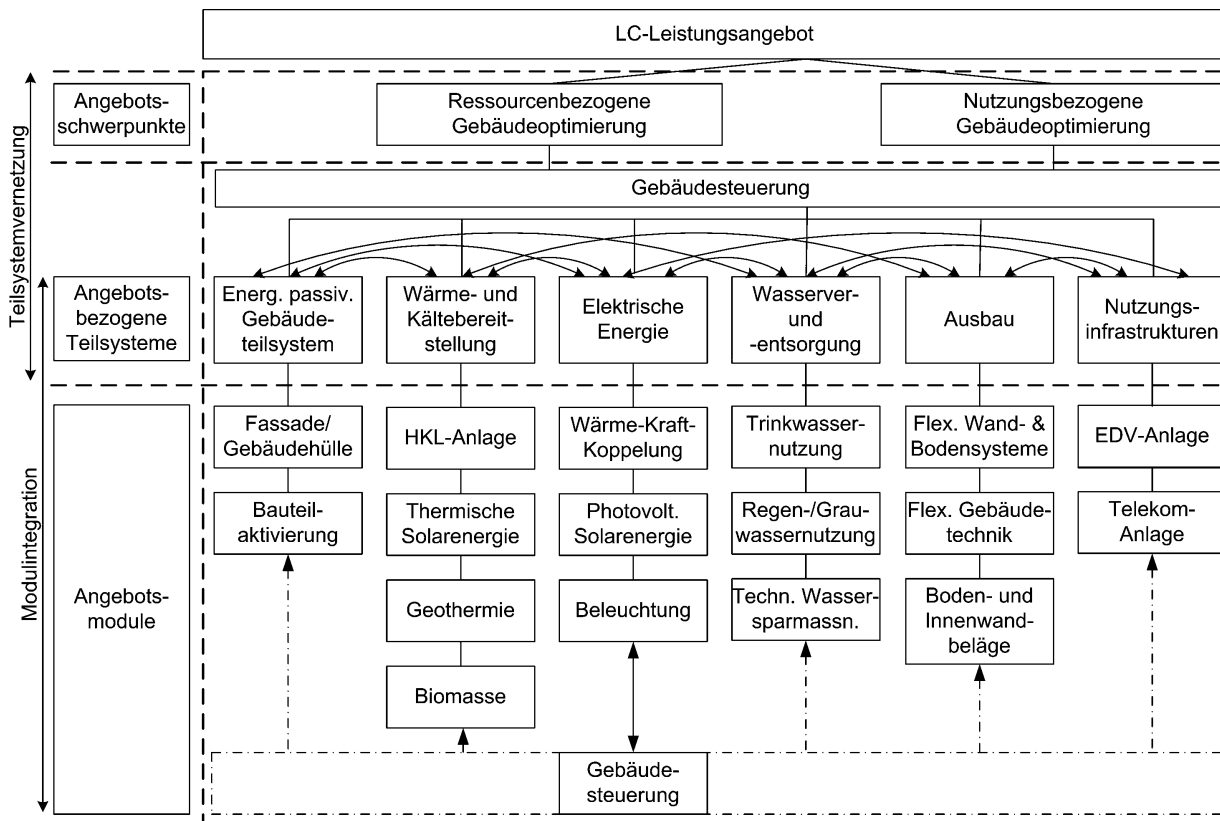


Bild 5. Angebotshierarchie eines LC-Leistungsangebots
 Fig. 5. Hierarchical structure of an LC service provision

ranten dieser energietechnischen Module. Die Anforderungen der Nutzer an die Module gehen generisch, d.h. projektunabhängig bzw. projektübergreifend in den Entwicklungs- und Optimierungsprozess der jeweiligen Hersteller bzw. Lieferanten ein.

Teilsysteme setzen sich aus energietechnischen Modulen zusammen und strukturieren das Leistungsangebot hinsichtlich ihrer Funktionen im LC-Leistungsangebot (Bild 5). Die Verknüpfung bzw. Integration der Module zu Teilsystemen erfolgt projektspezifisch auf Basis der lebenszyklusorientierten Anforderungen des Bauherrn bzw. Nutzers.

Auf Basis der projektspezifisch identifizierten Kostentreiber, insbesondere der energie- und ressourcenbezogenen Betriebskosten in der Nutzungsphase, werden die Teilsysteme zu integrierten bzw. vernetzten Teilsystemen für die jeweilige Bauaufgabe verknüpft. Durch die Vernetzung werden inhärente Synergiepotentiale erschlossen, die mittels risikobasiertem probabilistischem LC-NPV-Modell [6] bewertet werden und zu einem projektspezifischen Lebenszykluskostenminimum und damit zu einem wahrnehmbaren Mehrwert für den Kunden im definierten Nutzenkorridor führen. Zur Sicherstellung des Lebenszykluskostenminimums sollten unter Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen des Kunden (definierter Nutzen) für die so integrierten bzw. vernetzten Teilsysteme Leistungs- und/oder Kostengarantien abgegeben werden. Die innovative Entwicklung und Optimierung der integrierten bzw. vernetzten Teilsysteme erfolgt projektspezifisch durch die Leistungsanbieter, z. B. in Form einer LC-Leistungsanbieterkooperation.

Die wirtschaftliche Nachhaltigkeit in Form des Lebenszykluskostenminimums bei einem definierten Nutzen sollte durch Integration bzw. Vernetzung der Module und Teilsysteme in frühen Wertschöpfungsstufen der Projektentwick-

lung sichergestellt werden ([25], [26]). Dadurch wird ein Wettbewerb der Ideen realisiert, der die weiteren Projektanforderungen bezüglich Funktionalität, architektonischer Qualität, Rendite und Werterhaltung sicherstellt.

Die energetische Nachhaltigkeit im Kontext der projektspezifischen Anforderungen sollte in allen Lebenszyklusphasen der wettbewerblichen Optimierung unterliegen:

- Planungsphase – Die nachhaltige Planung und Herstellung beinhaltet die Berücksichtigung der in den Materialien und Produkten enthaltenen grauen Energie sowie den Einsatz von Recycling-Materialien. Darüber hinaus erfolgen die projektspezifisch optimierte Konfiguration der energetischen Module und die Vernetzung der Teilsysteme.
- Herstellungs- und Bauphase – Das nachhaltige Bauen zielt auf eine energieeffiziente Nutzung von Materialien mit geringem grauem Energieanteil sowie auf eine energieeffiziente Leistungserstellung ab, mit einer weitgehenden Reduktion der im Bauprozess entstehenden Abfälle.
- Nutzungsphase – Im Mittelpunkt der nachhaltigen Nutzung eines Gebäudes steht der energieeffiziente und ressourcenschonende Betrieb und die flexible Nutzung eines Gebäudes. Der hier vorgestellte energietechnische Modulbaukasten zielt insbesondere auf die energetische Passivität und den Einsatz regenerativer Energieträger ab, um eine weitgehende Energieautarkie hinsichtlich nicht-regenerativer Energieträger zu erreichen. Das Ziel ist die ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit der Gebäude.

Bei der Optimierung der Nachhaltigkeit sind lebenszyklusrelevante Faktoren wie die intendierte Nutzungsperiode und die Abnutzung der Anlagen und Installationen innerhalb der Module und Teilsysteme zu berücksichtigen. Darüber hi-

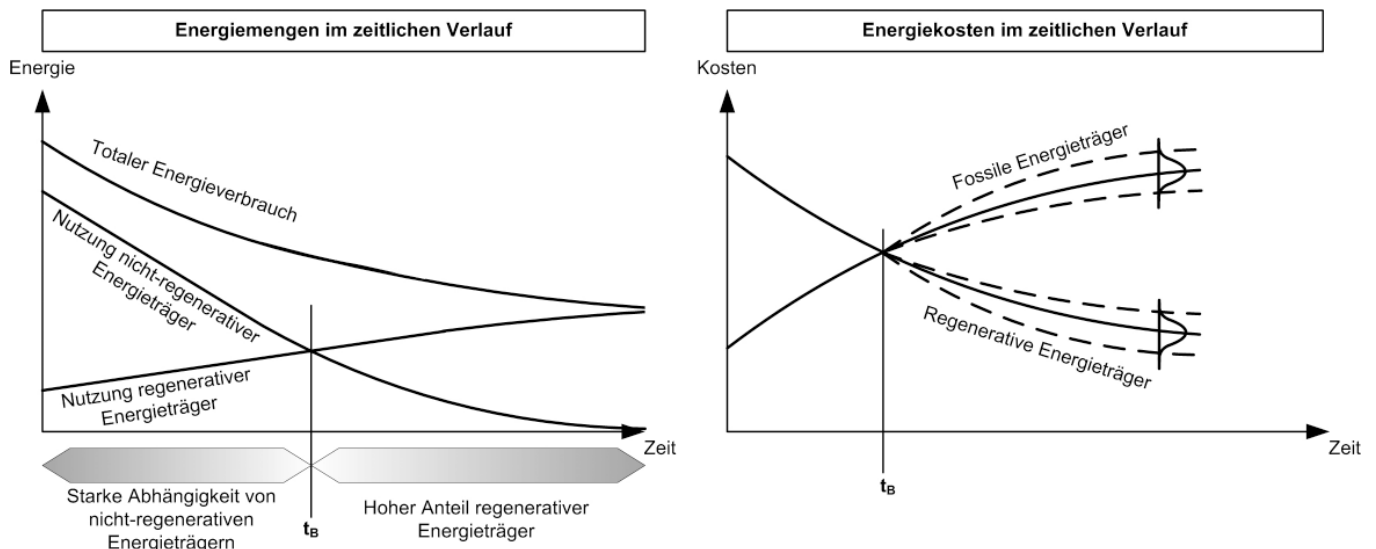


Bild 6. Strategieaspekte zur Erreichung weitgehender Autarkie hinsichtlich nicht-regenerativer Energieträger
 Fig. 6. Strategic aspects for achieving as much independence as possible from non-regenerative sources of energy

naus sind Innovationen zu antizipieren, die zu einer bedeutenden Senkung der Lebenszykluskosten führen können. Die Berücksichtigung dieser Faktoren führt zu einer differenzierten, lebenszyklusorientierten Betrachtung der Langlebigkeit von Materialien, Konstruktionen und Anlagen. Dabei können je nach Ausprägungsgrad der genannten Faktoren eher kurzlebige oder eher langlebige Materialien, Konstruktionen und Anlagen die lebenszyklusorientiert relevantere Alternative sein.

Der leistungsinhaltliche Schwerpunkt eines LC-Leistungsangebots (Bild 5) ist die energie- bzw. ressourcenbezogene Gebäudeoptimierung. Um zu einer weitgehenden Energieautarkie hinsichtlich nicht-regenerativer Energieträger zu gelangen, werden folgende strategische Aspekte zur energetischen Optimierung vorgeschlagen (Bild 6):

- Reduktion des Energieverbrauchs und des CO₂-Ausstoßes des Gebäudes insgesamt
- Steigerung der Erzeugung und Nutzung regenerativer Energieträger

3 Module und Teilsysteme für die lebenszyklusorientierte Gebäudeoptimierung

Im Folgenden werden die sich interaktiv beeinflussenden energetischen Teilsysteme und ihre Modulvarianten vorgestellt. Die Module lassen sich variabel, gemäß den spezifischen Kundenanforderungen zu energetischen Teilsystemen zusammensetzen. Mit den Teilsystemen kann dann das kundenspezifische Gesamtsystem in verschiedenen Varianten gebildet werden. Dabei ist zu beachten, dass die Teilsysteme - z.B. Gebäudehülle und Energieversorgung - sich gegenseitig beeinflussen. Die optimale Lösung aus den partiellen Varianten, die die kundenspezifischen Anforderungen erfüllt, wird dann mittels ökonomischen Minimalprinzips der LC-Gesamtkosten bestimmt ([6], [25], [26]). Im Folgenden werden die Teilsysteme mit ihren Modulen zusammengestellt:

- Energetisch passives Gebäudeteilsystem
- Teilsystem Wärme- und Kältebereitstellung
- Teilsystem elektrische Energie
- Teilsystem Wasserver- und -entsorgung
- Teilsystem Ausbau

3.1 Module des energetisch passiven Teilsystems

Das energetisch passive Teilsystem fasst die Module eines LC-Leistungsangebots zusammen, die die energetische Passivität eines Gebäudes sicherstellen und so den Energieverbrauch nachhaltig senken. Die Mechanismen der energetischen Passivität sind die Vermeidung von Energieverlusten, die Berücksichtigung externer (Sonne) und interner (Personen, elektrische Geräte etc.) Quellen für Wärmeenergie sowie der Ausgleich der Diskrepanz zwischen Wärmeenergieanfall und Wärmeenergiebedarf durch passive Zwischenspeicherung.

Modul Gebäudehülle/Fassade

Als Schnittstelle zwischen der Umwelt und dem Inneren eines Gebäudes stellt die Fassade ein zentrales Modul des energetisch passiven Teilsystems dar. Unter Berücksichtigung der Nutzeranforderungen (Bild 7) obliegt der Fassade die Sicherung der energetischen Passivität des Gebäudes durch Vermeidung von Energieverlusten und Nutzbarmachung bzw. Vermeidung externer Energiegewinne.

Im Hinblick auf die energiebezogene Gebäudeoptimierung sind dabei verschiedene sich unter Umständen widersprechende Optimierungsprobleme zu lösen. Die energetische Optimierung muss die multifunktionalen Anforderungen an

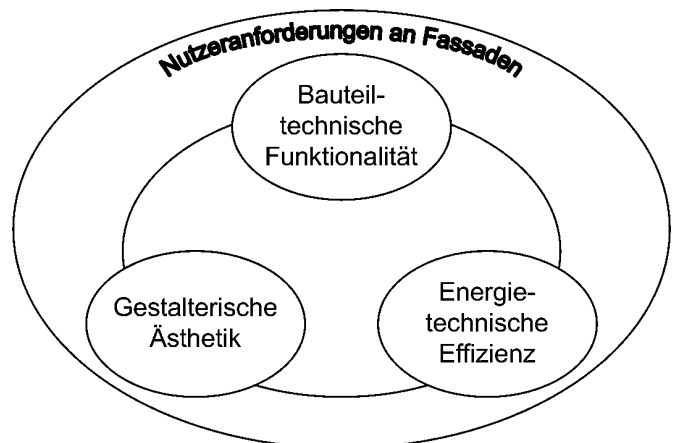


Bild 7. Typologie der Nutzeranforderungen an Fassaden
 Fig. 7. Typology of user requirements for facades

die Fassade berücksichtigen. Die multifunktionalen Anforderungen beinhalten insbesondere die bauphysikalischen Anforderungen im Hinblick auf Trennung des Außen- vom Innenklima, Tageslichtversorgung und Sonnenschutz sowie ästhetische Anforderungen an die Gestaltung der Fassade und die Anforderungen, die sich aus der Vernetzung mit den anderen energetischen Modulen und Teilsystemen ergeben. So können die Anforderungen an eine Fassade im Sommer und im Winterfall gegensätzlich sein. Darüber hinaus muss die energietechnische Optimierung der Fassade unter Berücksichtigung der *gestalterisch ästhetischen Anforderungen* des Bauherrn erfolgen. Dabei sind Fassaden des zeitgenössischen Geschmacks (z.B. Metall-Glas-Fassaden) nicht immer die sinnvollsten energetischen Lösungen (z.B. sommerlicher Wärmeschutz). Bauherren werden sich trotzdem hinsichtlich ihrer gestalterisch ästhetischen Anforderungen an die Fassade nicht komplett der energetischen Optimierungsaufgabe unterordnen wollen oder können. Von der gestalterischen Ästhetik wird nicht zuletzt auch die lebenszyklusorientierte Werthaltigkeit des Gebäudes wesentlich mitbestimmt. Verschiedene Fassadenkonzepte sind in **Bild 8** dargestellt.

Die Gratwanderung zwischen gestalterischer Ästhetik und optimierter Energiebilanz der Fassade stellt deshalb eine besondere Herausforderung an Planung und Erstellung der Fassade und die integrale, gesamtenergetische Optimierung des Bauwerks dar. Als Antwort auf diese Herausforderung entwickeln sich Fassaden zunehmend zu multifunktionalen, aktiven Gebäudehüllen mit dem Ziel, die *energietechnische Effizienz* zu steigern. Beispiele für Elemente in multifunktionalen Fassaden, die Einfluss auf die Energiebilanz eines Gebäudes nehmen, sind (**Bild 9**):

- Automatisch öffnende Fensterflügel zur passiven nächtlichen Belüftung [28] eines Gebäudes, um den aktiven Kühlungs- bzw. Lüftungsbedarf zu senken.
- Moderne, automatische Sonnenschutzanlagen als Schutz vor Überhitzung und Blendung in einem Gebäude an sonnenintensiven Tagen [29], um den aktiven Kühlungsbedarf eines Gebäudes zu senken.
- Lichtleitsysteme, die in Abhängigkeit vom natürlichen Lichteinfall Tageslicht blendfrei in das Gebäude reflektieren, um so elektrische Energie für die Beleuchtung einzusparen.
- Dezentrale, in die Fassade integrierte Haustechnik (Heizung, Kühlung, Lüftung), die durch ihre abschnittsweise individuelle Anordnung und integrierte Wärmerückgewinnung eine effiziente, nutzungsspezifische Klimatisierung der Gebäude ermöglicht, um so Energie zur Wärme- bzw. Kältegewinnung und zur Be- und Entlüftung einzusparen.
- Photovoltaische Fassaden- oder Dachelemente, die die Gewinnung elektrischer Energie in der Gebäudehülle ermöglichen.
- Optische und thermische Sensoren, die die Helligkeit sowie das Klima in den Räumen feststellen und an die haustechnischen Steuerelemente weiterleiten, um so zu einem energieeffizienten Nutzungskomfort im Gebäude beizutragen. [30]

Modul Bauteilaktivierung

Im Modul der Bauteilaktivierung von Massebauteilen werden verschiedene innovative Technologien zusammengefasst, die nicht benötigte Nutzenergie zum Zeitpunkt ihres Anfalls aufnehmen, zwischenspeichern und im Bedarfsfall

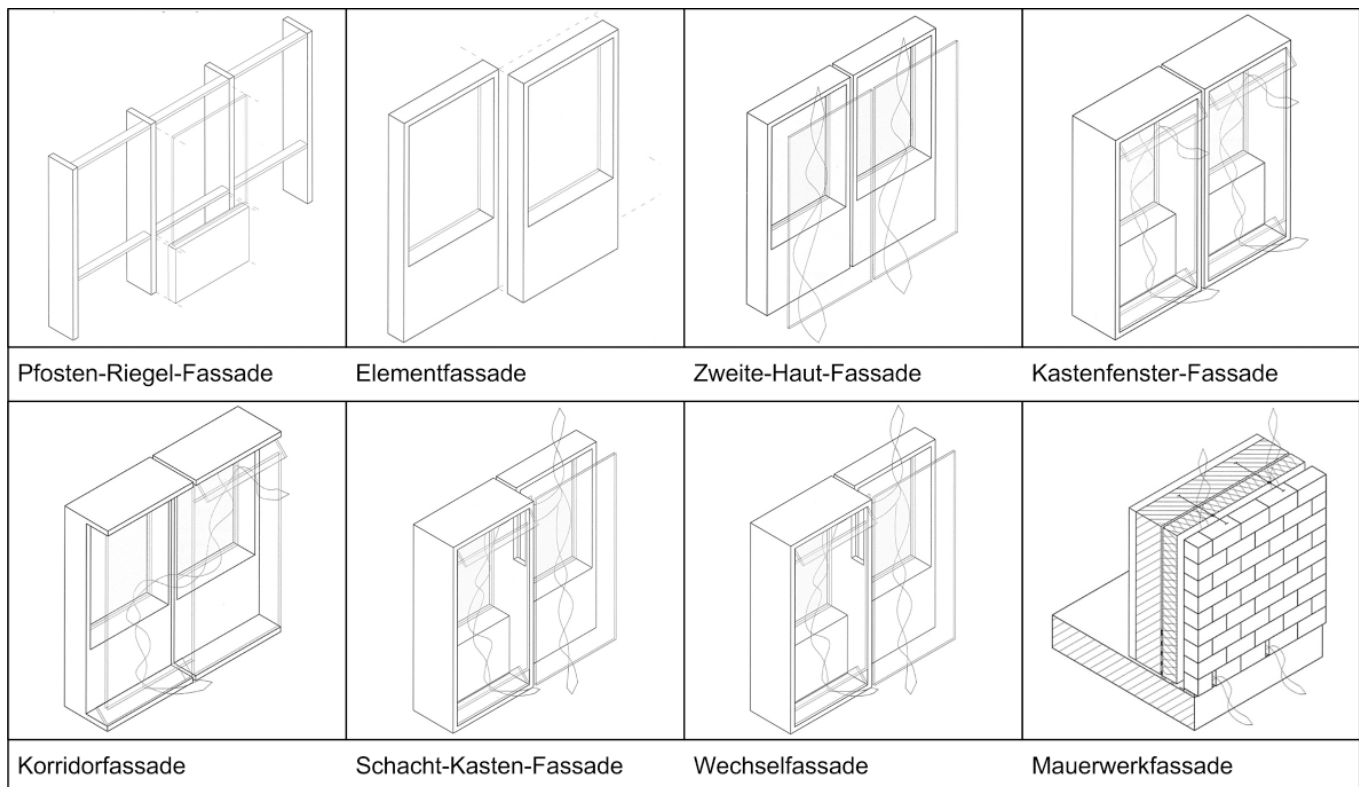


Bild 8. Verschiedene Fassadenkonzepte zur Umsetzung der Konstruktionsprinzipien von einschaliger Fassade und Doppelfassade [27]
 Fig. 8. Different facade concepts which implement the construction principles of single-leaf facades and double skin facades [27]

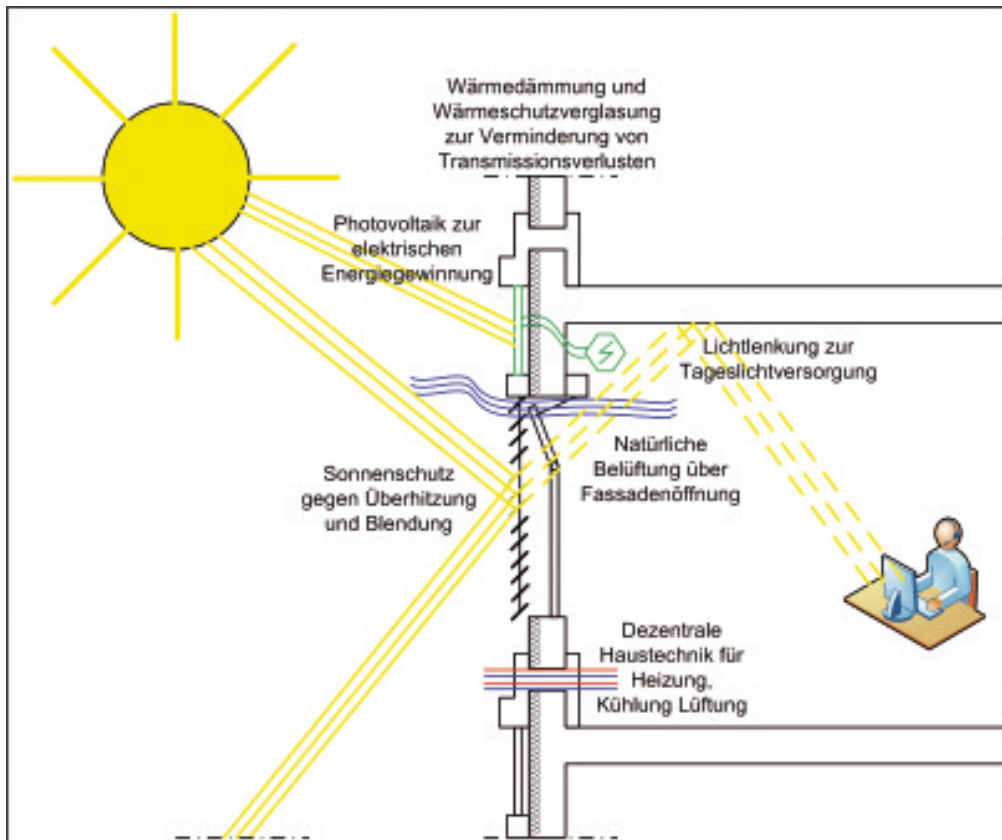


Bild 9. Beispiele für Elemente in multifunktionalen Fassaden mit Einfluss auf die Energiebilanz eines Gebäudes
 Fig. 9. Examples of elements in a multi-functional facade that influence the energy balance of a building

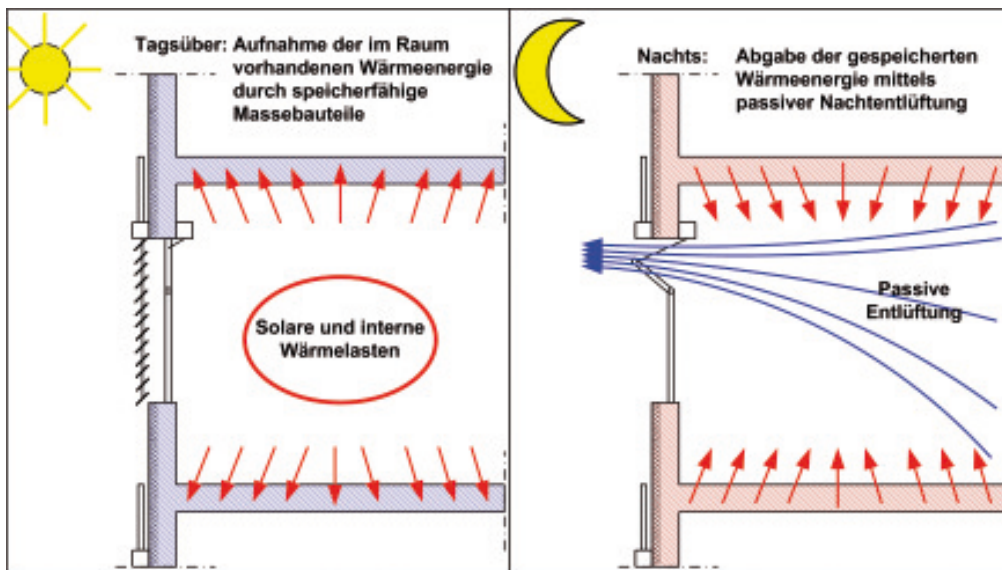


Bild 10. Prinzip der Bauteilaktivierung zur Kühlung von Räumen mittels passiver Nachtlüftung
 Fig. 10. Principle of component activation for the purpose of using passive night ventilation to cool rooms

wieder an ihre Umwelt abgeben. Diese Technologien sorgen dafür, dass Nutzenergie nicht ungenutzt an die Gebäudeumwelt abgegeben werden muss.

Beispielsweise nehmen solche Massebauteile die im Raum vorhandene Wärmeenergie tagsüber auf und kühlen so den Raum ab. Nachts wird mittels Belüftung diese Wärmeenergie abgeführt, so dass der Speicher am nächsten Tag wieder zur Verfügung steht (Bild 10).

Mittels zusätzlich integrierten Rohrsystemen kann die Regulierung der Temperaturen über Massebauteile gezielt gesteuert werden [31]. Kaltes oder warmes Wasser, das diese Rohrsysteme durchströmt, sorgt für einen optimierten Transport der Wärmeenergie, sodass den angeschlossenen Räumen gezielt Wärme entzogen oder zugeführt werden

kann (Bild 11). Die indirekte Raumtemperierung über Massebauteile ist mittels spezieller Steinformate auch im Mauerwerksbau möglich [32]. Dabei werden Rohrleitungen durch dafür vorgesehene Lochungen in den Mauerwerkssteinen geführt und mit kaltem oder warmem Wasser beschickt (Bild 12).

3.2 Module des Teilsystems Wärme- und Kältebereitstellung

Das Teilsystem Wärme- und Kältebereitstellung eines LC-Leistungsangebots beinhaltet die Elemente eines Gebäudes zur aktiven Wärme- bzw. Kältengewinnung. Regenerative und nicht-regenerative Primärenergieträger werden dabei mittels entsprechenden Technologien zur Nutzenergieform Wärme bzw. Kälte umgewandelt (Bild 13).

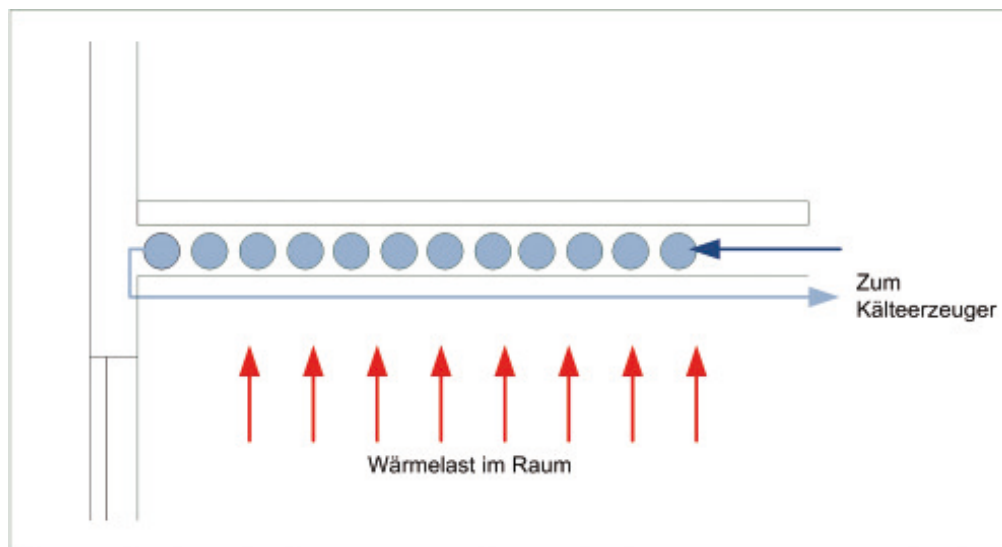


Bild 11. Prinzip der Betonkernaktivierung einer Decke zur Kühlung von Räumen mittels integrierten Rohren [31]
 Fig. 11. Principle of activating the concrete core of a ceiling for the purposes of cooling rooms with the aid of integrated pipes [31]

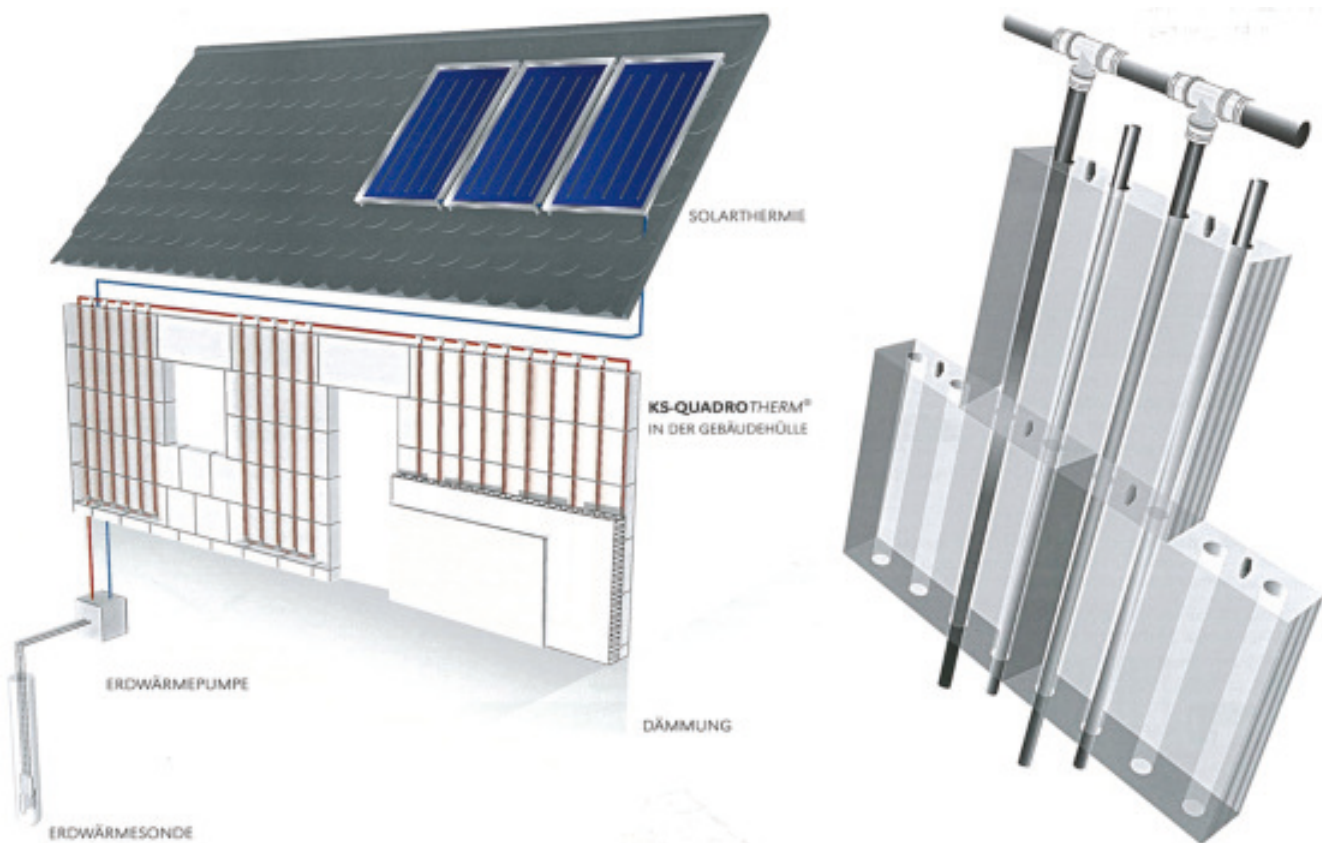


Bild 12. Behagliches Wohnklima durch KS-Steine mit integrierten Installationskanälen [33]
 Fig. 12. Comfortable in-house climate created by lime sand stones with integrated installation ducts [33]

Modul HKL-Anlage

Als zentrales Element zur Umwandlung von Primär- in Nutzenergie nimmt die HKL-Anlage ebenfalls eine Schlüsselrolle in der energetischen, lebenszyklusorientierten Optimierung eines Gebäudes ein. Neben der Steigerung des Wirkungsgrads der HKL-Anlage zur aktiven Reduktion des Primärenergieverbrauchs ist die Steigerung des Anteils regenerativer Energieträger ein wesentliches Ziel der Optimierung der HKL-Anlage und des gesamten Gebäudes.

Ansatzpunkte zur lebenszyklusorientierten Optimierung des HKL-Systems sind beispielsweise [31]:

- **Energieverluste** – Vermeidung von Nutzenergieabflüssen am Ort der Nutzung:
 Die Wärmedämm-Massnahmen an der Gebäudehülle zur Vermeidung von Transmissionswärmeverlusten sind durch Maßnahmen zur Vermeidung von Lüftungswärmeverlusten zu ergänzen (z.B. Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung).

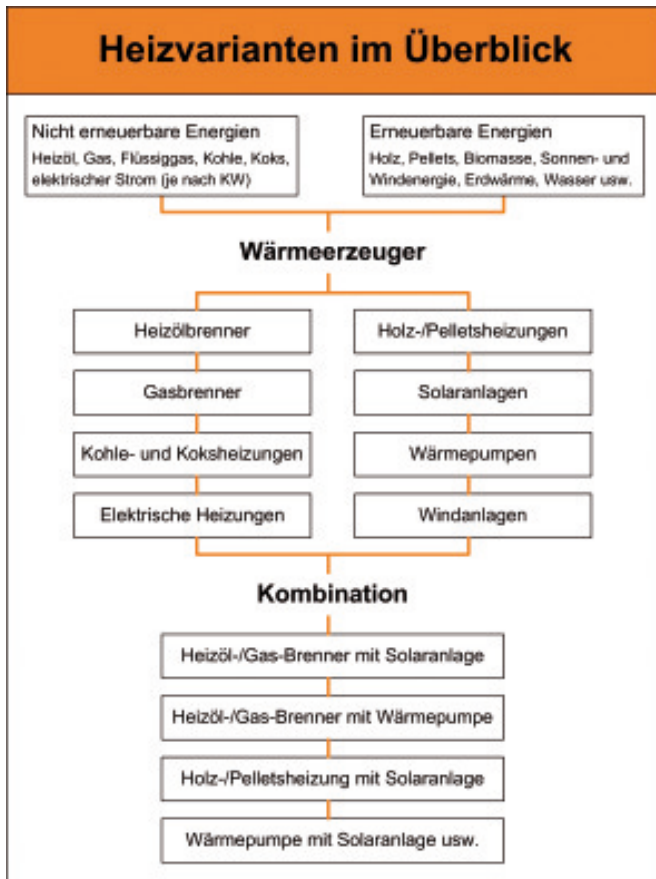


Bild 13. Heizvarianten im Überblick [34]
Fig. 13. Overview of heating variants [34]

- **Energieressourcen** – Auswahl des Primärenergieträgers: Anstreben weitgehender Energieautarkie hinsichtlich fossiler Energieträger unter Berücksichtigung regenerativer Energieträger wie z.B. Sonnenenergie, Geothermie und Biomasse.
- **Energieumwandlung** – Umwandlung von Primär- in Nutzenergie
Bei notwendigen Verbrennungsprozessen regenerativer (z.B. Holzpellets, Kompogas etc.) und fossiler Brennstoffe (z.B. Heizöl, Erdgas etc.) ist zur Steigerung des Wirkungsgrads der HKL-Anlage die Polygeneration von Wärme und Elektrizität mittels Wärme-Kraft-Anlagen anzustreben.
- **Energieverteilung** – nutzungsgerechte Verteilung der Nutzenergie:
Die Nutzenergiekreisläufe der HKL-Anlage sind so zu strukturieren (Nutzungszonen), dass Gebäudebereiche (z.B. raum- oder etagenweise) entsprechend ihrer Nutzung mit Nutzenergie versorgt werden können (z.B. Thermostatventile und Einzelraumregelung).
- **Information** – Rückkoppelung an die Nutzer hinsichtlich ihres Energiekonsumverhaltens mittels digitaler Informationssysteme, um ihnen einen Benchmark bzw. den Vergleich mit anderen Nutzern zu ermöglichen.

Modul thermische Solarenergienutzung

Mittels thermischer Solarenergienutzung kann die Energie der Sonnenstrahlung als regenerativer Energieträger zur Wärmeversorgung eines Gebäudes nutzbar gemacht werden. Dazu wird in einem Solarkollektor über einen Absorber die Energie der Sonnenstrahlung als Wärmeenergie an eine Wärmeträgerflüssigkeit übertragen. Diese Wärmeträger-

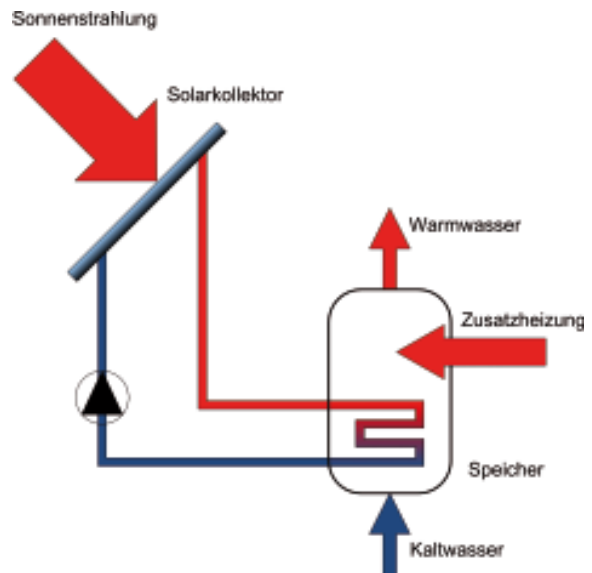


Bild 14. Prinzip einer thermischen Solaranlage zur Warmwasserbereitung [31]
Fig. 14. Principle of a thermal solar system for the purpose of heating water [31]

flüssigkeit transportiert die Wärmeenergie über ein Rohrleitungssystem zu einem Wärmetauscher im Wasserspeicher, in dem Wasser zur weiteren Verwendung für den Nutzer erwärmt wird (Bild 14). Als Ergänzung der HKL-Anlage können thermischer Solarenergienutzung Verbrennungsprozesse reduziert bzw. vermieden werden und damit nicht-regenerative Primärenergieträger und CO₂-Emissionen eingespart werden. Darüber hinaus weist die Nutzung der thermischen Solarenergie eine vergleichsweise günstige Energiebilanz auf ([35], [36]). Durch Übernahme von Planung, Installation, Wartung und Unterhalt der Sonnenkollektoren können LC-Leistungsanbieter wesentlich weiter reichende Ertragsgarantien (Abrechnung z.B. in kWh/m² in Abhängigkeit der Sonnenscheindauer) gegenüber dem Endkunden abgeben als bisher üblich.

Modul Geothermie

Mittels Geothermie kann der Untergrund von Gebäuden auf verschiedene Art und Weise zur Gewinnung thermischer Energie genutzt werden [37]. Dazu wird die im Untergrund gespeicherte Wärmeenergie mittels Wärmepumpe für die Beheizung bzw. die Warmwasserversorgung eines Gebäudes nutzbar gemacht (Bild 15). Das Prinzip der Wärmepumpe folgt einem thermodynamischen Kreisprozess (Bild 16). Dabei überträgt die Wärmepumpe die Umweltwärmeenergie in einem Verdampfer zunächst auf ein Kältemittel. Im Verdichter wird durch Kompression die im Kältemittel enthaltene Umweltwärme auf ein höheres Temperaturniveau angehoben, um sie im Wärmetauscher des Verflüssigers an den Heizkreislauf auf Vorlauftemperaturniveau abgeben zu können. Am Expansionsventil wird das zuvor komprimierte Kältemittel entspannt, wodurch es sich abkühlt und zur erneuten Aufnahme von Wärmeenergie im Verdampfer bereit steht. Je nach Leistungsfähigkeit der entsprechenden Anlage können dabei wesentliche Anteile des Wärmeenergiebedarfs eines Gebäudes regenerativ gedeckt werden. Werden die notwendigen Wärmepumpen dabei zusätzlich mittels Strom aus regenerativen Energiequellen (z.B. Photovoltaik)

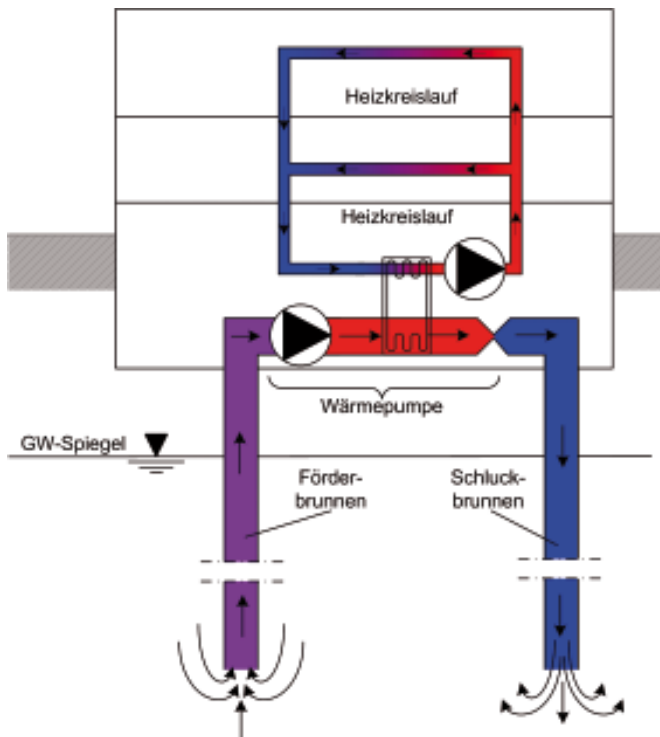


Bild 15. Prinzip der Erdwärmenutzung über das Grundwasser mittels Brunnenanlage und Wärmepumpe
 Fig. 15. Principle of utilizing geothermal energy via the ground water using a well system and heat pump

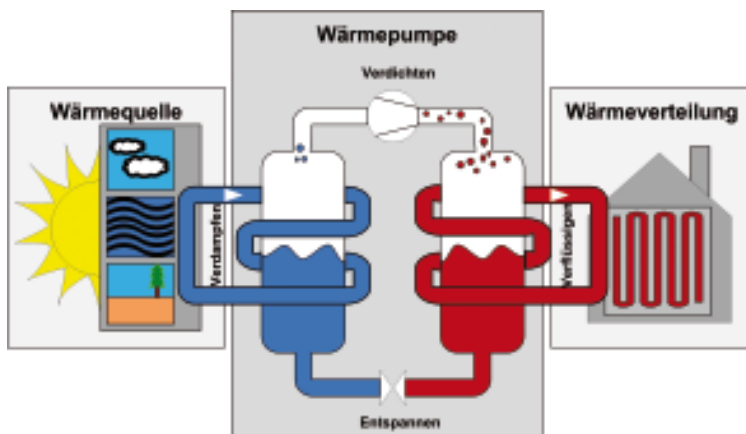


Bild 16. Prinzip einer Wärmepumpe als thermodynamischer Kreisprozess
 Fig. 16. Principle of a heat pump as a thermodynamic cycle process

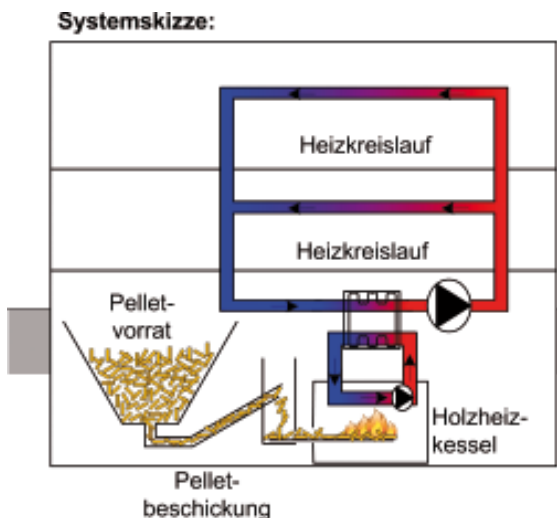


Bild 17. Systemskizze der Biomassenutzung mittels Holzpellets zur Beheizung und Warmwasserversorgung eines Gebäudes
 Fig. 17. System layout of utilizing biomass in the form of wood pellets for the purpose of heating and supplying hot water for a building

gespeist, kann von einem weitestgehend energieautarken Wärmeenergiesystem gesprochen werden. Entsprechend günstig ist die Energiebilanz der Geothermie hinsichtlich nicht-regenerativer Primärenergieträger.

Modul Biomasse

Die in Biomasse gespeicherte Energie kann als regenerative Energie zur Gewinnung von Wärmeenergie nutzbar gemacht werden (Bild 17). Dazu wird die Biomasse (z.B. Holzpellets oder Biogas/Kompogas) als Brennstoff für Heizungsanlagen genutzt (Bild 18).

Unter dem Nachhaltigkeitsaspekt ist dabei jedoch zu beachten, dass Biomasse als Energieträger in Konkurrenz zu Biomasse als Nahrungsquelle sowie zur nachhaltigen Forstwirtschaft stehen kann. Die Konkurrenzsituation entsteht durch den hohen spezifischen Flächenbedarf von Biomasse für die Energieproduktion, die dann der Nahrungsmittelproduktion nicht mehr zur Verfügung steht. Darüber hinaus führt die intensive Nutzung von Agrarflächen für die Biomasseproduktion zur Energiegewinnung langfristig zu Bodenverdichtung, Bodenerosion und Schadstoffeinlagerungen [38].

3.3 Module des Teilsystems elektrische Energie

Das Teilsystem elektrische Energie eines LC-Leistungsangebots beinhaltet die Elemente eines Gebäudes zur Gewinnung und Nutzung von elektrischer Energie. Elektrische Energie stellt eine gegenüber Wärmeenergie vergleichsweise hochwertige Form der Nutzenergie dar, weil sie universell einsetzbar und gut speicher- und transportierbar ist und sich darüber hinaus mit einem hohen Wirkungsgrad in andere Energieformen wie z.B. Wärmeenergie überführen lässt.

Modul Wärme-Kraft-Koppelung

Wo immer ein Feuer zur Energieumwandlung eingesetzt wird, sollte zunächst hochwertige elektrische Energie gewonnen werden [38]. Wärme-Kraft-Anlagen (z.B. Blockheizkraftwerke) wandeln fossile (Erdöl, Erdgas, Kohle), aber auch regenerative Primärenergieträger (Kompogas, Holzpellets, etc.) mittels Verbrennung in elektrische Energie um (Bild 19). Die dabei produzierte Abwärme kann zur Beheizung bzw. Warmwasserbereitung genutzt werden (Bild 20). Das Verhältnis von Stromproduktion zu Wärmeproduktion variiert dabei je nach Anlage zwischen 25% bis 40% Stromausbeute und 50% bis 65% Wärmeausbeute. Wärme-Kraft-Anlagen dienen somit der Polygeneration von elektrischem Strom und Wärme und können darüber hinaus Kälte erzeugen. Wärme-Kraft-Anlagen weisen eine vergleichsweise günstige Energiebilanz auf, weil sie durch ihren hohen Wirkungsgrad (bis zu 95%) die Primärenergieträger gegenüber der getrennten Herstellung von elektrischer Energie und Wärmeenergie wesentlich effizienter nutzen.

Modul photovoltaische Solarenergienutzung

Mittels der Produktion von elektrischem Strom in gebäudeintegrierten Photovoltaikanlagen kann ein wesentlicher Beitrag zur Energieautarkie von lebenszyklusorientierten Gebäuden geleistet werden. Insbesondere Dünnschichtzellen-Solarmodule aber auch kristalline Solarzellen lassen sich integrativ in das energetische Gesamtsystem bzw. die

Fassade eines Gebäudes einbinden [39]. Dadurch wird die Gebäudehülle zu einer photovoltaisch aktiven Fläche und ein Gebäude in seiner Gesamtenergiebilanz vom Energieverbraucher zum Energieerzeuger (Bild 21). In den Solarzellen eines Solarmoduls wird unter Ausnutzung des photovoltaischen Effekts die Strahlungsenergie der Sonne in elektrische Energie umgewandelt (Bild 22). In kristallinen Siliziumsolarmodulen wird dabei durch Anreicherung der Siliziumscheibe mit Phosphor (n-Gebiet) bzw. Bor (p-Gebiet) in der Siliziumzelle ein elektrisches Feld induziert. Treffen nun die Lichtquanten der Sonnenstrahlung in der Raumladungszone auf Siliziumatome, werden die Elektronen der Siliziumatome mit Energie angereichert und verlassen ihre Kreisbahn um das Atom. Das Ergebnis ist ein freies Elektron (negative Ladung am Minus-Pol), das ein Elektronenloch im Atom (positive Ladung am Pluspol) hinterlässt. Durch Verbinden der beiden Pole können die überschüssigen Elektronen vom Minus-Pol zum Pluspol wandern und die Elektronenlöcher schließen. Die Lichtquanten der Sonnenstrahlung sorgen dafür, dass in der Raumladungszone immer wieder Elektronen von den Siliziumatomen getrennt werden und so überschüssige Elektronen am Minuspol und Atome mit Elektronenlöchern am Pluspol für einen Stromfluss sorgen.

Die günstige Primärenergiebilanz der Photovoltaik wird untermauert durch die Energierückzahldauer von 2,9 Jahren [35].

Modul Beleuchtung

Im Rahmen des Moduls Beleuchtung garantieren die LC-Leistungsanbieter für Büro- raumfläche eine definierte Helligkeit zu bestimmten Kosten. Ansatzpunkte für eine energetische Optimierung der Beleuchtung sind die Leuchtmittel (z.B. Energiesparbeleuchtung) und die Beleuchtungssteuerung. Sensoren dokumentieren die Tageslichteinstrahlung in den Räumen, so dass die Abweichung zu einem definierten Referenzzustand als Faktor in die Abrechnung mit einbezogen werden kann. Diese Sensoren steuern auch die künstliche Beleuchtung in den Räumen (Bild 25).

Am Beispiel der Beleuchtung zeigt sich sehr anschaulich die Komplexität der lebenszyklusorientierten Optimierungsaufgabe. Eine Fassadenkonstruktion, die durch effektive Tageslichtnutzung für Energieeinsparungen in der Beleuchtung sorgt, führt unter Umständen zu einem erhöhten Energiebedarf bei der Kühlung des Gebäudes an warmen Sommertagen. Solche vermeintlichen Optimierungsdilemmata sind nur durch iterative gewerkeübergreifende Zusammenarbeit der Planer und Ersteller aller tangierenden Module und Teilsysteme zu lösen.

Prinzipskizze Pelletsheizungsanlage:



Bild 18. Prinzip der Biomassenutzung mittels Holzpellets zur Beheizung und Warmwasserversorgung [34]

Fig. 18. Principle of utilizing biomass in the form of wood pellets for the purpose of heating and supplying hot water [34]

Beispiel einer Einbindung

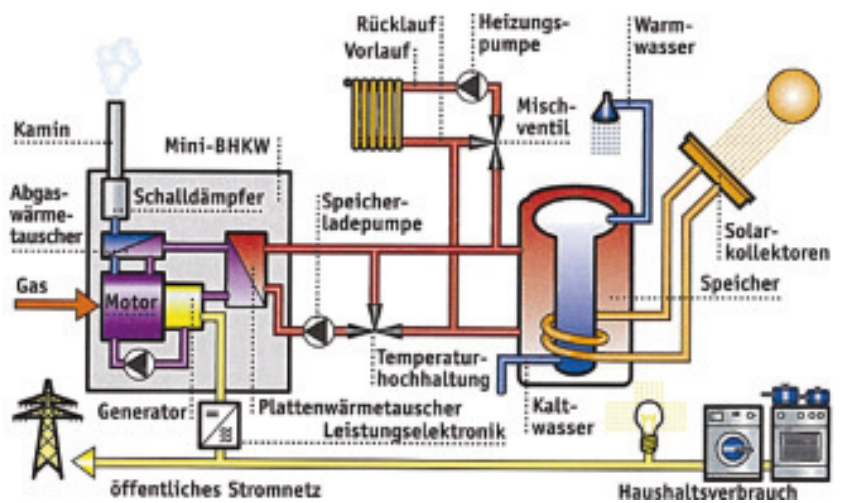


Bild 19. Systemskizze der Wärme-Kraft-Koppelung durch Einbindung eines Mini-Blockheizkraftwerkes in das Energiesystem eines Gebäudes [34]

Fig. 19. System layout of the cogeneration of heat and power by integrating a mini block heat and power plant into the energy system of a building [34]

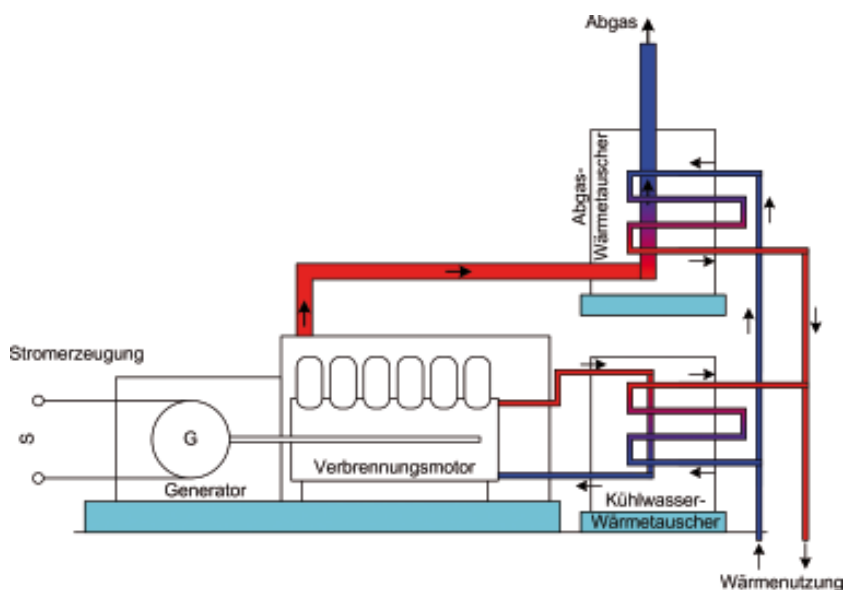


Bild 20. Prinzip der Wärme-Kraft-Koppelung durch Nutzung der Abwärme eines Verbrennungsmotors, der einen Generator antreibt (in Anlehnung an [31])

Fig. 20. Principle of cogeneration of heat and power by utilizing the waste heat of a combustion engine which powers a generator (according to [31])

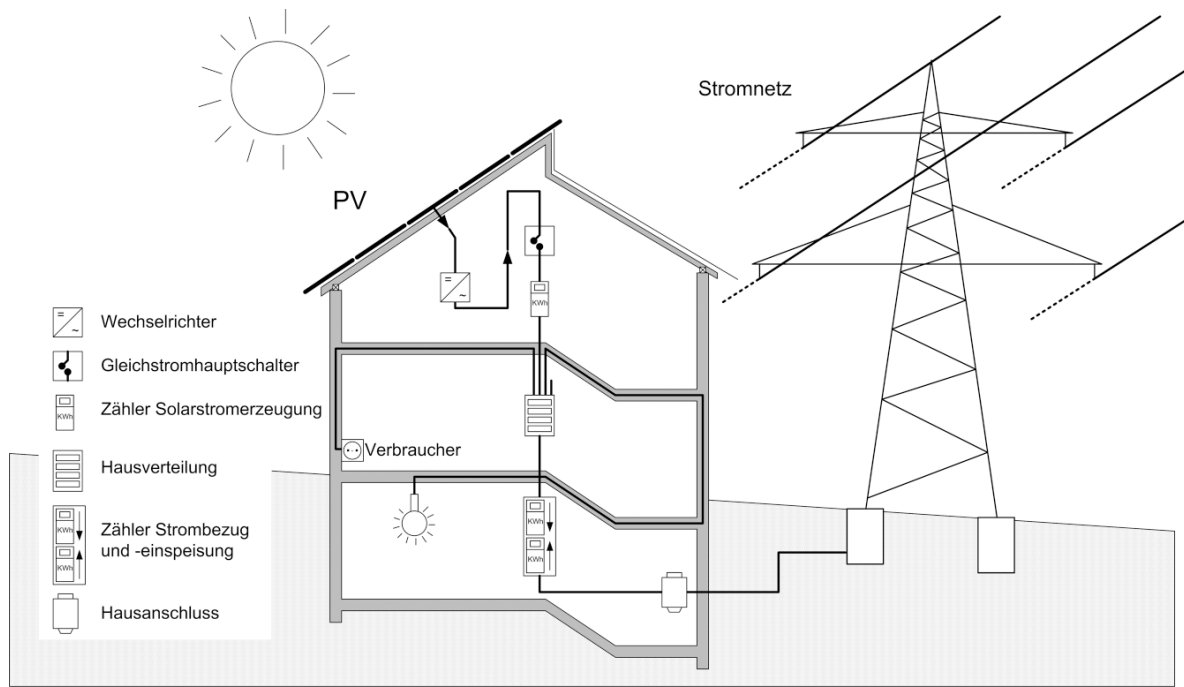


Bild 21. Netzgekoppeltes gebäudeintegriertes Photovoltaik-System [39]
 Fig. 21. Photovoltaic system integrated into the building and linked to the public grid [39]

Modul Gebäudesteuerung und -automation

Das Modul der Gebäudesteuerung- und -automation stellt das zentrale Element zur Verknüpfung der Module und Teilsysteme in projektspezifischen integrierten bzw. vernetzten Teilsystemen dar. Erst durch eine modul- und teilsystemübergreifende Gebäudesteuerung bzw. -automation kann das Gesamtoptimierungspotential von LC-Leistungsangeboten voll ausgeschöpft werden.

Ansatzpunkte für die lebenszyklusorientierte Optimierung eines Gebäudes sind die Überwachung, Steuerung und Regelung (**Bild 24**)

- der Beleuchtung, die bedarfsgerecht, d.h. in Abhängigkeit von z.B. Tageszeit und Raumbelegung, automatisch geschaltet wird,
- der HKL-Anlage, die in Abhängigkeit von z.B. dem Außenklima, der Raumbelegung und den spezifischen Anforderungen der einzelnen Nutzer über die Einzelraumregelung gesteuert wird,
- der Sonnenschutzeinrichtung, die in Abhängigkeit der einfallenden Sonnenstrahlung automatisch gesteuert wird sowie
- der Zutrittskontrollsysteme, die z.B. in Abhängigkeit der Tageszeit sowie individueller Legitimationssysteme (z.B. Chipkarten mit und ohne RFID-Technologie) den Zutritt zum Haus steuern.

Darüber hinaus können Gebäudesteuerungs- und -automationssysteme zur Überwachung und Dokumentation von Verbrauchsdaten genutzt werden.

Aufbau und Prinzip einer kristallinen Solarzelle

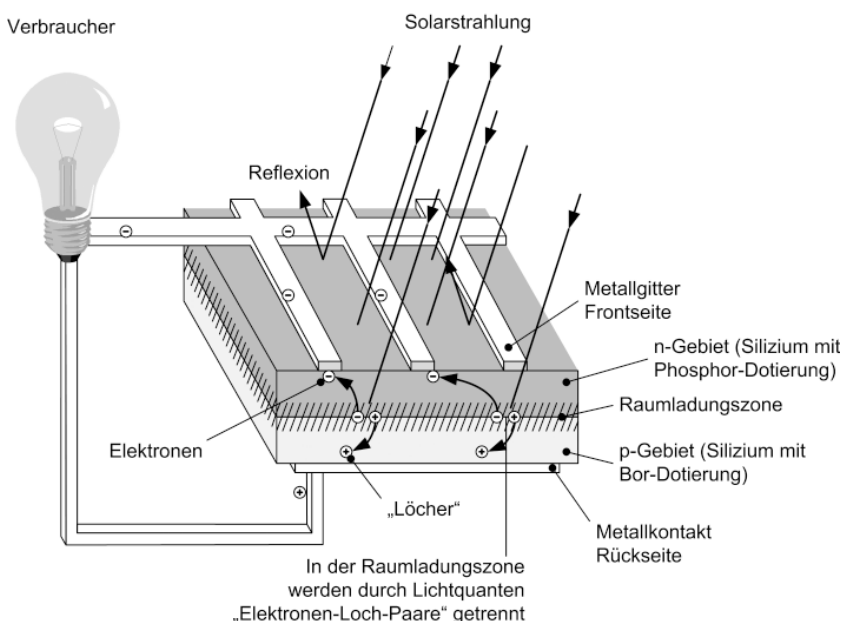


Bild 22. Aufbau und Prinzip einer kristallinen Solarzelle [39]
 Fig. 22. Design and principle of a crystalline solar cell [39]

3.4 Module des Teilsystems Wasserver- und -entsorgung

Die Optimierungsmaßnahmen des Teilsystems Wasserver- und -entsorgung zielen darauf ab, mittels nutzerunabhängiger Wassersparmaßnahmen die wertvolle Ressource Trinkwasser nachhaltig zu bewirtschaften. Dabei spielt neben der Versorgung mit hochwertigem Trinkwasser auch der ökologisch und ökonomisch nachhaltige Umgang mit Abwasser eine wichtige Rolle.

Modul Trinkwassernutzung

Die Optimierung der Trinkwassernutzung zielt deshalb darauf ab, Trinkwasser nur dort einzusetzen, wo es z.B. aus hygienetechnischen Gründen zwingend erforderlich ist. Dadurch können (energetische) Ressourcen bei der Aufbereitung eingespart werden.

Modul Regen-/Grauwassernutzung

Mittels Substitution von Trinkwasser durch Regen- bzw. Grauwasser kann ein weiterer wichtiger Beitrag zum Wasser- und damit Kosten sparen in der Nutzungsphase von Gebäuden geleistet werden.

Über ein separates Installationssystem kann das Regen- bzw. Grauwasser als sogenanntes Brauchwasser z.B. für die Toilettenspülung, die Reinigung und zur Bewässerung von Pflanzen genutzt werden (Bild 25). In die Wirtschaftlichkeitsüberlegungen müssen auch die Kosten der zusätzlichen Verrohrung sowie Auffang- und Lagerungseinrichtung mit Filteranlage für das Regen- bzw. Grauwasser einbezogen werden.

Modul technische Wassersparmaßnahmen

Mittels technischer Wassersparmaßnahmen können weitere Einsparpotentiale realisiert werden:

- wassersparende Toilettenspülkästen mit Spülstopp- bzw. Dosierfunktion sowie optimierte Toilettenecken mit innovativen Oberflächenmaterialien (Nanotechnologie), die weniger Wasser benötigen,
- wasserlose Urinale (Nanotechnologie),
- wassersparende Armaturen mit Durchflussbegrenzer sowie vollautomatische Armaturen,
- wassersparende Geräte, insbesondere Haushaltsgeräte mit entsprechenden Energiesparlabeln.



3.5 Module des Teilsystems Ausbau

Über die Definition von Ausbaustandards kann die lebenszyklusorientierte Flexibilität des Ausbaus einer Optimierung durch den LC-Leistungsanbieter zugeführt werden. Eine mögliche Struktur für die Definition der Ausbaustandards ist beispielsweise die Gliederung in „Grundausbau“, „Standardausbau“ und „nutzungsspezifischer Ausbau“.

Die im Zusammenhang mit einem Ausbaustandardwechsel im Lebenszyklus anfallende Aufwendungen (z.B. Kosten und Ausfallzeiten) könnten über Leistungs- bzw. Kostengarantien der Anbieter abgesichert werden. Damit gerät die Flexibilität des Aus-

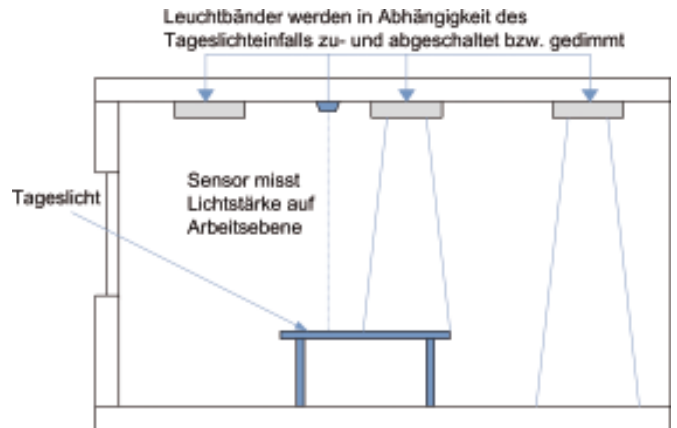


Bild 23. Prinzip der tageslichtabhängigen Beleuchtungssteuerung [31]
Fig. 23. Principle of daylight dependent lighting control [31]

baus sowohl in die Interessenssphäre der Kunden als auch der LC-Leistungsanbieter.

Um die Nutzungsänderungen möglichst effizient und für den Nutzer sicher kalkulierbar zu gestalten, müssen die Ausbaustandards auf bestimmten Rastern und entsprechenden flexiblen Wand- und Bodensystemen aufbauen.

Modul flexible Wand- und Bodensysteme

Über flexible Wand- und Bodensysteme kann der Flächenbedarf in Gebäuden an die sich ändernden Bedürfnisse der Nutzer angepasst werden, ohne dass dabei der Betriebsablauf der Nutzer wesentlich gestört wird (Bild 26).

Flexible, standardisierte Bodensysteme (z.B. Doppelboden) erlauben die multifunktionale flexible Nutzung des entste-

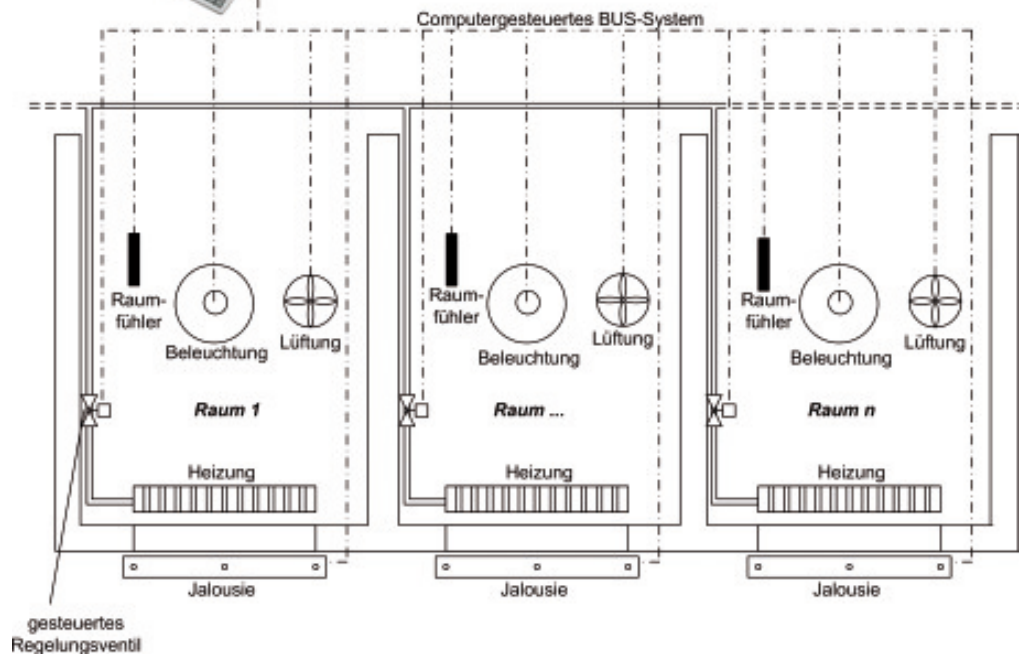


Bild 24. Einzelraumsteuerung über ein computergestütztes BUS-System zur Gebäudesteuerung bzw. -automation [31]
Fig. 24. Individual room control using a computer aided BUS system for purposes of building management and/or automation [31]

henden Hohlraums für Elektro-, HKL-, und IT- bzw. Kommunikationsinstallationen. Für den Nutzer ergibt sich daraus die Möglichkeit zur flexiblen Arbeitsplatzgestaltung und der damit verbundenen problemlosen Nach- und/oder Neuinstallation.

Flexible standardisierte Wandsysteme erlauben die Anpassung an sich verändernden Flächenbedarf bei der Raum- und Arbeitsplatzgestaltung. In vorgegebenen Rastern können leichte Trennwände flexibel ab- und wieder aufgebaut werden. Dabei bleibt die Raumaufteilung so flexibel, dass sie jederzeit angepasst werden kann.

Modul flexible Gebäudetechnik

Die Flexibilität der Gebäudetechnik kann im Wesentlichen durch die Ausrüstung der Verteilssysteme für Strom, Kommunikation und EDV, Wasser und Abwasser sowie der HKL-Anlage mit Zwischenverteilern erreicht werden. Dabei sollte ein Raster realisiert werden, in dem Anschlüsse für die Installationen der Gebäudetechnik bereitgehalten werden. Mittels in Wänden und Decken vorgehaltenen Leerrohren ist eine flexible Erweiterung, Veränderung und Anpassung an sich verändernde Anforderungen an Strom-, Kommunikations- und EDV-Leitungssystemen möglich (Bild 27). Durch die so realisierte Flexibilität der Gebäudetechnik ist mit optimiertem Aufwand die Anpassung an unterschiedliche Raumgrößen und -formen sowie Arbeitsplatzanordnungen möglich.

Modul Boden- und Innenwandbeläge

Die Unterhaltsreinigung der Boden- und Innenwandbeläge macht einen hohen Anteil an den Nutzungskosten eines Gebäudes aus. Die lebenszyklusorientierte Optimierung des Moduls erfolgt aufgrund der Lebenszykluskosten unter Berücksichtigung der Grundinvestition, eines wirtschaftlich günstigen Reinigungskonzeptes sowie der Werthaltigkeit der Bodenbeläge und Innenwandbekleidungen. Um ein lebenszyklusorientiertes Interesse des Anbieters am Modul Boden- und Innenwandbeläge sicherzustellen sind der Reinheits- und Abnutzungsgrad bei definierter Nutzung durch den Nutzer zu beschreiben.

4 LC-Leistungsbündel – Synergiepotentiale bei der projektspezifischen Gestaltung der integrierten bzw. vernetzten Teilsysteme eines LC-Leistungsangebots

Aus den beschriebenen Modulen und Teilsystemen können im Rahmen eines LC-Leistungsangebots projektspezifische LC-Leistungsbündel in Form integrierter bzw. vernetzter Teilsysteme gebildet werden (Bild 28). Durch die Generierung höherwertiger Leistungsinnovationen auf Projektebene werden komplexe spezifische Lösungen als Antwort auf die Anforderungen und Bedürfnisse potentieller Kunden eines LC-Leistungsangebots geliefert. Ziel der Integration und

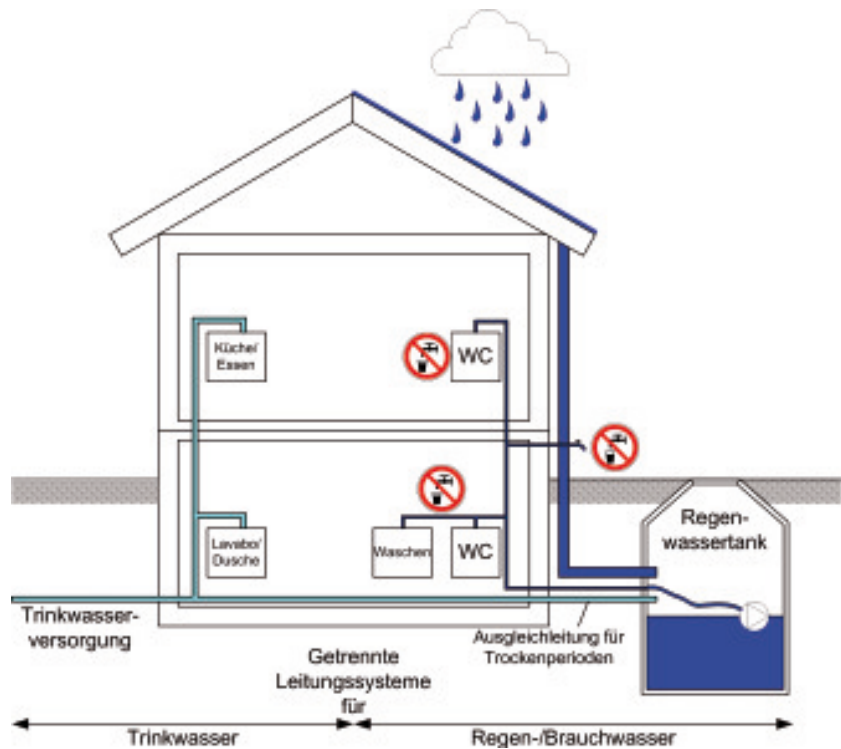


Bild 25. Prinzip der Regenwassernutzung mit getrennten Leitungssystemen für Trink- und Brauchwasser
 Fig. 25. Principle of rainwater utilization with separate piping systems for drinking and household water

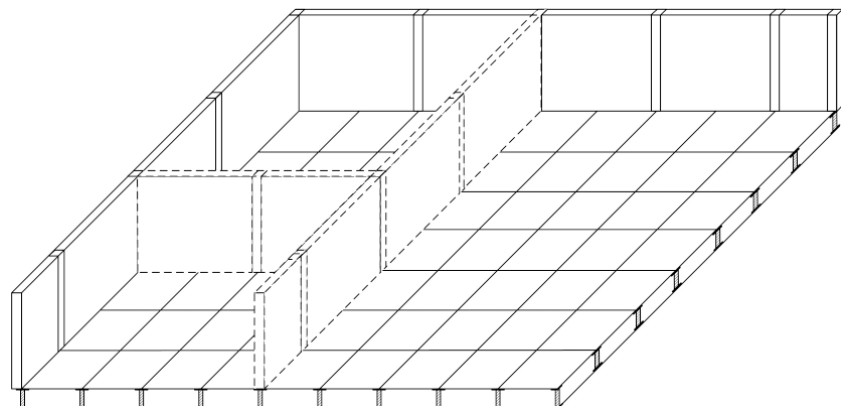


Bild 26. Flexible Raum- und Arbeitsplatzaufteilung mittels flexibler Wand- und Bodensysteme in vorgegebenen Rastern
 Fig. 26. Flexible room and workplace partitioning using flexible wall and flooring systems based on a specified grid

Vernetzung ist die Freisetzung kundenspezifischer, lebenszyklusorientierter Synergien, um zu einem Optimum der Lebenszykluskosten des Gebäudes und damit einem wahrnehmbaren Mehrwert für die Kunden zu gelangen.

Bild 29 zeigt die inhärenten Synergiepotentiale für bauliche Lösungsvarianten aus der Integration und Vernetzung verschiedener Module und Teilsysteme. Das Ziel der Optimierung in einem integrierten bzw. vernetzten Teilsystem ist die ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit sowie die weitgehende Energieautarkie hinsichtlich nicht-regenerativer Energieträger. Aus dieser Zielvorgabe ergeben sich Synergiepotentiale mit den Modulen und Teilsystemen, deren Inhalt die Nutzung regenerativer Primärenergieformen und der effiziente Einsatz daraus gewonnener Nutzenergieformen ist. Die Synergiepotentiale weiterer Module und Teilsysteme können [40] entnommen werden.

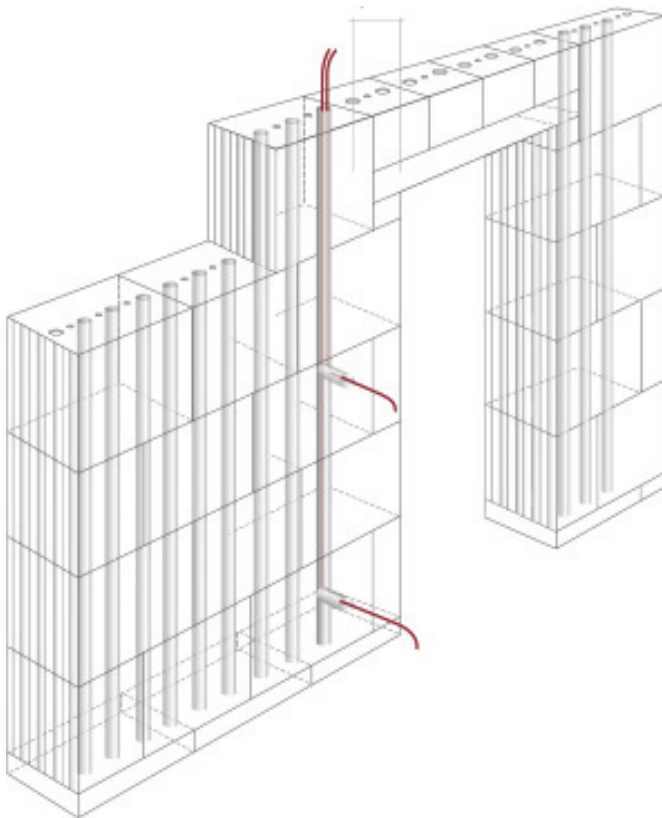


Bild 27. Flexible Gebäudeinstallation durch Vorhalten von Leerrohren für Strom-, Kommunikations- und EDV-Leitungssysteme [33]
 Fig. 27. Flexible building installation providing empty ducts for power, communication and computer routing systems [33]

In Anlehnung an das Systemanbieterkonzept von Girmscheid ([9], [12], [7]) kann ein solches, auf Nachhaltigkeit der Immobilien ausgerichtetes projektspezifisches LC-Leistungsangebot am Bauproduktmarkt z.B. durch einen kooperativen Ansatz synergetisch umgesetzt werden. Mittels systemgeschäftlicher Kooperation [41] können die für das LC-Leistungsangebot notwendigen Kompetenzen gebündelt und so die systeminhärenten Synergien in den integrierten bzw. vernetzten Teilsystemen freigesetzt werden.

5 LC-Leistungsbündel – Entscheidungsinstrument LC-Kostenanalyse

Im Rahmen der Projektentwicklung für ein Investitionsvorhaben ist die Kosten-Nutzen-Steuerung eine unabdingbare Maßnahme, um die Bauherrenziele zu erreichen. Ein entsprechendes projektphasenorientiertes Steuerungswerkzeug zur Beurteilung der Modulvarianten für die Teilsysteme und Variantenkombinationen der Teilsysteme für das Gesamtsystem Bauwerk bildet das von Girmscheid entwickelte „Holistische kybernetische Kostensteuerungsprozessmodell“ ([25], [26]).

Die möglichst realistische Prognose der Lebenszyklus- und insbesondere der Nutzungskosten von baulichen Anlagenvarianten stellt ein baubetriebswirtschaftliches Problem dar. Das von Girmscheid entwickelte LC-NPV-Modell [6] basiert auf dem ökonomischen Minimal- bzw. Maximalprinzip. Entsprechend dem dynamischen Investitionsparadigma werden mittels Net-Present-Value- (NPV) oder Kosten-Barwert-Methode (K-BW) die Ausgaben und Einnahmen (NPV) bzw. die Kosten und ihre kalkulatorischen Abschreibungen

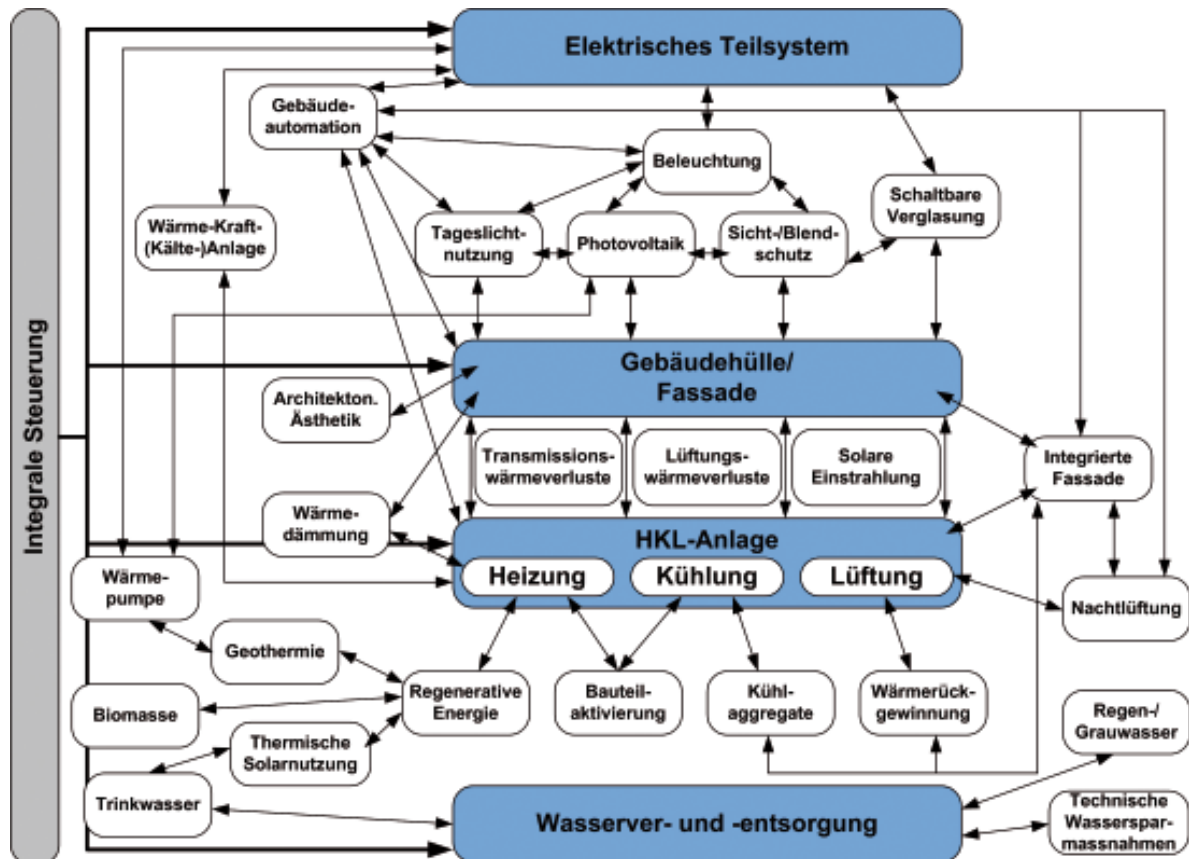


Bild 28. Verknüpfung der Teilsysteme und Module zu integrierten Teilsystemen eines LC-Leistungsangebots
 Fig. 28. Interlinking the sub-systems and modules to form integrated sub-systems of an LC service provision

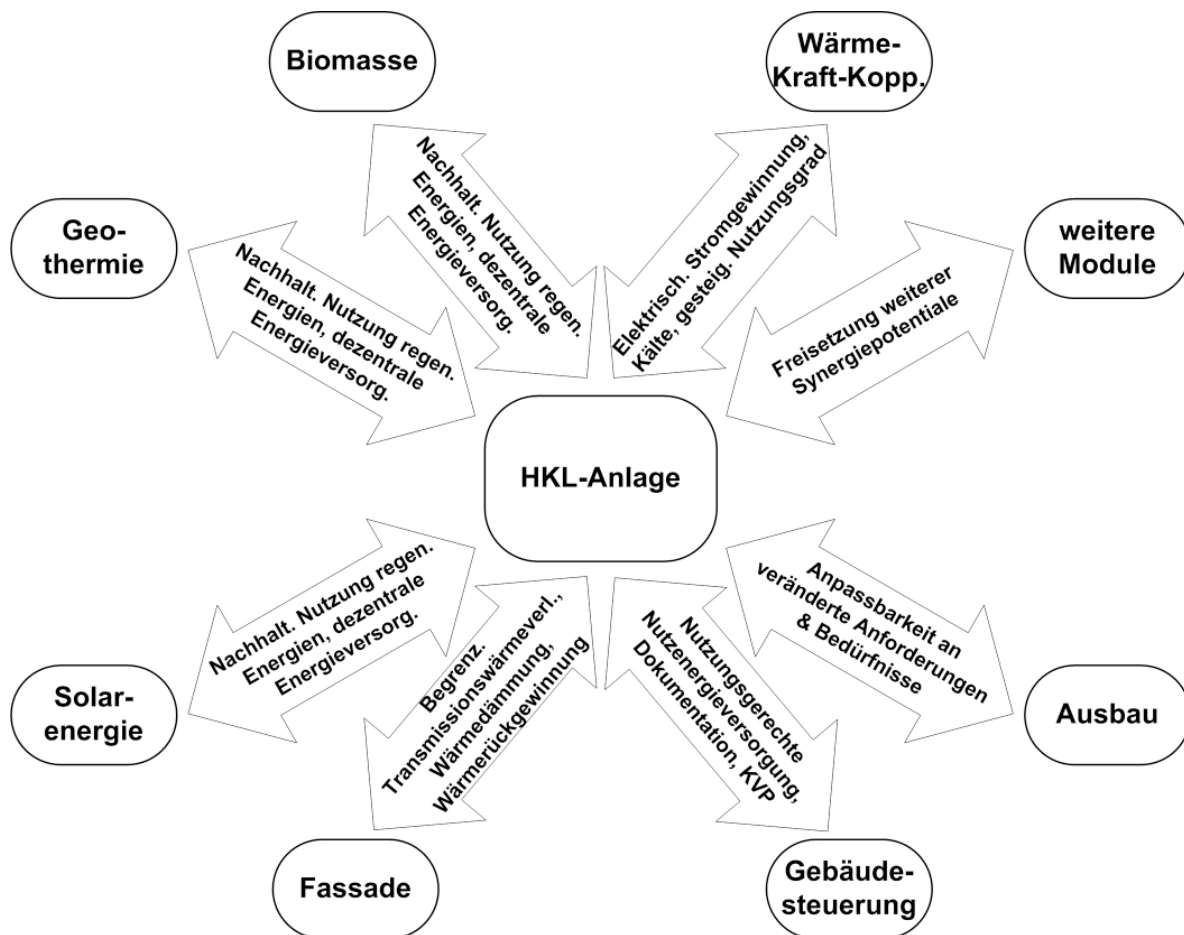


Bild 29. Projektspezifische Synergiepotentiale der HKL-Anlage mit Modulen anderer Teilsysteme im Gesamtsystem Gebäude

Fig. 29. Project-specific synergy potential offered by the HVAC system comprising modules from other sub-systems within the total building system

347

(K-BW) auf einen einheitlichen Zeitpunkt hin diskontiert. Zur Berücksichtigung der Unsicherheiten zukünftiger Zahlungsströme werden in diesem LC-NPV-Modell probabilistische Bandbreiten bei entsprechenden Szenarienbetrachtungen eingeführt. Das LC-NPV-Modell verbessert somit die Entscheidungsgrundlage auf Basis von Lebenszykluskosten für Investitionsvorhaben von Investoren und Bauherren. Zur detaillierten Herleitung und Anwendung des LC-NPV-Modells wird auf die entsprechenden Veröffentlichungen (z. B. [6], [42]) verwiesen.

6 Zusammenfassung/Ausblick

Auf Basis der Anforderungen und Bedürfnisse potentieller Kunden können entsprechende Systemanbieter die energetischen Module und Teilsysteme des Baukastens für LC-Leistungsangebote zu kundenorientierten, projektspezifischen integrierten bzw. vernetzten Teilsystemen verknüpfen.

Potentielle LC-Leistungsbündel ergeben sich aus den Synergiepotentialen, die bei der Integration bzw. Vernetzung der Module und Teilsysteme freigesetzt werden.

Ein projekt- und kundenspezifisches nachhaltiges, lebenszyklusorientiertes Gesamtoptimum kann nur durch einen teilsystemübergreifenden Entwicklungs- bzw. Planungsprozess erreicht werden, der nur in einer komplexen, interaktiven, integrierten Austauschbeziehung realisiert werden kann, die darüber hinaus die Bau- und Nutzungsphase für das LC-Leistungsangebot mit Leistungs- bzw. Kostengarantien umfasst.

Für solche teilsystemübergreifenden Entwicklungs-, Planungs- und Bauprozesse mit lebenszyklusorientierten Leistungs- und Kostengarantien müssen neue Formen der Zusammenarbeit, des Partnerings und der strategischen Kooperation gefunden werden.

Für die Baubranche übertragbare Ansätze aus anderen Branchen wurden durch Lunze und Girmscheid [41] ermittelt. Diese Ansätze werden in weiteren Forschungsanstrengungen für die erfolgreiche Weiterentwicklung der Baubranche hinsichtlich Kundennutzens und unternehmerisch langfristigen Erfolgs an der ETH Zürich weiterentwickelt.

Literatur

- [1] *I. Kliegel*: Der Markt der Mobilität – Daten, Fakten, Trends, FOKUS Medialine, München, 2008.
- [2] Auto 2008 Jahresbericht, Verband der Automobilindustrie, Frankfurt am Main, 2008.
- [3] *H. Tschöke, H.-E. Heinze*: Einige unkonventionelle Betrachtungen zum Kraftstoffverbrauch von Pkw, Magdeburger Wissenschaftsjournal (1–2) (2001) 11–18.
- [4] *A. Kirchner, P. Hofer, A. Kemmler, M. Keller, B. Aebischer, M. Jakob, G. Catenazzi, W. Baumgartner*: Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 – 2006 nach Verwendungszwecken, Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2008.
- [5] Entwicklung des Rohölpreises, 2008, Erdöl-Vereinigung, 24.11.2008, Zürich, <http://www.erdoel-vereinigung.ch>.
- [6] *G. Girmscheid*: Risikobasiertes probabilistisches LC-NPV-Modell – Bewertung alternativer baulicher Lösungen, Bauingenieur 81 (Nr. 9) (2006) S.394–405.
- [7] *G. Girmscheid*: Projektabwicklung in der Bauwirtschaft – Wege zur Win-Win-Situation für Auftraggeber und Auftragnehmer, 2., erw. u. aktualis. Aufl., Springer, Berlin, 2007.
- [8] *G. Girmscheid, D. Lunze*: Paradigmawechsel in der Bauwirtschaft – Lebenszyklusleistungen, Bauingenieur 82 (Nr.2) (2008) S.87–97.
- [9] *G. Girmscheid*: Wettbewerbsvorteile durch kundenorientierte Lösungen – Das Konzept des Systemanbieters Bau (SysBau), Bauingenieur 75 (Nr. 1) (2000) S.1–6.
- [10] *G. Girmscheid, O. Behnen*: Systemanbieterkonzept als Ausweg aus dem Preiswettbewerb, Baumarkt + Bauwirtschaft 100 (Nr.11) (2001) S.31–33.
- [11] *G. Girmscheid, R. Borner*: Win-Win-Perspektiven durch life-cycle-optimierte Gesamtleistungen und Contracting, Industrielles Bauen 2004 (1) (2004).
- [12] *G. Girmscheid*: Strategisches Bauunternehmensmanagement – Prozessorientiertes integriertes Management für Unternehmen in der Bauwirtschaft, Springer, Berlin, 2006.
- [13] *M.M. Schulte*: Ein Beitrag zum Business-to-Business-Marketing für life-cycle-orientierte SysBau-Leistungen im Schweizer Hochbau, Vdf Hochschulverlag AG an der ETH, Zürich, 2003.
- [14] *G. Girmscheid*: Fast Track Projects – Generisches, axiomatisches Anforderungsmanagement, Bauingenieur 82 (Nr. 5) (2007) S.224–230.
- [15] *R. Cassidy*: White paper on sustainability: A report on the green building movement, in: Reed Business Information (Hrsg.), Building Design & Construction, Clearwater, 2003.
- [16] *K. Gowri*: Green building rating systems: An overview, ASHRAE Journal 46 (11) (2004) 56–59.
- [17] *C. Lockwood*: Building the green way, Harvard Business Review 84 (6) (2006) 129–137.
- [18] *A.-W. Sommer*: Passivhäuser – Planung, Konstruktion, Details, Beispiele, Rudolf Müller, Köln, 2008.
- [19] *A. Graf*: Das Passivhaus – Wohnen ohne Heizung aktuelle Beispiele aus Deutschland, Österreich und der Schweiz, Callwey, München, 2000.
- [20] *O. Humm, M. Kilchenmann*: NiedrigEnergie- und PassivHäuser – Konzepte, Planung, Konstruktionen, Beispiele, Ökobuch, Staufen bei Freiburg, 1998.
- [21] Minergie – Mehr Lebensqualität, tiefer Energieverbrauch, 2009, Geschäftsstelle MINERGIE®, 18.05.2009, Bern, <http://www.minergie.ch>.
- [22] *SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein*: Thermische Energie im Hochbau, in: S.I.-u. Architektenverein (Hrsg.), Vol. SIA 380/1, SN 520 380/1, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2007.
- [23] *H. Schuster*: Das Deutsche Gütesiegel für Nachhaltiges Bauen, 6. Stuttgarter Immobilienseminar, Stuttgart, 2009.
- [24] *R. Muschiol, T. Friedemann*: Green Building – Nachhaltigkeit und Bestandserhalt in der Immobilienwirtschaft, KSD-Fachtagung Immobilienmanagement – Immobilienverwaltung und Energieeffizienz- Strategische Maßnahmen zur Senkung von Energiekosten, Mainz, 2008.
- [25] *G. Girmscheid*: Holistisch kybernetisches Kostensteuerungsprozessmodell – Projektentwicklungsphase, Bauingenieur 82 (Nr.11) (2007).
- [26] *G. Girmscheid*: Holistisch kybernetisches Kostensteuerungsprozessmodell – Vorplanungs- bis Ausführungsphase, Bauingenieur 82 (Nr.11) (2007).
- [27] *U. Knaack*: Fassaden – Prinzipien der Konstruktion, Birkhäuser, Basel, 2007.
- [28] *N. Artmann, H. Manz, P. Heiselberg*: Potential for passive cooling of buildings by night-time ventilation in present and future climates in Europe, PLEA2006 – The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Genf, 2006.
- [29] *C. Russ, H.R. Wilson, J. de Boer, A. Georg, T. Kuhn, E. Lindauer, P. Nitz, H. Sinnesbichler, J. Wienold*: Sonnenschutz – Schutz vor Überwärmung und Blendung, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2008.
- [30] *C.C. Sullivan*: Robo Buildings: Pursuing the Interactive Envelope, Architectural Record 2006 (04) (2006).
- [31] *J. Krimmling*: Energieeffiziente Gebäude – Grundwissen und Arbeitsinstrumente für den Energieberater, 2., aktualisierte Aufl., Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2007.
- [32] *Bernd Niebuhr*: KS-QUADROTHERM. Intelligent heizen, Energie sparen und gesund wohnen, Mauerwerk 11 (5) (2007) 306–307.
- [33] KS-QUADRO E – Bauen mit System, 2008, BASAG AG, 01.02.2009, Bern, <http://www.ks-basag.ch>.
- [34] *S. Hanke, S. Schwarz*: Wohnwelten – Der Ratgeber für Umbauer und Wohnfreaks, Doku Media Schweiz GmbH, Rüschlikon, 2009.
- [35] *B. Doka*: Energie- und Umweltbilanz der Solarenergie, ETH Zürich, Zürich, 2008, S. 2.
- [36] *R. Frischknecht, M. Tuchschnid*: Primärenergiefaktoren von Energiesystemen, ESU-services Lfd., Uster, Zürich, 2008, S. 22.
- [37] *VDI Verein Deutscher Ingenieure*: Thermische Nutzung des Untergrundes – Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen, in: Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.), Vol. VDI 4640 – Blatt 2, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2001.
- [38] *M. Sattler, C. Gaegauf, M. Schmid, C. Seiberth*: Vision einer Schweizer Energieversorgung mit Zukunft: Ressourcen und Technologien, Ökozentrum Langenbruck, Langenbruck, 2008, S. 28.
- [39] *I.B. Hagemann*: Gebäudeintegrierte Photovoltaik – Architektonische Integration der Photovoltaik in die Gebäudehülle, Rudolf Müller, Köln, 2002.
- [40] *D. Lunze, G. Girmscheid*: Gestaltungskonzept für LC-Leistungsangebote für energetisch optimierte Gebäude (bisher unveröffentlicht), Institut für Bauplanung und Baubetrieb der ETH Zürich, Zürich, 2009.
- [41] *D. Lunze, G. Girmscheid*: Erfolgsfaktoren strategischer systemgeschäftlicher Kooperationen – Zwischenbericht Phase A: Qualitativ empirische Untersuchung (Multi-Case-Studie) zur Evaluation von Entscheidungs- und Gestaltungselementen sowie Erfolgsfaktoren strategischer systemgeschäftlicher Kooperationen in baufremden Branchen, Eigenverlag des IBB an der ETH Zürich, Zürich, 2008.
- [42] *G. Girmscheid*: NPV-Wirtschaftlichkeitsanalysemodell – Lebenszyklusbetrachtung von kommunalen Strassenunterhalts-PPPs, Bauingenieur 81 (Nr.10) (2006) S.455–463.