

Endbericht

für das BBSR - Forschungsvorhaben

Forschungsprogramm:	Zukunft Bau
Forschungsprojekt:	Entwicklung einer Methodik zur Festlegung von Benchmarks für LCA und LCC im Rahmen der BNB-Systementwicklung – BNB-Referenzmodell
Aktenzeichen:	10.08.17.7-14.19
Forschungsgeber:	Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung (BBSR) Referat II 5 Nachhaltiges Bauen
Forschungsnehmer:	Steinbeis-Hochschule-Berlin GmbH Steinbeis-Transfer-Institut Bau- und Immobilienwirtschaft
Forschungsteam:	Dipl.-Ing. Bernd Landgraf (Projektleiter) Prof. Dr.-Ing Jörn Krimmling Dr.-Ing. Hendrik Müller
aufgestellt am:	07.10.2015

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangssituation	3
2	Aufgaben- und Zielstellung	3
3	Umsetzungskonzept	4
4	Zeitplan	7
5	Ergebnisse	8
5.1	Status Quo der Ökobilanzierung und der Lebenszykluskostenermittlung	8
5.1.1	Ökobilanzierung im BNB Version 2011	8
5.1.2	Lebenszykluskostenermittlung im BNB Version 2011	9
5.2	Analyse der Berechnungsmethoden und der Datenbasis	9
5.2.1	Analyse der LCA-Methode im BNB	9
5.2.2	Analyse der LCC-Methode im BNB	12
5.3	Detailanalyse zur Datenbasis von LCA und LCC	14
5.3.1	Bilanzierung von Fernwärme in der LCA	14
5.3.2	Bilanzierung des abiotischen Ressourcenabbaupotenzials in der LCA	16
5.3.3	Energiepreise und Energiepreisentwicklung	17
5.3.4	Instandhaltungskosten	21
5.3.5	Stundenverrechnungssatz für die Gebäudereinigung	23
5.3.6	Diskontierungszinssatz für die Barwertermittlung	25
5.3.7	Sonderbedingungen in der LCC	27
5.4	Analyse der wesentlichen Einflussgrößen der LCA und LCC	29
5.4.1	Analyse der Einflussgrößen der LCA	29
5.4.2	Analyse der Einflussgrößen der LCC	31
5.5	Die Modellgebäude	32
5.5.1	Beschreibung der Modellgebäude	32
5.5.2	Randbedingungen für die LCA-Ermittlung der Modellgebäude	35
5.5.3	Randbedingungen für die LCC-Ermittlung der Modellgebäude	37
5.6	Ergebnisse der Variantenberechnungen für die Modellgebäude	38
5.6.1	Ergebnisse der LCA-Variantenberechnungen	38
5.6.2	Ergebnisse der LCC-Variantenberechnungen	48
6	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	62
7	Anhang	69
	Anlagen	70
	Quellen- und Literaturverzeichnis	71
	Tabellenverzeichnis	72
	Abbildungsverzeichnis	73

1 Ausgangssituation

Das vom BMVBS 2009 eingeführte „Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)“ ist ein ganzheitliches quantitatives Bewertungsverfahren für Bauvorhaben. Das BNB betrachtet den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden und ermöglicht eine ausgewogene Bewertung verschiedener Gebäudequalitäten im Sinne der Nachhaltigkeit.

Nach fünfjähriger Anwendung des BNB erfolgt bis März 2015 eine Konsolidierung der Systemvarianten. Die Kriterien für die Bewertung der globalen Umweltwirkung (Ökobilanzierung / Life Cycle Assessment – LCA) und der gebäudebezogenen Kosten im Lebenszyklus (Lebenszykluskosten / Life Cycle Cost – LCC) haben mit jeweils 13,5 % ein hohes Gewicht im Gesamtsystem.

Die bisherigen Bewertungsmaßstäbe (Benchmarks) der LCA und LCC wurden 2008 aus Pilotprojekten abgeleitet. Die ausgewerteten Gebäude konnten nicht alle repräsentativen Bauweisen und technischen Ausstattungen abbilden. Die Bewertungsergebnisse der letzten 5 Jahre belegen, dass die Benchmarks nachjustiert werden müssen.

Die Datenbasis für die Ökobilanzierung wird kontinuierlich durch Umweltproduktdeklarationen (EPD) erweitert, die teilweise zu wesentlich geringeren Umweltwirkungen führen. Ebenso sind die Energiesystemlösungen effizienter geworden, der Primärenergiefaktor für Strom wurde herabgesetzt und der Nutzungsanteil erneuerbarer Energien wächst kontinuierlich. Damit vermindern und verschieben sich die Bilanzierungsanteile der grauen Energie und des Energiebedarfs in der Nutzungsphase, so dass die Umweltwirkungen für vergleichbar ausgestattete Gebäude sinken. Demgegenüber wachsen die Komfortanforderungen mit dem Ergebnis steigender Umweltwirkungen.

Die Möglichkeit des Variantenvergleiches und der daraus entstehende Entscheidungsnutzen treffen für die LCC ebenso zu wie für die LCA. Die Betrachtung der Kosten im Lebenszyklus von Gebäuden hat sich in den letzten Jahren zunehmend bei Bauherren und Planern als Entscheidungsinstrument etabliert und befördert eine nachhaltige Haushaltsplanung.

Auch die Einflussgrößen auf die Lebenszykluskosten verändern sich. Für die Vergleichbarkeit der zertifizierten Gebäude waren die meisten Kostenparameter (Instandhaltungsansätze, Medienpreise, Preissteigerungen) festgeschrieben. Das machte die Berechnung einfacher, war aber nicht dynamisch und verminderte den Anreiz zur Optimierung.

Aufgrund der gewählten Barwertmethode und einem relativ hohen Diskontierungszinssatz dominierten die Herstellungskosten das Bewertungsergebnis und unterstützten langfristiges Denken im Sinne der Generationengerechtigkeit nicht ausreichend.

Diese und weitere Gründe machten es notwendig, sowohl die Datengrundlagen als auch die Bilanzierungsmethoden zu überprüfen und zukunftsfähige BNB-Bewertungsmaßstäbe für LCA und LCC zu entwickeln.

2 Aufgaben- und Zielstellung

Die Aufgabe des Forschungsprojektes war die wissenschaftliche Überprüfung, Weiterentwicklung sowie Ergänzung der bisherigen Nachweismethoden der LCA und LCC im Hinblick auf die unterschiedlichen BNB-Module. Dazu wurden die wesentlichen Einflussgrößen des Gebäudes (Geometrie, Größe, Baustoffe, Energieträger, Energieeffizienz, Nutzungsprofil u.a.) und des Berechnungsalgorithmus (Bilanzierungsgrenzen, Diskontierung, Indexierung u.a.) systematisch durch Recherchen und Variantenberechnungen untersucht.

Im Ergebnis sollte ein digital beschriebenes BNB-Referenzmodell für LCA und LCC hinsichtlich der bestehenden BNB-Systemvarianten und -Module erarbeitet werden, welches die regelmäßige Ermittlung und Fortschreibung von Benchmarks ermöglicht und darüber hinausgehend die im Rahmen der sinngemäßen Anwendung des BNB fehlenden Benchmarks durch Abschätzung zulässt.

Die Aufgaben- und Zielstellung wurde in folgenden Arbeitsschritten bearbeitet.

Grundlagenermittlung

- Ermittlung der Grundlagen und Rahmenbedingungen für die LCA
- Ermittlung der Grundlagen und Rahmenbedingungen für die LCC

Modellentwicklung

- Bestimmung der methodischen Rahmenbedingungen
- Bestimmung der Datengrundlage
- Anpassung der Rechenregeln

Modellerprobung

- Anwendung der Benchmarks auf bereits zertifizierte Gebäude
- Interpretation der Bewertungsergebnisse
- Schlussfolgerungen für das Referenzmodell

3 Umsetzungskonzept

Die Arbeitsschritte wurden wie folgt umgesetzt.

1. Darstellung des Status Quo der Ökobilanzierung und der Lebenszykluskostenermittlung

Die Beschreibung der bestehenden Methoden stellt sicher, dass die Ausgangslage von allen Beteiligten gleich interpretiert wird. Einige der vorhandenen Steckbriefregelungen sind nicht eindeutig, so dass es notwendig ist, das Verständnis abzugleichen und eine gemeinsame Auslegung festzustellen.

Ebenso wichtig ist die Abstimmung zur Zielstellung der Kriterien-Anwendung. Es muss zu Projektbeginn abgestimmt und festgelegt werden, ob erkennbare Wechselwirkungen der LCA- und LCC-Kriterien zu anderen BNB-Kriterien eine integrierte Berücksichtigung erfahren sollen oder ob die Indikatoren des jeweiligen Kriteriums eine unabhängige Steuerungswirkung haben sollen.

2. Analyse der Berechnungsmethoden in Verbindung mit der Datenbasis zur Identifikation von Veränderungsbedarf

Die Berechnungsverfahren der LCA und LCC basieren auf Normen und können als ausreichend verlässlich betrachtet werden. Die in die Berechnung einfließenden Daten haben aber eine unterschiedliche Qualität. Ein Großteil der Eingangsgrößen wird analytisch oder statistisch bestimmt. Für einige der Eingangsgrößen gibt es keine ausreichend gesicherte Datenbasis. Für diese wurden bisher Annahmen getroffen oder sie wurden nicht in der Berechnung berücksichtigt. Der Umgang mit Einflussgrößen erfolgt daher auch nicht einheitlich in der LCA und LCC. Hier muss geprüft werden, ob und wenn ja wie eine Vervollständigung und langfristige Aktualisierung der Datenbasis sichergestellt werden kann und inwieweit eine angleichende Umsetzung des Lebenszykluskedankens in LCA und LCC möglich ist.

3. Analyse der Einflussgrößen und Treiber der LCA und LCC

Die Einflussgrößen sind unabhängig von der Qualität der Datenbasis bekannt. Die Treiber sind projektspezifisch verschieden, jedoch sind die Haupttreiber aus Bilanzvergleichen bekannt. Bisher wurden die LCA-Benchmarks unabhängig von der Gebäudegröße und -nutzung angewendet. Das gilt es zu überprüfen.

Die Analyse der Treiber von Umweltwirkungen und Lebenszykluskosten kann statistisch oder analytisch erfolgen. Für eine statistische Analyse bedarf es mehr als 100 verschiedener Gebäude. Diese Datenbasis steht nicht zur Verfügung, so dass im Projekt die analytische

Untersuchungsmethode durch die Aufstellung eines Gebäudemodells und der Berechnung verschiedenster Modellvarianten gewählt wurde. Diese Methode hat zusätzlich den Vorteil, dass die Datenbasis des Modells weiterverwendet und fortgeschrieben werden kann.

4. Beschreibung eines Modellgebäudes für Variantenberechnungen mit Hilfe funktionaler, baukonstruktiver, baustofflicher und energetischer Parameter

Das Modellgebäude soll ein Abbild der heutigen Bauweisen und Energiekonzepte sein.

Es müssen daher folgende Parameter variierbar sein.

- Grundrissform
- Größe
- Baukonstruktion
- Baustoffe
- Energiestandard
- Komfort

Damit für eine Vielzahl von Gebäuden eine Ökobilanz- und eine Lebenszykluskostenermittlung durchgeführt werden konnte, die für alle Varianten eine Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599 voraussetzt, musste ein parametrisiertes Mengengerüst aufgestellt werden, das sich an üblichen Geometrien und Konstruktionen orientiert.

5. Durchführung von Variantenberechnungen für verschiedenste Parameter-Kombinationen zur Überprüfung der Methodenabbildung

Im 1. Schritt wurden die Variantenberechnungen mit den bisherigen Berechnungsmethoden für LCA und LCC auf der Basis von Excel durchgeführt, um die Richtigkeit des Algorithmus zu überprüfen.

Im 2. Schritt wurden unter Beibehaltung der Methode die Variationsparameter systematisch verändert und die Ergebnisse plausibilisiert.

Im 3. Schritt wurden Varianten mit verändertem Berechnungsalgorithmus (z. B. Abschneiden von Bauteil-Erneuerungskosten am Ende des Betrachtungszeitraums) und veränderten Grunddaten (z. B. Preissteigerungszinssatz, Diskontierungszinssatz) berechnet und ausgewertet.

6. Ableitung von Grenz-, Referenz- und Zielwert entsprechend der Häufigkeiten im jeweiligen Kriterium

Alle BNB-Kriterien haben Bewertungsmaßstäbe im Intervall 0 bis 100 Punkte. Jedes Kriterium muss für eine Gebäudezertifizierung mit mindestens 10 Punkten bewertet werden. Daraus ergeben sich die Randbedingungen der Benchmarks mit dem Grenzwert (10 Punkte) und dem Zielwert (100 Punkte). Der Skalenmittelwert ist der Referenzwert (50 Punkte).

Aufgrund der Vielzahl an Berechnungsvarianten konnten das Minimum (bei dem Teilkriterium 1.2.2.2 das Maximum), der Median und das Maximum (bei dem Teilkriterium 1.2.2.2 das Minimum) als Basis für den Grenz-, Referenz- und Zielwert verwendet werden.

7. Ableitung eines geeigneten Referenzgebäudes für die Fortschreibung der Benchmarks

Für die Wiederverwendung und Fortschreibung des Modellgebäudes war beabsichtigt, ein Referenz-Modellgebäude zu definieren, das durch konkrete Parameter-Werte bestimmt ist und für alle Kriterien den Referenzwert abbildet.

Dieses Ziel kann nicht mit einer Gebäudevariante erreicht werden, da sich die Indikatoren der Kriterien nicht gleich verhalten.

Für die Zielerreichung wurde eine Variantenschar festgelegt, aus der auch wiederholt die Benchmark-Bildung erfolgen kann.

8. Anpassung der Steckbriefe

Die Steckbriefe (Beschreibung der Bewertungskriterien) mussten nicht nur aufgrund von Änderungen in der Methodik, den Grunddaten und den Bewertungsmaßstäben angepasst werden. Besonderes Augenmerk legten die Verfasser auch auf eine eindeutige, kompakte und praktikable Beschreibung des Bewertungsablaufs für die Kriterien der LCA und LCC.

4 Zeitplan

Leistungen	2014				2015	
	9	10	11	12	1	2
	Kalenderwoche					
1 Projektvorbereitung						
1.1 Startfassung	36					
1.2 Gesamtkonzept	36					
1.3 Zeitplan	36					
1.4 Auftaktgespräch	35					
2 Grundlagenermittlung						
2.1 Grundlagen und Rahmenbedingungen allgemein	37					
2.2 Grundlagen und Rahmenbedingungen LCA	38-39					
2.3 Grundlagen und Rahmenbedingungen LCC	39	40				
2.4 1. Begleitkreissitzung am 09.10.2014		41				
2.5 1. Zwischenbericht		42				
3 Modellentwicklung						
3.1 Bestimmung der methodischen Rahmenbedingungen		42-43				
3.2 Bestimmung der Datengrundlage		43				
3.3 Anpassung der Rechenregeln		44	45			
3.4 2. Begleitkreissitzung am 07.11.2014			45			
3.5 2. Zwischenbericht			46			
4 Modellerprobung						
4.1 Erfassung UBA 2019 im LCC-Modell			47-48	49		
4.2 Erfassung UBA 2019 im LCA-Modell			47-48	49		
4.3 3. Begleitkreissitzung am 09.12.2014				50		
5 Projektabschluss						
5.1 Abschlussbesprechung mit dem Auftraggeber						5
5.2 Entwurf des Schlussberichtes						8
5.3 Finalisierung der Dokumente „BNB-Referenzmodell LCA“ und „BNB-Referenzmodell LCC“						9
5.4 Übergabe der fehlerbereinigten Rechentools						9
5.5 Schlussbericht einschließlich Internetdarstellung						12

Tabelle 1: Zeitplan für das Forschungsprojekt

5 Ergebnisse

5.1 Status Quo der Ökobilanzierung und der Lebenszykluskostenermittlung

5.1.1 Ökobilanzierung im BNB Version 2011

Die aktuell anzuwendende Methode zur Bewertung der globalen Umweltwirkungen von Gebäuden basiert auf dem Vergleich einer gebäudebezogenen Ökobilanz mit festen Benchmarks. Dabei werden sieben Umweltindikatoren (Treibhauspotenzial, Ozonschichtabbaupotenzial, Ozonbildungspotenzial, Versauerungspotenzial, Überdüngungspotenzial, Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbarer Primärenergie) bestimmt und bewertet. Die Rechenergebnisse werden auf m^2_{NGFa} normiert, so dass eine weitgehend größenunabhängige Vergleichbarkeit erreicht wird.

Die Umweltwirkungen werden dazu für die Lebenszyklusphasen „Herstellung“, „Nutzung und Erneuerung“ und „End of Life“ über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren ermittelt.

In der Lebenszyklusphase „Herstellung“ werden die Bauteile der Kostengruppen 300 und 400 berücksichtigt. Zur Berechnung der Umweltindikatoren werden alle relevanten Bauteile schichtweise mit ihren geometrischen und stofflichen Daten erfasst und mit einem passenden Datensatz aus der Ökobau.dat (generischer Datensatz oder Datensatz aus einer produkt-/produktgruppenbezogenen EPD) verknüpft. Als nicht relevant werden Bauteile mit weniger als 1% der Gesamtmasse und weniger als 1% der Gesamtwirkung in den Umweltindikatoren Treibhauspotenzial, Versauerungspotenzial, Überdüngungspotenzial und Primärenergiebedarf definiert. Der Anteil nicht relevanter Bauteile darf jedoch nicht mehr als 5 % der Gesamtmasse, des Treibhauspotenzials, Versauerungspotenzials, Überdüngungspotenzials und des Primärenergiebedarfes umfassen. In frühen Planungsphasen und bei Nichtvorliegen von Ökobau.dat-Datensätzen für wesentliche Bauteile kann ein „Vereinfachtes Verfahren“ für die Bilanzierung der Bauteile und technischen Anlagen des Gebäudes gewählt werden. Dabei werden nur 7 Bauteilgruppen der KG 300 nach DIN 276 und der Wärmeerzeuger bilanziert und die vernachlässigten Bauteile mit einem Zuschlag von 20 % berücksichtigt.

In der Lebenszyklusphase „Nutzung und Erneuerung“ werden die Endenergiebedarfe des Gebäudes nach Energieträgern auf Basis einer Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599 wiederum mit passenden Datensätzen der Ökobau.dat rechnerisch zur Bestimmung der Umweltindikatoren verknüpft und die im Lebenszyklus erneuerten Bauteile nach Ablauf ihrer Lebensdauer bilanziert.

Im Teilbereich „End of Life“ werden die Verwertungs- und Entsorgungswege für alle Materialien und Baustoffe hinsichtlich ihrer Umweltwirkung bestimmt. Dazu sind mindestens die Materialgruppen Metalle, Mineralische Baustoffe, Materialien mit Heizwert, Wärmeerzeuger und alle sonstigen zur Deponierung zugelassenen Materialien zu berücksichtigen.

Aktuell nicht berücksichtigt wird der Aufwand für den Transport der Baustoffe und Materialien zur Baustelle, einzelne Wirkindikatoren wie z. B. der Frischwasserverbrauch oder die Recycling-, Rückgewinnung- oder Wiederverwendungspotenziale für das nächste Produktsystem.

Das aktuelle Berechnungs- und Bewertungsverfahren für die LCA zeigt sich in den Projekten als einfach und vielfältig einsetzbar. Regelmäßig festzustellen ist jedoch, dass teilweise eine deutliche Abweichung des Primärenergiebedarfes vom Ergebnis der EnEV-Berechnung entsteht.

Der Bewertungsmaßstab für die Umweltindikatoren ist für den Großteil der bisher bewerteten Projekte wenig anspruchsvoll (es werden fast immer mehr als 80 Punkte erreicht).

Mit der Entwicklung neuer und ggf. differenzierender Bewertungsmaßstäbe kann die Lenkungswirkung der Ökobilanz erhöht und die Ausgewogenheit der BNB-Qualitäten verstärkt werden.

5.1.2 Lebenszykluskostenermittlung im BNB Version 2011

Die Ermittlung der Lebenszykluskosten erfolgt auf der Basis von Herstellungskosten, die im Projektverlauf fortgeschrieben werden, und mit vorgegebenen Kostenkennwerten für Reinigung, Wasser/Abwasser und Energie. Der LCC-Bewertungsmaßstab wurde mit Stand Juni 2010 eingeführt, so dass die Herstellungskosten mit diesem Preisstand in den Bewertungsmaßstab eingegangen sind. Daher müssen die Herstellungskosten auf den Preisstand des Bewertungsdatums mit dem Bundesbaupreisindex (Juni 2010 = 100) zurückgerechnet, also durch den Index geteilt werden.

Der Bewertungsmaßstab für die Punktvergabe enthält Nettokosten, so dass bei Verwendung von Bruttokosten eine Umrechnung der Herstellungskosten mit dem Mehrwertsteuersatz von 19 % erfolgen muss.

Zur Ermittlung der Lebenszykluskosten werden die Herstellungskosten für die Bauteile der KG 300, 400 und 540 nach DIN 276 ermittelt. Auf deren Basis werden die in der Nutzung entstehenden jährlichen Wartungs- und Instandsetzungskosten als prozentualer Anteil sowie die Erneuerungskosten am Ende der Bauteil-Nutzungsdauer ermittelt.

Weiterhin werden die jährlichen Reinigungs-, Wasser-/Abwasser und Energiekosten ermittelt.

Die Jahreswerte der Nutzungskosten werden über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren mit dem jeweiligen Preissteigerungszinssatz indexiert und mit dem Diskontierungszinssatz abgezinst. Daraus entstehen die Barwerte der Nutzungskosten. Die Barwerter der Nutzungskosten und die Herstellungskosten werden summiert und durch die BGF geteilt. Das Ergebnis sind die Lebenszykluskosten als Barwert in €/m²_{BGF}.

Mit diesem Kostenkennwert können verschiedene Gebäude verglichen werden.

5.2 Analyse der Berechnungsmethoden und der Datenbasis

5.2.1 Analyse der LCA-Methode im BNB

Bilanzumfang

Der bisherige Bilanzrahmen ist bestimmt durch:

- die Lebenszyklusphasen „Herstellung“, „Nutzung und Erneuerung“ sowie „End of Life“,
- den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren,
- die baulichen Anlagen, die den Kostengruppen 300 und 400 nach DIN 276 zugeordnet werden und die im/am Gebäude verbleiben und
- die Endenergiebedarfe, die im EnEV-Nachweis ausgewiesen werden.

In der bisherigen Ökobilanzierung werden nicht berücksichtigt:

- bauliche Anlagen in den Außenanlagen, die in einem wesentlichen Funktionszusammenhang mit dem Gebäude stehen (z. B. Rampen, Fahrradstellplätze, u.a.),
- technische Anlagen in den Außenanlagen (DIN 276, KG 540),
- Fernwärme, die mit einem überdurchschnittlichen Anteil an erneuerbaren Energien erzeugt wird und
- eigenerzeugter Strom aus Photovoltaikanlagen, Kleinwindanlagen und BHKW.

Die Bilanzgrenze für die LCA war bisher auf das Gebäude beschränkt. Es wird empfohlen, die vorgenannten baulichen und technischen Anlagen in den Außenanlagen in die Ökobilanzierung aufzunehmen, da das Vorhandensein und die Anordnung (im Innen- der Außenraum) projektspezifisch ist und das Weglassen zu Ungleichbehandlungen führt.

Die Autoren empfehlen, die in Tabelle 2 aufgeführten Kostengruppen in die LCA und – zur einheitlichen Behandlung – auch in die LCC aufzunehmen.

KG	Bezeichnung	Bauteile
534	Rampen, Treppen, Tribünen	Kinderwagen- und Behindertenrampen
535	Überdachungen	Fahrradstellplätze
537	Kanal- und Schachtbauanlagen	Bauliche Anlagen für die Medienserschließung
538	Wasserbauliche Anlagen	Brunnen für Wasser-Wasser-Wärmepumpen
541	Abwasseranlagen in Außenanlagen	Oberflächen- und Bauwerksentwässerungsanlagen
542	Wasseranlagen in Außenanlagen	Wassergewinnungsanlagen
543	Gasanlagen in Außenanlagen	Flüssiggasanlagen
544	Wärmeversorgungsanlagen in Außenanlagen	Geothermie-Anlagen, Erdkollektoren, Wärmepumpen
545	Lufttechnische Anlagen in Außenanlagen	Erdwärmetauscher
546	Starkstromanlagen in Außenanlagen	Eigenstromversorgungsanlagen
551	Allgemeine Einbauten	Fahrradständer, Abfallbehälter
576	Begrünung unterbauter Flächen	Dachbegrünungen für Gebäude und Tiefgaragen

Tabelle 2: Zusätzlich in der LCA und LCC zu bilanzierende Kostengruppen

Die Eigenerzeugung von Strom zur Selbstnutzung ist ökologisch empfehlenswert und sollte sich auch in der LCA und LCC positiv niederschlagen.

Derzeit sind folgende Technologien üblich:

- KWK-Anlagen mit fossilen Energieträgern, im Regelfall erdgasgefeuerte BHKW (im Folgenden: E-BHKW)
- KWK-Anlagen mit erneuerbarem Brennstoff, in der Regel Biogas- bzw. Pflanzenöl-BHKW (im Folgenden: Bio-BHKW)
- Photovoltaikanlagen (im Folgenden: PVA)
- Gebäudeintegrierte Windenergieanlagen (im Folgenden: WEA)

Alle Anlagen erzeugen Strom ohne Berücksichtigung des jeweiligen Gebäudebedarfs.

Zwar könnten die BHKW theoretisch stromgeführt betrieben werden, allerdings gäbe es dann Betriebsphasen, in denen zwar Strom entsprechend des Bedarfs produziert werden würde, die gleichzeitig anfallende Wärme könnte jedoch nicht genutzt werden. Aus diesem Grunde ist bei den derzeitigen Randbedingungen von einem wärmegeführten Betrieb auszugehen. Das bedeutet, es kann je nach Auslegung Phasen geben, in denen die BHKW-Anlage mehr Strom produziert, als zu diesem Zeitpunkt im Gebäude benötigt wird.

PVA und WEA erzeugen Strom generell unabhängig von den Bedarfszuständen im Gebäude. Ihre Stromproduktion folgt ausschließlich den Gegebenheiten der jeweiligen natürlichen Energiequelle. Demzufolge gibt es auch beim Betrieb dieser Anlagen Phasen, in denen sie mehr Strom produzieren, als zu diesem Zeitpunkt im Gebäude benötigt wird.

Im Ergebnis sind hinsichtlich des Anrechnungsprinzips des erzeugten Stroms alle Technologietypen gleich zu bewerten. Der erzeugte Strom besteht für den hier betrachteten Fall aus zwei Teilen:

- dem Stromanteil, welcher unmittelbar im Gebäude verwendet werden kann und
- dem Anteil, welcher über dem Gebäudebedarf liegt und der demzufolge in das Stromnetz eingespeist werden muss.

Zwar sind beide Teile aus physikalischer Sicht vollständig gleichwertig, aus energiewirtschaftlicher Sicht muss man unter Beachtung der derzeitigen Randbedingungen des Stromversorgungssystems mit nur geringen Speicherkapazitäten jedoch davon ausgehen, dass der ins Netz eingespeiste Strom zu bestimmten Zeiten nicht benötigt wird und demzufolge dann auch geringer bewertet werden sollte. Die Autoren sind sich der Schwierigkeit einer objektiven Bewertung bewusst und schlagen deshalb einen einfachen Ansatz vor.

- Der Anteil des erzeugten Stroms, welcher unmittelbar im Gebäude oder auf der Liegenschaft (Gebäudeverbund) verwendet werden kann, soll hinsichtlich seiner Umweltwirkungen vollständig berücksichtigt werden.
- Der Anteil des erzeugten Stroms, welcher nicht benötigt und deshalb ins Netz eingespeist wird, soll hinsichtlich seiner Umweltwirkungen auch vollständig berücksichtigt werden.

Mit dieser Regelung ist eine Berechnung des Nutzerstromanteils, der durch den eigenerzeugten Strom gedeckt ist, nicht notwendig.

Datenbasis

Die Datenbasis für die LCA umfasst die vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) bereitgestellte Datenbank „Ökobau.dat“ und die vom Institut Bauen und Umwelt e. V. (IBU) geprüften und veröffentlichten Umweltproduktdeklarationen (EPD). Zukünftig werden die EPD kontinuierlich in die Ökobau.dat übernommen, so dass die Ökobau.dat als einheitliche Datenquelle verwendet werden kann.

Die zu bilanzierenden Prozesse im Lebenszyklus von Gebäuden sind in DIN EN 15978 geregelt. Die Ökobau.dat enthält bereits die zu bilanzierenden Module.

Die Ökobau.dat einschließlich der EPD enthält für eine Vielzahl an Bauteilen und technischen Anlagen sowie Energieträgern Daten. Für folgende Bauteile gibt es noch keine Datensätze.

- Sonnen- und Blendschutz
- Fassadenbefahranlagen
- Photovoltaikpaneele
- Elektrische Speicher
- Notstromaggregate
- Transformatoren
- Datenkabel
- Kälteerzeuger
- Lüftungskanäle
- Volumenstromregler
- Luftauslässe
- Brandmelder
- Rauch- und Wärmeabzüge
- Brandschutzklappen

Die Vervollständigung der Datenbasis erfolgt kontinuierlich. Bis zur einer vollständigen Datenbereitstellung sollte wie bisher das „Vereinfachte Verfahren“ angewendet werden können.

Bisher wurden die Erneuerungszyklen für die Bauteile der KG 300 aus der BNB-Nutzungsdauertabelle entnommen.

Zur Bilanzierung der Gebäudetechnik (KG 400 und 540) wurden die Nutzungsdauern aus dem BNB-Kriterium 2.1.1 (Quelle: VDI 2067, Anhang A) für die Ermittlung der Erneuerungszyklen entnommen und für eine gleichartige Verwendung in LCA und LCC in eine neue Tabelle einschließlich der in Tabelle 2 aufgeführten Kostengruppen übertragen. In der neuen Tabelle (Excel-Datei) „Nutzungsdauern_Instandhaltung_Ökobilanzierung.xls“ (Anlage 1) sind die Kostengruppen gekennzeichnet, die im „Vereinfachten Verfahren“ der LCA bilanziert werden müssen.

Die Bilanzergebnisse sollten auch zukünftig mit einem Aufschlag für die Unvollständigkeit versehen werden. Die Autoren empfehlen einen Aufschlag von 20 %.

Darüber hinaus sind weitere Kostgruppen gekennzeichnet, für die eine Bilanzierung erfolgen kann, insofern die Daten dafür verfügbar sind. Bei Anwendung dieses Bilanzierungsumfangs sollte kein Aufschlag erfolgen. Mit diesem Vorschlag wäre eine dynamische Verfahrensweise gegeben.

5.2.2 Analyse der LCC-Methode im BNB

Bilanzumfang

Der bisherige Bilanzrahmen ist bestimmt durch:

- die Lebenszyklusphasen „Herstellung“ sowie „Nutzung und Erneuerung“
- den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren,
- die Herstellungskosten (Nettobeträge) für die baulichen Anlagen, die den Kostengruppen 300 und 400 nach DIN 276 zugeordnet werden,
- die Indexierung der Herstellungskosten mit dem Bundesbaupreisindex (Juni 2010 = 100)
- die Wartungs- und Instandsetzungskosten als %-Satz an den Herstellungskosten,
- die Nutzungsdauern der Bauteile und technischen Anlagen zur Ermittlung der Erneuerungskosten,
- der Stundensatz für die Gebäudereinigung,
- die Preise für Wasser und Abwasser
- die Preise für die Energieträger,
- die Endenergiebedarfe, die im EnEV-Nachweis ausgewiesen werden,
- die jährliche Preissteigerung für Bau- und Dienstleistungen,
- die jährliche Preissteigerung für Energie und
- der Diskontierungsfaktor.

Die BNB-Bewertung der ermittelten Lebenszykluskosten erfolgt mit Hilfe von zwei Kategorien an Bewertungsmaßstäben. Die Kategorie 2 kann verwendet werden, wenn Sonderbedingungen (Baugrund, Energietechnologie, Standsicherheit, Brandschutz, Schallschutz, Terrorprävention) vorliegen.

In der bisherigen Lebenszykluskostenberechnung werden nicht berücksichtigt:

- die Rückbau- und Entsorgungskosten,
- bauliche Anlagen in den Außenanlagen, die in einem wesentlichen Funktionszusammenhang mit dem Gebäude stehen (z. B. Rampen, Fahrradstellplätze, u.a.),
- technische Anlagen in den Außenanlagen (DIN 276, KG 540) und
- eigenerzeugter Strom aus Photovoltaikanlagen, Kleinwindanlagen und BHKW.

Die Bilanzgrenze für die LCC war bisher auf das Gebäude beschränkt. Es wird empfohlen, die vorgenannten baulichen und technischen Anlagen in den Außenanlagen gemäß Tabelle 2 in die Lebenszykluskostenberechnung aufzunehmen, da das Vorhandensein und die Anordnung (im Innen- oder Außenraum) projektspezifisch ist und das Weglassen zu Ungleichbehandlungen führt.

Die Rückbau- und Entsorgungskosten (End of Life in der LCA) müssten zur Vereinheitlichung beider Lebenszyklusbetrachtungen in der Berechnung berücksichtigt werden. Aufgrund der nicht statistisch gesicherten Datenbasis wird empfohlen, diese Kosten vorerst nicht zu berücksichtigen. Hier besteht Forschungsbedarf, da der Ergebniseinfluss der Rückbau- und Entsorgungskosten bei Senkung des Diskontierungszinssatzes steigt.

Die Herstellungskosten wurden bisher durch Division mit dem Bundesbaupreisindex auf den Bewertungsstichtag umgerechnet. Damit erfolgte eine zeitliche Anpassung.

Eine regionale Anpassung erfolgte bisher nicht.

Es wird empfohlen eine zeitliche und regionale Anpassung mit Hilfe der Baupreisindizes der Statistischen Landesämter vorzunehmen. Die Anpassung erfolgt rechnerisch für die BNB-Version 2015 wie folgt.

Baupreisindex = Landesbaupreisindex (Baubeginn) / Landesbaupreisindex (2. Quartal 2015)

Herstellungskosten = Baupreisindex * abgerechnete Herstellungskosten

Der Zeitpunkt für die Bildung des Baupreisindex ist das Datum des Baubeginns. Dieses Datum entspricht in etwa dem Zeitpunkt der Angebotspreisbildung.

Die zu indizierenden Herstellungskosten sind die abgerechneten Herstellungskosten. Diese entsprechen überwiegend den Angebotspreisen.

Mit dieser Festlegung ist sichergestellt, dass sich die Lebenszykluskosten bei steigenden Preisen (bisher der Regelfall) geringfügig verbessern und Lebenszykluskostenberechnungen aus frühen Planungsphasen keine höheren Werte (für gleiche Leistungen) ausweisen.

Preisindex für den Neubau in konventioneller Bauweise nach Bauwerksarten - Gebäude (Basis 2010 = 100)

Jahr Monat	Wohn- gebäude	Davon		Büro- gebäude	Davon		Gewerbl. Betriebs- gebäude	Davon	
		Rohbau- arbeiten	Ausbau- arbeiten		Rohbau- arbeiten	Ausbau- arbeiten		Rohbau- arbeiten	Ausbau- arbeiten
Wägungsanteil in Promille	1 000	455,32	544,68	1 000	341,93	658,07	1 000	530,89	469,11
1995 D	96,0	105,9	87,6	89,0	102,9	80,5	87,5	96,8	76,8
1996 D	95,0	103,9	87,7	88,8	101,0	81,3	87,3	95,8	77,6
1997 D	93,0	100,1	86,8	87,3	97,5	80,9	85,9	93,2	77,6
1998 D	89,7	94,3	85,6	85,4	92,8	80,7	84,4	90,3	77,6
1999 D	87,7	92,1	84,0	83,9	90,7	79,8	82,8	88,2	76,7
2000 D	85,6	88,7	83,1	82,5	87,7	79,3	81,9	86,6	76,5
2001 D	83,4	84,7	82,3	81,2	83,8	79,7	80,6	83,9	76,9
2002 D	83,0	83,9	82,2	81,1	82,3	80,4	80,5	83,1	77,7
2003 D	84,1	85,5	83,0	82,2	83,7	81,4	81,6	83,8	79,0
2004 D	86,3	88,0	84,9	84,9	86,8	83,9	84,3	86,0	82,3
2005 D	87,5	88,7	86,6	86,4	88,0	85,5	86,1	88,1	83,8
2006 D	89,1	89,9	88,5	88,0	89,2	87,4	87,7	89,1	86,2
2007 D	95,6	96,3	95,1	94,2	94,9	94,0	94,2	95,0	93,2
2008 D	97,9	99,4	96,7	96,9	98,7	95,9	97,6	99,1	95,8
2009 D	98,8	99,2	98,4	98,3	98,9	98,0	98,7	99,4	97,9
2010 D	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2011 D	103,9	103,7	104,0	104,3	104,1	104,4	104,5	104,2	104,7
2012 D	107,4	107,0	107,7	107,6	107,3	107,8	107,6	107,1	108,2
2013 D	110,8	109,6	111,8	111,0	110,1	111,5	110,7	109,8	111,6
2014 D	114,0	112,7	115,2	114,0	113,2	114,5	113,6	112,6	114,7

Tabelle 3: Baupreisindex für Sachsen (http://www.statistik.sachsen.de/download/060_AVP-Preise/Gebaeude_2010.pdf)

Für die Berücksichtigung des eigenerzeugten Stroms schlagen die Autoren folgendes vor.

- Der Anteil des erzeugten Stroms, welcher unmittelbar im Gebäude oder auf der Liegenschaft (Gebäudeverbund) verwendet werden kann, soll hinsichtlich seiner Kostenwirkung vollständig berücksichtigt werden.
- Der Anteil des erzeugten Stroms, welcher nicht benötigt und deshalb ins Netz eingespeist wird, soll hinsichtlich seiner Kostenwirkung durch eine pauschale Einspeisevergütung i. H. v. 25 % des Strompreises gemäß BNB-Kriterium 2.1.1 berücksichtigt werden.

Datenbasis

Die bisherigen Grunddaten (BNB-Vorgaben) sind folgende:

- die Herstellungskostenanteile für die Wartung und die Instandsetzung (nur KG 400),
- die Indexierung der Herstellungskosten mit dem Bundesbaupreisindex (Juni 2010 = 100)
- die Nutzungsdauern der Bauteile und technischen Anlagen,
- der Stundensatz für die Gebäudereinigung,
- die Preise für Wasser und Abwasser,
- die Preise für die Energieträger,
- die jährliche Preissteigerung für Bau- und Dienstleistungen,
- die jährliche Preissteigerung für Energie und
- der Diskontierungsfaktor.

Für die Bauteile der KG 300 wurden bisher keine laufenden Instandsetzungskosten berücksichtigt. Die Preise und Preissteigerungsraten ändern sich marktbedingt. Es musste geprüft werden, ob hierzu Anpassungen notwendig sind.

5.3 Detailanalyse zur Datenbasis von LCA und LCC

5.3.1 Bilanzierung von Fernwärme in der LCA

Prinzipiell kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei der Fernwärme, sofern sie mit Hilfe von KWK-Anlagen und/oder erneuerbaren Energien bereitgestellt wird, um eine ökologisch hochwertige Form der Energieversorgung handelt. Im Rahmen der Bewertung zum Nachhaltigen Bauen sollte darauf geachtet werden, dass eine hohe Motivation zum Anschluss an innerstädtische Fernwärmesysteme entwickelt wird, da die Systemeffizienz wesentlich von der System-Auslastung abhängt. Es kann nicht generell zielführend sein, wenn aus ökologischen Gründen die Fernwärme zugunsten erneuerbarer Energieträger ausgewählt wird. Neben der ökologischen Performance sind auch wesentliche betriebliche Vorteile zu berücksichtigen, wie der geringe Flächenbedarf, der geringe Instandhaltungsaufwand und die hohe Versorgungssicherheit.

Im Gegensatz zu anderen leitungs- bzw. netzgebundenen Energieträgern wie Strom oder Erdgas sind die ökologischen Eigenschaften eines Fernwärmesystems immer projekt- bzw. standortspezifisch determiniert. Die Eigenschaften der Fernwärmeversorgung lassen sich demzufolge nicht an Hand eines durchschnittlichen, überall in Deutschland repräsentativen Versorgungssystems beschreiben wie z.B. für den Strom-Mix Deutschland.

Folgende Parameter beeinflussen die ökologische Performance eines Fernwärmesystems:

- Erzeugertechnologie (KWK, erneuerbare Brennstoffe usw.),
- Netztechnologie (heute i. d. R. Kunststoff-Mantel-Rohr) und
- Netztopologie mit Auswirkungen auf die hydraulischen und wärmetechnischen Netzverluste
- Anschlussdichte, welche von der Bebauungsdichte und der energetischen Gebäudequalität abhängt.

Derzeit wird die ökologische Qualität von Fernwärmesystemen mit Hilfe des Primärenergiefaktors beschrieben. Der Primärenergiefaktor ergibt sich nach folgender Formel (vgl. DIN 18599-1 und sinngemäß AGFW FW 309):

$$f_{P,DH} = \frac{\sum_i Q_{f,i} \cdot f_{P,i} - E_{CHP} \cdot f_{P,elt}}{\sum_j Q_{h,f,j}} \quad (1)$$

$f_{P,DH}$	Primärenergiefaktor des Fernwärmesystems
$Q_{f,i}$	Endenergie des i-ten zur Wärme- und/oder Stromerzeugung eingesetzten Endenergieträgers, gemessen am Ort der Übergabe, bezogen auf den Heizwert
$f_{P,i}$	Primärenergiefaktor des i-ten zur Wärme- und/oder Stromerzeugung eingesetzten Endenergieträgers nach Tabelle A.1 der DIN V 18599-1
E_{CHP}	der in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugte Strom
$f_{P,elt}$	Primärenergiefaktor des elektrischen Stroms nach Tabelle A.1 der DIN V 18599-1
$Q_{h,f,j}$	Endenergieverbrauch (Wärme) des j-ten Wärmeverbrauchers, gemessen auf der Primärseite der Nahwärme-Hausstation

In der Praxis gibt es je nach Parameterkonstellation eine große Bandbreite möglicher Primärenergiefaktoren. Diese reicht von 0 (dazu gehören auch alle Systeme, deren Berechnungswert zunächst kleiner 0 ist) bis ca. 1,5. Durch den letzten Wert könnten reine Heizwerke auf der Basis fossiler Brennstoffe repräsentiert sein. Für die weit verbreiteten KWK-Systeme reicht die Bandbreite ebenfalls von 0 bis knapp über 1, so dass ohne weiteres kein allgemeingültiger Bereich angegeben werden kann.

Für die LCA-Bilanzierung sind zwei Ansätze denkbar:

1. Bilanzierung an Hand der Eingangsenergien ($Q_{f,i}$ in der obigen Formel (1))
2. Bilanzierung an Hand typischer Systeme, wenn die Daten aus 1. nicht verfügbar sind.

Zu bevorzugen wäre der erste Ansatz, weil er die ökologische Qualität des Systems vor Ort beschreibt. Alle benötigten Daten wurden bereits zur Berechnung des Primärenergiefaktors verwendet und müssten demzufolge verfügbar sein. Ggf. müsste die Institution, welche den Primärenergiefaktor ermittelt hat, um Auskunft angefragt werden. Mit den Daten kann man folgende Quotienten bilden:

$$F_{FW,i} = \frac{Q_{f,i}}{\sum_j Q_{h,f,j}} \text{ in kWh Endenergieträger/ kWh Fernwärme} \quad (2)$$

$F_{FW,i}$	Faktor für jeden im System eingesetzten Endenergieträger i
$Q_{f,i}$	Endenergie des i-ten eingesetzten Endenergieträgers, bezogen auf den Heizwert
$\sum_j Q_{h,f,j}$	Summe der bereitgestellten Fernwärme aus dem System

Damit ergeben sich z. B. folgende Energieträgeranteile an der Fernwärme:

- Erdgas = 0,50 (entspricht einem Anteil von 50 %)
- Hackschnitzel = 0,40 (entspricht einem Anteil von 40 %)
- Strom = 0,10 (entspricht einem Anteil von 10 %)

Damit kann der Endenergieeinsatz je Energieträger für das Gebäude bestimmt werden:

$$Q_{E,i} = Q_h \cdot F_{FW,i} \quad (3)$$

$Q_{E,i}$	Endenergie je Endenergieträger i (Erdgas, Hackschnitzel, Strom, ...) für das Gebäude
Q_h	Fernwärmebedarf für das Gebäude

Beispiel:

Jährlicher Fernwärmebedarf des Gebäudes:	100.000 kWh
Erdgas-Anteil an der Endenergie der Fernwärme:	30 %
Hackschnitzel-Anteil an der Endenergie der Fernwärme:	60 %
Strom-Anteil an der Endenergie der Fernwärme:	10 %

Daraus folgt, dass 30.000 kWh mit dem Ökobau.dat-Datensatz für den Energieträger Erdgas: „9.2.01 Thermische Energie aus Erdgas“ bilanziert werden müssen. Analog erfolgt die Bilanzierung für die Energieträger Hackschnitzel und Strom.

Der zweite Ansatz sollte für die Fälle entwickelt werden, in denen die Informationen aus der Bestimmung des Primärenergiefaktors nicht verfügbar sind. Dazu wären in einer Modellstudie typische Fernwärmesysteme an Hand des Primärenergiefaktors zu analysieren. Bei Kenntnis des Primärenergiefaktors des Systems und von Grundinformationen hinsichtlich der Erzeugertechnologien, kann $Q_{e,i}$ aus dem Modell abgeleitet werden.

5.3.2 Bilanzierung des abiotischen Ressourcenabbaupotenzials in der LCA

Die Bau- und Immobilienwirtschaft verwendet in hohem Maße abiotische Rohstoffe. Zu diesen gehören vor allem fossile Energieträger, Erze und Baumineralien wie Sand, Kies, Steine sowie Industriemineralien wie Quarzsand und Kalisalze. Abiotische Rohstoffe sind alle nicht erneuerbaren Materialien, die primär aus der Natur gewonnen werden, nicht weiter bearbeitet wurden und in einen Produktionsprozess eingehen können.

Bisher wurde der Umweltindikator „abiotisches Ressourcenabbaupotenzial – ADP“ in der LCA des BNB nicht bilanziert.

Das ADP wird in zwei Arten von Ressourcen eingeteilt.

1. Potenzial für den abiotischen Ressourcenabbau von Elementen
2. Potenzial für den abiotischen Ressourcenabbau von fossilen Brennstoffen

In der Ökobau.dat und in den EPD liegen Daten für beide Arten vor. Allerdings konnte der Auftraggeber bis zum Beginn des Forschungsprojektes die Datengrundlage und den Bilanzierungsumfang nicht abschließend klären, so dass gemeinsam beschlossen wurde, das ADP vorerst nicht in der LCA zu bilanzieren.

5.3.3 Energiepreise und Energiepreisentwicklung

Energiepreise

Auf der Internetseite des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie werden u.a. die Energiepreise für einen Teil der in Deutschland üblichen Energieträger in ihrer Entwicklung seit 1991 dargestellt. Für den Gebäudebereich sind die Verbraucherpreise der beiden Kategorien Industrie und Haushalte interessant.

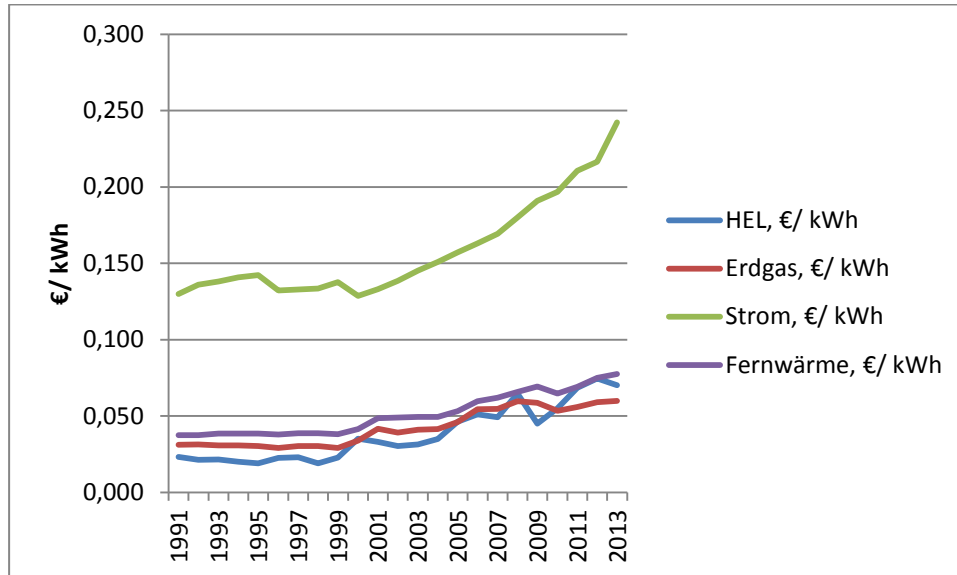


Abbildung 1: Energiepreise für Haushalte (ohne Mehrwertsteuer)

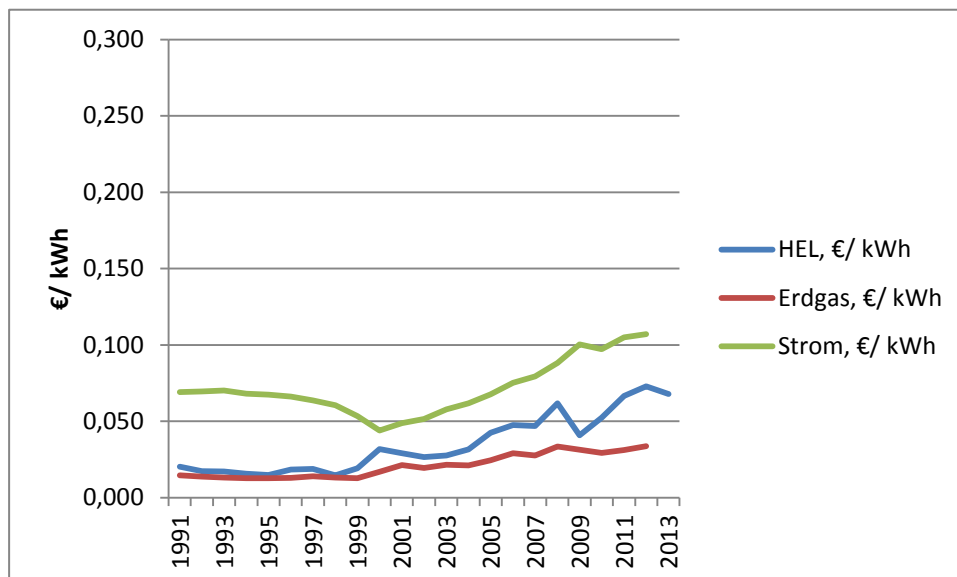


Abbildung 2: Energiepreise für die Industrie (ohne Mehrwertsteuer)

Aktuell sind folgende Preise relevant.

	1991	2013	Änderung in % pro Jahr	2003	2013	Änderung in % pro Jahr
HEL, €/ kWh	0,023	0,070	5,17%	0,031	0,070	8,36%
Erdgas, €/ kWh	0,031	0,060	3,02%	0,041	0,060	3,84%
Strom, €/ kWh	0,130	0,242	2,87%	0,145	0,242	5,24%
Fernwärme, €/ kWh	0,037	0,077	3,36%	0,049	0,077	4,59%

Tabelle 4: Energiepreise für Haushalte (ohne Mehrwertsteuer)

	1991	2012	Änderung in % pro Jahr	2003	2012	Änderung in % pro Jahr
HEL, €/ kWh	0,020	0,073	6,27%	0,028	0,073	11,42%
Erdgas, €/ kWh	0,015	0,034	4,04%	0,022	0,034	5,09%
Strom, €/ kWh	0,069	0,107	2,11%	0,058	0,107	7,07%

Tabelle 5: Energiepreise für die Industrie (ohne Mehrwertsteuer)

Preisverläufe für Holzpellets sind ab 2005 verfügbar und veröffentlicht z.B. vom Centralen Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk e.V. (CARMEN).

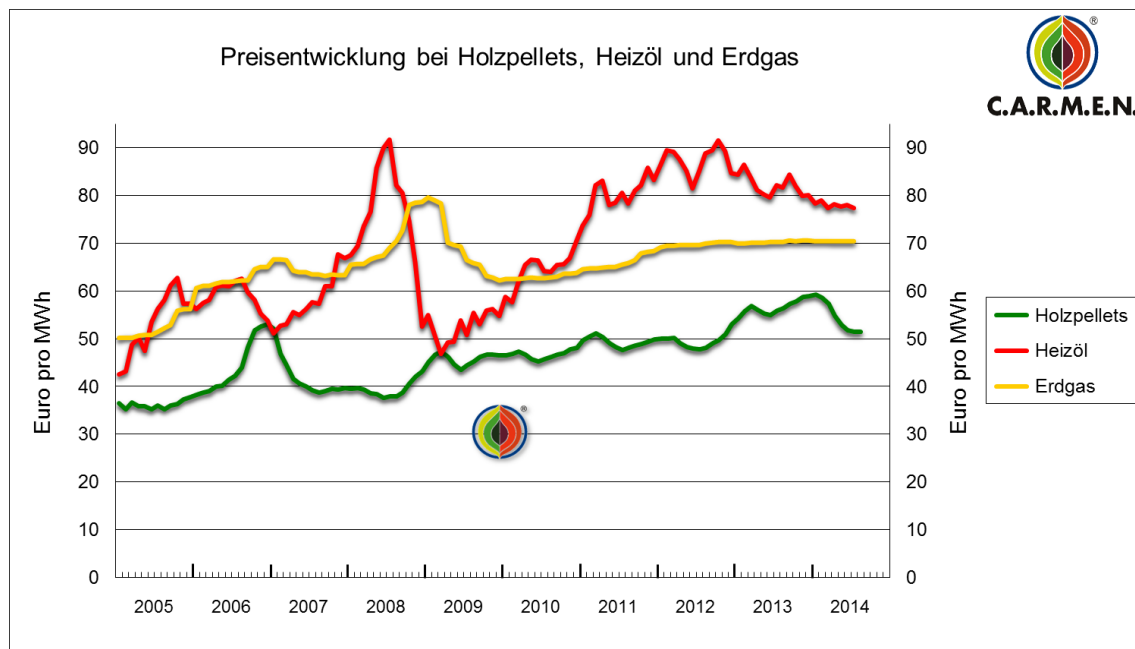


Abbildung 3: Preisentwicklung von Pellets im Vergleich zu Heizöl und Erdgas (Preise inkl. MwSt.)

	Preis in		Preisänderung pro Jahr
	€/MWh	€/ kWh	in %
2005	38	0,038	
2014	51	0,051	3,3%

Tabelle 6: Preise und Preissteigerung für Pellets (Werte nach CARMEN)

Statistisch gesicherte Preise für Braun- und Steinkohle für Liefermengen, wie sie in Gebäuden verwendet werden können, sind nicht verfügbar, da die Wärmeversorgung von Gebäuden mit Hilfe dieser Energieträger heute unüblich ist. Sie haben allenfalls Bedeutung in Fernwärmesystemen bzw. industriellen Versorgungssystemen.

Im BNB-Kriterium 2.1.1, Anlage 4 werden derzeit folgende Energiepreise für die Bewertung vorgegeben:

	Preis BNB	Preis BNB pro kWh
Strom (Arbeit)	0,17 €/kWh	0,170 €/kWh
Strom (Wärme)	0,11 €/kWh	0,110 €/kWh
Heizöl-EL (HEL)	0,65 €/l	0,065 €/kWh
Erdgas	0,62 €/m ³	0,060 €/kWh
Holzpellets	0,18 €/kg	0,041 €/kWh
Braunkohle	0,50 €/kg	0,071 €/kWh
Steinkohle	0,70 €/kg	0,079 €/kWh
Fernwärme (fossil)	0,09 €/kWh	0,090 €/kWh
Fernwärme (erneuerbar)	0,07 €/kWh	0,070 €/kWh

Tabelle 7: Energiepreise nach BNB-Kriterium 2.1.1, Version 2011

Für Strom werden aktuell zwei Preise vorgegeben. Das ist zukünftig nicht mehr sinnvoll. Die Stromversorger haben im Gegensatz zur Vergangenheit keine Verpflichtung mehr, spezielle Wärmepumpentarife anzubieten. Demzufolge gibt es keine statistischen Daten für dieses Preissegment. Wärmepumpentarife werden von den Versorgern auch nur teilweise angeboten, so dass in der Konsequenz der Wärmepumpentarif durchaus in der Höhe des sonst üblichen Strompreises liegen kann.

Es wird empfohlen, im BNB-System nur noch einen einzigen Strompreis zu verwenden.

Weiterhin wird vorgeschlagen, künftig nur noch einen Fernwärmetarif zu verwenden, da die Unterscheidung in Versorgungssysteme mit fossilen Energieträgern und solche mit erneuerbaren Energieträgern in der Praxis unüblich ist. Meistens kommen fossile und erneuerbare Energieträger in Kombination vor. Außerdem dominieren in der Fernwärmeversorgung Systeme mit KWK. Statistisch belastbare Preisangaben, bei welchen zwischen fossilen und erneuerbaren Energieträgern bei Fernwärmesystemen unterschieden wird, gibt es nicht. Fernwärmepreise werden generell ohne definierten Bezug zu den eingesetzten Energieträgern angegeben.

Die folgende Tabelle zeigt die BNB-Preise mit den beschriebenen strukturellen Veränderungen und zum Vergleich die Verbraucherpreise für 2013 (HH – Haushalte) und für 2012 (Ind. – Industrie).

	Preis BNB	Preis umgerechnet	2013 Haushalte	2012 Industrie
Strom	0,17 €/kWh	0,170 €/kWh	0,242 €/kWh	0,107 €/kWh
Heizöl-EL (HEL)	0,65 €/l	0,065 €/kWh	0,070 €/kWh	0,073 €/kWh
Erdgas	0,62 €/m ³	0,060 €/kWh	0,060 €/kWh	0,034 €/kWh
Holzpellets	0,18 €/kg	0,041 €/kWh	0,057 €/kWh	- €/kWh
Fernwärme	0,09 €/kWh	0,090 €/kWh	0,077 €/kWh	- €/kWh

Tabelle 8: Energiepreise im BNB-System und Verbraucherpreise

Generell sollten die Preise im Steckbrief mit Bezug auf die jeweilige Energiemenge (d.h. in €/ kWh) und nicht die Stoffmenge angegeben werden. Da im Rahmen der Bilanzierung ausschließlich Bedarfsberechnungen relevant sind, welche nur mit diesen Preisformulierungen arbeiten, erscheint das sinnvoll.

Auf der Basis der vorstehenden Analyse werden folgende neue Preisansätze vorgeschlagen:

	Preis BNB alt	Preis BNB neu
Strom	0,170 €/kWh	0,200 €/kWh
Heizöl-EL (HEL)	0,065 €/kWh	0,070 €/kWh
Erdgas	0,060 €/kWh	0,060 €/kWh
Holzpellets	0,041 €/kWh	0,057 €/kWh
Fernwärme	0,090 €/kWh	0,077 €/kWh

Tabelle 9: Vorschlag neuer Energiepreise im BNB-System

Es sollte nur noch ein Strompreis angesetzt werden, da die Unterscheidung zwischen Stromtarifen für Wärmeanwendungen (Wärmepumpe bzw. Heiztarife) und sonstigen Stromanwendungen nicht mehr eindeutig gegeben ist. Zukünftig ist außerdem davon auszugehen, dass es zeitbezogene Stromtarife gibt ohne Bezug zur Anwendungstechnologie (Smart Metering u. ä.). Wenn sich diese Methode am Markt durchgesetzt hat, müssen die Strompreise im BNB-System wieder neu justiert werden.

Da in der Statistik Preise nur für Haushaltskunden und Industriekunden geführt werden, ist eine eindeutige Zuordnung der relevanten Preise für den Gebäudebestand der öffentlichen Hand nicht möglich. Die Autoren gehen jedoch davon aus, dass bei vielen Gebäuden dieser Kategorie eher Strompreise in der Größenordnung für Haushaltskunden zur Anwendung kommen, sicher nicht durchgängig in der Höhe, wie sie in Privathaushalten angesetzt werden. Der oben stehende Vorschlag wurde daher empirisch festgelegt und berücksichtigt vor allem die beabsichtigte Lenkungswirkung der Energiepreise allgemein.

Die Preise für Braun- und Steinkohle haben für den Gebäudebereich keine Relevanz und sollten entweder auf dem jetzigen Niveau belassen oder aus dem Steckbrief entfernt werden.

Es sollte nur noch ein Fernwärmepreis verwendet werden. Der jetzige Fernwärmepreis erscheint zu hoch und wird entsprechend den statistischen Daten wie angegeben verringert. Das führt ohne Zweifel zu einer Begünstigung fernwärmeversorgter Gebäude, was aber aus Sicht der Autoren zumindest für die überwiegende Zahl der Systeme mit KWK ein vertretbarer Schritt ist.

Energiepreisentwicklung

Da das BNB-System auf einen Zeitraum von 50 Jahren fokussiert, wäre es sinnvoll, genau diese Zeitspanne in der Vergangenheit zur Festlegung der Preisänderungen zu nutzen. Verfügbar sind jedoch nur Daten für den Zeitraum 1991 bis 2013.

Die Tabellen 4 und 5 zeigen die Energiepreisänderungen für die Jahre 1991 bis 2013 und die Jahre 2003 bis 2013. Die Spanne der Preisänderungen in der Vergangenheit liegt zwischen ca. 2 % und 11%.

Der arithmetische Mittelwert aller Preisänderungsraten im Zeitraum 1991 bis 2013 beträgt ca. 4 %. Der arithmetische Mittelwert aller Preisänderungsraten im Zeitraum 2003 bis 2013 beträgt ca. 7 %. Lässt man das Heizöl außer Acht, da es beim nachhaltigen Bauen kaum zur Anwendung kommen wird, ergeben sich Mittelwerte von 3 % und 5 %.

Es wird vorgeschlagen, eine jährliche Steigerung der Energiepreise um 5 % anzusetzen. Damit wird der anhaltenden Steigerungstendenz in den letzten zehn Jahren Rechnung getragen, obwohl diese Schlussfolgerung aus methodischer Sicht (möglichst langer Betrachtungszeitraum für die Ermittlung der Preisänderungsrate) durchaus umstritten ist. Positive Effekte im Sinne des nachhaltigen Bauens ergeben sich durch die vorgeschlagene Preissteigerungsrate aufgrund der höheren Lenkungswirkung.

5.3.4 Instandhaltungskosten

Bei den Instandhaltungskosten des Baukörpers (KG 300) werden im BNB-System bisher pauschal nur laufende Wartungs- und Inspektionskosten mit 0,1 % der Herstellungskosten pro Jahr angesetzt. Laufende Instandsetzungskosten werden nicht bilanziert. Die Daten- bzw. Informationsbasis für diese Annahme ist den Autoren nicht bekannt. Vergleichbare Normenwerke wie sie für die technischen Anlagen mit den AMEV-Richtlinien und der VDI 2067-1 verfügbar sind, liegen nicht vor.

Durch das BKI werden Nutzungskosten von Bestandsimmobilien veröffentlicht. Allerdings ist die Datenbasis mit nur fünf Bürogebäuden nicht ausreichend.

Eine weitere Datenquelle ist der „OSCAR“, die Büronebenkostenanalyse von Jones Lang LaSalle und CREIS.

3 Durchschnittswerte aller Vollkosten nach Gebäudequalität (€/m²/Monat)

	einfach	mittel	hoch
Zinsen	7,65	9,22	11,14
Öffentliche Abgaben/Entsorgung	0,48	0,50	0,53
Versicherungen	0,12	0,13	0,15
Wartung/Instandsetzung/Hausmeister	1,29	1,45	1,50
Strom	0,64	0,68	0,77
Wärme/Kälte	0,56	0,61	0,65
Wasser/Kanal	0,13	0,13	0,14
Reinigung/Sonstiges	0,72	0,84	0,94
Bewachung	0,44	0,56	0,69
Verwaltung	0,38	0,42	0,45
Zwischensumme	12,41	14,54	16,96
AfA	2,21	2,61	2,96
Bauunterhalt	0,39	0,32	0,42
Gesamt	15,01	17,47	20,34

*Quelle: alle Daten Jones Lang LaSalle, CREIS

Tabelle 10: Nebenkosten von Bürogebäuden (Quelle: Jones Lang LaSalle und CREIS)

Der „OSCAR“ weist 2013 einen monatlichen Bauunterhalt (Instandsetzung der KG 300) von 0,32 €/m²_{NGF} für einen mittleren Ausstattungsstandard und 0,42 €/m²_{NGF} für einen hohen Ausstattungsstandard aus. Damit ergibt sich im Mittel (entspricht dem Ausstattungsstandard des Bundes) ein jährlicher Bauunterhalt von 4,44 € pro m²_{NGF}.

Aus dem jährlichen flächenbezogenen Bauunterhaltsaufwand konnte durch Variantenberechnungen ein äquivalenter Instandsetzungskostenanteil i. H. v. 0,35 % ermittelt werden, der zur Anwendung im BNB empfohlen wird.

Generell wäre es besser, die Kosten für die „Inspektion und Wartung“ und die „Instandsetzung“ den relevanten Bauteilen der Baukonstruktion differenziert zuzuordnen. Dabei sind zwei Gruppen von Bauteilen zu unterscheiden:

- Bauteile die sowohl einen Bedarf für Inspektion und Wartung aufweisen, als auch einen Instandsetzungsbedarf. In der Regel handelt es sich um Bauteile mit mechanisch beanspruchten Komponenten bzw. durchströmte Bauteile.
- Bauteile, welche überwiegend nur einen Instandsetzungs- bzw. Reparaturbedarf im Schadensfall erfordern.

Inspektion, Wartung und Instandsetzung	Nur Instandsetzung
Drainagen	Bauwerksabdichtungen
Fenster und Türen	Bodenbeläge
Sonnenschutzanlagen	Außenfassade
Automatische Türen	Dachkonstruktionen
	Innenausbaukonstruktionen

Tabelle 11: Bauteile der KG 300 (DIN 276) mit Instandhaltungsbedarf

Derzeit sind keine Untersuchungsergebnisse mit statistisch gesicherter Relevanz bekannt, die Kennwerte für die Bemessung von Instandhaltungskosten der Baukonstruktion enthalten. Insbesondere fehlen investitionsbezogene Kennzahlen, wie sie für die KG 400 beispielsweise in der AMEV TGA 2013 oder in der VDI 2067-1 angeführt werden.

Es wird angeregt, eine solche Erhebung von Instandhaltungskosten für die Baukonstruktion durchzuführen. Diese Erhebung und Auswertung sollte in Zusammenarbeit mit der AMEV erfolgen.

Instandhaltungskosten für Gebäudekomponenten der KG 400 und 540

Für die technischen Anlagen ist die belastbare Datenlage deutlich besser.

	TGA 2013		AMEV 2000 ohne GA		AMEV 2000 mit GA		BNB 2.1.1, Anlage 3	
	f _{w/I}	f _{is}	f _{w/I}	f _{is}	f _{w/I}	f _{is}	f _{w/I}	f _{is}
KG 410	1,00%	0,98%	0,70%	0,55%	0,50%	0,55%	0,70%	0,55%
KG 420	0,41%	0,66%	0,90%	0,50%	0,60%	0,50%	0,90%	0,50%
KG 430	0,96%	1,10%	2,05%	2,40%	1,40%	2,40%	2,05%	2,40%
KG 440	0,60%	0,70%	1,25%	0,65%	1,00%	0,60%	1,25%	0,65%
KG 450	1,04%	1,04%	0,70%	0,25%	0,70%	0,25%	0,70%	0,25%
KG 460	1,76%	1,78%	2,05%	1,10%	1,40%	1,10%	2,05%	1,10%
KG 470	0,86%	0,59%						
KG 480	1,16%	0,76%			1,00%	1,50%		
KG 541	0,93%	1,07%	0,95%	0,80%	0,65%	0,75%		
KG 542	0,93%	1,07%	0,95%	0,80%	0,85%	0,80%		
KG 543	0,93%	1,07%	0,95%	0,80%	0,85%	0,80%		
KG 544	0,88%	0,80%	0,90%	0,60%	0,60%	0,55%		
KG 545	0,88%	0,80%	0,90%	0,60%	0,60%	0,55%		
KG 546	0,43%	1,07%	0,50%	0,80%	0,30%	0,70%		
KG 547	0,43%	1,07%	0,50%	0,80%	0,30%	0,70%		

Tabelle 12: Jährlicher Instandhaltungskostenanteil an den Herstellungskosten (AMEV, TGA 2013)

Die neueren Werte der AMEV-TGA 2013 basieren auf einem vom BBSR initiierten Forschungsprojekt. Es wird empfohlen, die Instandhaltungskosten für die KG 400 und 540 vollständig und ausschließlich nach der AMEV-TGA 2013 zu bilanzieren. Alternative Berechnungsansätze mit Bezug zur VDI 2067-1 sollten nicht zugelassen werden, um die Vergleichbarkeit verschiedener Gebäude zu gewährleisten.

Mit der AMEV-TGA 2013 ist eine aktuelle, mit wissenschaftlichen Methoden erarbeitete Datenbasis für die Instandhaltung technischer Anlagen verfügbar. Diese ist in sich konsistent und deckt den gesamten benötigten Bereich ohne Auslassungen ab.

Die Kostenfaktoren der AMEV-TGA 2013 sind eindeutig auf der Basis der DIN 276-1, zweite Ebene strukturiert, so dass auch schon in frühen Planungsphasen die Instandhaltungskosten sicher abgeschätzt werden können.

Die Verwendung von Werten aus der VDI 2067-1 ist nicht sinnvoll, da sich die dort angegebenen Kostenfaktoren auf Einzelkomponenten beziehen. Außerdem ist eine hohe Detailtiefe nur für einen Teil der technischen Anlagen im Gebäude gegeben. Ein Teil wichtiger technischer Systeme kommt in der Richtlinie nicht vor.

5.3.5 Stundenverrechnungssatz für die Gebäudereinigung

Der bisherige Stundenverrechnungssatz beträgt 15,00 €/h und ist nicht differenziert nach den zu reinigenden Bauteilen. In der Praxis streuen die Stundenverrechnungssätze in der Gebäudereinigung stark. Jeder Reinigungsbetrieb arbeitet unter anderen Bedingungen, sowohl was das Personal und Arbeitsgerät als auch die Arbeitsumgebung und Erwartungshaltung des Kunden angeht. Ein einheitlicher Verrechnungssatz ist damit nicht möglich. Auch der „Bundesinnungsverband des Gebäudereiniger-Handwerks“ veröffentlicht keine durchschnittlichen Stundenverrechnungssätze.

Die Befragung von 100 Betrieben durch das Institut für Arbeit und Qualifikation der Universität Duisburg/Essen (2011) ergab einen Mittelwert von 15,90 €. Neben dieser statistischen Quelle wurde eine weitere Quelle, die Firma „1a-Reinigungsberatung“ herangezogen, da diese eine Differenzierung des Stundenverrechnungssatzes in „Unterhaltsreinigung“ und „Glasreinigung“ vornimmt. Das entspricht auch der Angebotspraxis.

<http://www.die-gebaeuedienstleister.de/fuer-auftraggeber/bestellservice/>

<http://1a-reinigungsberatung.de/index.php/dienstleistungen/wie-wird-kalkuliert>

Berechnung von Stundenverrechnungssätzen

Tarifstand aktuell 2008	°	°
Lohngruppe I (Bayern) Unterhaltsreinigung	8,15 €	Produktivlohn
Lohngruppe VI (Bayern) Glasreinigung	10,80 €	Produktivlohn
Lohngruppe IV (Bayern) Bauschlussreinigung	9,74 €	Produktivlohn
Lohngruppe I (Bayern) an Sonn- und Feiertagen	16,30 €	Produktivlohn

Stundenverrechnungssatz Unterhaltsreinigung	14,49	Euro
Stundenverrechnungssatz an Sonn- und Feiertagen	28,98	Euro
Stundenverrechnungssatz in der Glasreinigung	19,20	Euro
Stundenverrechnungssatz in der Bauschlussreinigung	17,31	Euro

Folgende Tabelle zeigt die Preissteigerung für Reinigungsdienste. Diese wurde auf das 1. Quartal 2015 extrapoliert. Für die allgemeine Gebäudereinigung ergibt sich eine Preissteigerung von 8,3 %. Für die Glasreinigung ergibt sich eine Preissteigerung von 7,2 %.

Erzeugerpreisindizes für Reinigung, Wach- und Sicherheitsdienste
2010=100

Jahr, Quartal		Reinigung insgesamt WZ08-81.2	Allgemeine Gebäudereinigung WZ08-81.210	Glasreinigung WZ08-81.229
2014	II	106,3	106,4	105,6
	I	106,2	106,2	105,3
2011	IV	100,7	100,8	100,5
	III	100,7	100,8	100,5
	II	100,8	100,8	100,7
	I	100,8	100,8	100,7
2008	IV	98,6	98,8	99,1
	III	98,6	98,8	99,2
	II	98,6	98,8	99,2
	I	98,0	98,1	98,8

Tabelle 13: Preisindizes für Gebäudedienstleistungen

Damit ergeben sich folgende Stundenverrechnungssätze.

	Unterhaltsreinigung	Glasreinigung	Bemerkung
2008	14,49 €	19,20 €	Quelle: 1a-Reinigungsberatung
Preissteigerung	8,3%	7,2%	2008 - 2015
2015	15,69 €	20,58 €	
2011	15,90 €		Quelle: Universität Duisburg/Essen
Preissteigerung	6,2%	5,8%	2008 - 2015
2015	16,89 €		

Tabelle 14: Indizierte Stundenverrechnungssätze für Gebäudereinigungsleistungen

Eine weitere Quelle ist das DGNB-Kriterium ECO 1.1: „Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus“. Darin sind folgende Stundenverrechnungssätze festgelegt.

- 17,00 €/h (netto) für die Unterhaltsreinigung
- 22,50 €/h (netto) für die Glasreinigung

Die hochgerechneten Werte decken sich in etwa mit den DGNB-Werten. Bei der Glasreinigung ist der Unterschied etwas größer. Allerdings schwanken die Angebotspreise für die Gleisreinigung stark, so dass empfohlen wird, die vorgenannten Stundenverrechnungssätze für das BNB-Kriterium 2.1.1 zu übernehmen.

5.3.6 Diskontierungszinssatz für die Barwertermittlung

Der bisherige Diskontierungszinssatz beträgt 5,5 %. Die in der LCC verwendete Barwertmethode werden alle zu bilanzierenden Zahlungen im Lebenszyklus auf den Bewertungstag (heute) diskontiert (abgezinst).

Das bedeutet für die Herstellungskosten, die als Zahlung zum Zeitpunkt $t=0$ anfallen, eine Abzinsung von $1 / (1+5,5\%)^0 = 1$. Die Herstellungskosten gehen damit zu 100 % in den Barwert ein.

Die Erneuerung eines Fußbodenbelages am Ende des 15. Jahres geht aufgrund der Diskontierung über 15 Jahre, ohne Berücksichtigung der Preissteigerung von 2 % pro Jahr, mit 45 % ein.

Die 2. Erneuerung am Ende des 30. Jahr wird noch mit 20 % der Herstellungskosten bilanziert.

Der Diskontierungszinssatz von 5,5 % bewirkt, dass Zahlungen in der Nutzungsphase stark abgewertet werden. Vergleicht man den Barwert eines Gebäudes mit der Summe aller Zahlungen im Lebenszyklus (das entspricht einem Diskontierungszinssatz von 0 %) und berücksichtigt man in beiden Berechnungen die Preissteigerungen, so ergeben sich folgende durchschnittliche Anteile.

	Herstellung	Nutzung
Barwert	55-65 %	35-45 %
Zahlungen	20-30 %	70-80 %

Quelle: eigene Darstellung

Diese Verhältnisse zeigen, dass die Bewertung der Lebenszykluskosten auf der Basis des Barwertes mit einem Diskontierungszinssatz von 5,5 % die Herstellungskosten stärker berücksichtigt als die drei- bis viermal höheren Nutzungskosten. Damit werden Gebäude mit geringen Herstellungskosten und höheren Nutzungskosten tendenziell besser bewertet und die Potenziale der Lebenszykluskostenbetrachtung werden nicht ausgeschöpft. Daher empfehlen die Autoren, den Diskontierungszinssatz abzusenken.

Die Entscheidung auf welchen Prozentsatz der Diskontierungszinssatz abgesenkt werden sollte, ist mehr eine politische Entscheidung als eine finanzmathematische oder bauwirtschaftliche Entscheidung, da es hierbei um eine Präferenz-Gewichtung zwischen Gegenwart und Zukunft geht.

Der bisherige Diskontierungszinssatz wurde aus der durchschnittlichen Verzinsung einer Büroimmobilie als Kapitalanlage abgeleitet. Für öffentliche Gebäude ist diese Orientierung nicht sinnvoll.

Da die Entscheidung für einen Neubau anhand einer vorgeschalteten Wirtschaftlichkeitsuntersuchung getroffen wird, bei der verschiedene Bereitstellungsalternativen verglichen werden, gibt es keine Unterlassensalternative, deren Anlagezinssatz als Diskontierungszinssatz verwendet werden könnte. Eine weitere Alternative wäre der Zinssatz der Eigenkapitalverzinsung, der vom Bund jährlich als Basis für Investitionsentscheidungen ermittelt wird. Dieser Zinssatz liegt 2014 bei 2,3 %. In 2013 betrug er 3.1 %. An diesem Sprung ist ersichtlich, dass es sich hierbei nicht um einen Zinssatz für eine langfristige Wertentwicklung handelt. Da die Diskontierung über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren erfolgt, sollte der Zinssatz aus einer Betrachtung von langfristigen Investitionen abgeleitet werden, so dass auch der Eigenkapitalzinssatz als nicht passend bewertet wird.

Für Investitionen in öffentliche Gebäude sollte der Diskontierungszinssatz ein Maß für die Lastenverteilung zwischen der heutigen und den zukünftigen Generationen sein.

Zur Ermittlung dieser Lastenverteilung und der Ableitung eines Zinssatzes empfahl Herr Prof. Dr. Thomas Lützkendorf folgende Quelle: „Ökonomische Bewertung von Umweltschäden“, bearbeitet von Frau Dr. Sylvia Schwermer und herausgegeben im August 2012 vom Umweltbundesamt, Fachgebiet I 1.14 -Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Umweltfragen, nachhaltiger Konsum“. Das folgende Zitat wurde dieser Quelle (S. 34-35) entnommen. Es beschreibt die Herleitung der sozialen Diskontrate, mit der die Folgen heutiger Investitionsentscheidungen bewertet werden können.

„Wissenschaftlich lässt sich die Höhe der Diskontrate zur Bewertung generationenübergreifender Aspekte nicht begründen, denn mit der Wahl der Diskontrate sind implizit Werturteile verbunden.“

Um den Einfluss der Werturteile auf die Höhe der Diskontrate zu erkennen, ist es hilfreich, die Diskontrate als Ergebnis eines intertemporalen Nutzenkalküls aufzufassen.

Die soziale Diskontrate ist umso höher, je höher die pure Zeitpräferenzrate, die Grenznutzenelastizität des Konsums und die Wachstumsrate des Konsums sind.

Um einen Wert für die Diskontrate festzulegen, ist erstens eine Annahme über den Inhalt der Präferenzen künftiger Generationen zu treffen, zweitens ist festzulegen, wie die Kosten und Nutzen künftiger Generationen im Vergleich zur heutigen Generation zu gewichten sind (dies determiniert die pure Zeitpräferenzrate) und drittens müssen Annahmen über die weiteren Bestimmungsgrößen für die soziale Diskontrate (Wachstumsrate des Konsums, Grenznutzen des Konsums) getroffen werden.

1.) Bei der Bewertung generationenübergreifender Wirkungen legen wir die Präferenzen der heutigen Generation zu Grunde, denn die Präferenzen in den einzelnen Bedürfnisfeldern (wie Nahrung, Wohnen, Mobilität) entwickeln sich generationenübergreifend in einer sehr langsamen Evolution, so dass die Präferenzinhalte der heute lebenden Generationen die beste Schätzung für jene zukünftiger Generationen (Zeitraum mindestens 150 Jahre) darstellen.

2.) Die Nutzen heute lebender und künftiger Generationen gewichten wir gleich. Dies bedeutet, dass bei generationenübergreifenden Bewertungen die so genannte „pure Zeitpräferenzrate“ gleich Null gesetzt wird. Damit ist die Annahme verbunden, dass die zu bewertenden Tatbestände für die künftigen Generationen den gleichen Stellenwert haben, wie für die heute Lebenden (falls das Ereignis heute eintreten würde).

...

3.) Für den Standardfall nehmen wir an, dass die Grenznutzenelastizität des Konsums gleich eins ist und dass das Wachstum 1,5 Prozent beträgt. Diese Werte entsprechen den in ökonomischen Analysen gängigen Annahmen.

Aus der Zusammenschau dieser drei Annahmen ergibt sich: Die soziale Diskontrate bei generationenübergreifenden Bewertungen setzen wir damit standardmäßig auf 1,5 Prozent.

Es wird empfohlen, im BNB-Kriterium 2.1.1 einen Diskontierungszinssatz von 1,5 % zu verwenden. Daraus entsteht für den Barwert ein Verhältnis zwischen „Herstellung“ und „Nutzung“, das näher an dem Verhältnis der reinen Zahlungen liegt. Im Sinne der Generationengerechtigkeit sollte dies auch so sein.

	Herstellung	Nutzung
Barwert (5,5 %)	55-65 %	35-45 %
Barwert (1,5 %)	26-39 %	61-74 %
Zahlungen	20-30 %	70-80 %

Quelle: eigene Darstellung

5.3.7 Sonderbedingungen in der LCC

Für die Bewertung der Lebenszykluskosten gibt es im Kriterium 2.1.1 aktuell zwei Bewertungsmaßstäbe. Der erste Bewertungsmaßstab (Kategorie 1) gilt für Gebäude ohne Sonderbedingungen und der zweite (Kategorie 2) für Gebäude mit Sonderbedingungen.

Punkte	Anforderungsniveau
100	Kategorie 1 (Gebäude ohne Sonderbedingungen): < 2.000 [€/m ² BGF] Kategorie 2 (Gebäude mit Sonderbedingungen): < 2.400 [€/m ² BGF]
90	Kategorie 1 (Gebäude ohne Sonderbedingungen): < 2.180 [€/m ² BGF] Kategorie 2 (Gebäude mit Sonderbedingungen): < 2.660 [€/m ² BGF]
80	Kategorie 1 (Gebäude ohne Sonderbedingungen): < 2.360 [€/m ² BGF] Kategorie 2 (Gebäude mit Sonderbedingungen): < 2.920 [€/m ² BGF]
70	Kategorie 1 (Gebäude ohne Sonderbedingungen): < 2.540 [€/m ² BGF] Kategorie 2 (Gebäude mit Sonderbedingungen): < 3.180 [€/m ² BGF]
60	Kategorie 1 (Gebäude ohne Sonderbedingungen): < 2.720 [€/m ² BGF] Kategorie 2 (Gebäude mit Sonderbedingungen): < 3.440 [€/m ² BGF]
50	Kategorie 1 (Gebäude ohne Sonderbedingungen): < 2.900 [€/m ² BGF] Kategorie 2 (Gebäude mit Sonderbedingungen): < 3.700 [€/m ² BGF]
40	Kategorie 1 (Gebäude ohne Sonderbedingungen): < 3.080 [€/m ² BGF] Kategorie 2 (Gebäude mit Sonderbedingungen): < 3.960 [€/m ² BGF]
30	Kategorie 1 (Gebäude ohne Sonderbedingungen): < 3.260 [€/m ² BGF] Kategorie 2 (Gebäude mit Sonderbedingungen): < 4.220 [€/m ² BGF]
20	Kategorie 1 (Gebäude ohne Sonderbedingungen): < 3.440 [€/m ² BGF] Kategorie 2 (Gebäude mit Sonderbedingungen): < 4.480 [€/m ² BGF]
10	Kategorie 1 (Gebäude ohne Sonderbedingungen): ≥ 3.620 [€/m ² BGF] Kategorie 2 (Gebäude mit Sonderbedingungen): ≥ 4.740 [€/m ² BGF]
0	Die Lebenszykluskosten wurden nicht nachgewiesen.

Tabelle 15: Bewertungsmaßstab BNB-Kriterium 2.1.1 mit zwei Kategorien

Kategorie 1: < 2.000 €/m²BGF bis ≥ 3.620 €/m²BGF

Kategorie 2: < 2.400 €/m²BGF bis ≥ 4.620 €/m²BGF

Die Zuordnung zu Kategorie 2 muss entsprechend der nachfolgenden Kriterien detailliert begründet und prüffähig nachgewiesen werden, anderenfalls erfolgt die Zuordnung zu Kategorie 1.

Als Sonderbedingungen werden bisher anerkannt:

- A) schwierige Baugrundbedingungen
- B) Gebäude mit realisierten Maßnahmen im Bereich Energieeffizienz und Umweltschutz, die zurzeit noch nicht wirtschaftlich sind
- C) Gebäude mit erhöhten baulichen Anforderungen in mindestens zwei der folgenden Bereiche
 - Standsicherheit
 - Brandschutz
 - Schallschutz
 - Terrorprävention

Die Einordnung des ermittelten LCC-Barwertes in die Kategorie 2 erfolgt bisher, wenn eine der Sonderbedingungen von A) bis C) erfüllt ist, ohne dass die konkreten Mehrkosten berücksichtigt wurden.

Daraus ergeben sich folgende Probleme.

1. Es werden Gebäude mit einem kleinen Mehraufwand (z. B. für Schallschutz) besser bewertet als ansonsten gleichartige Gebäude mit einem hohen Mehraufwand (z. B. für Terrorprävention).
2. Das Vorliegen einer Sonderbedingung wird genauso behandelt wie das Vorliegen von zwei oder drei Sonderbedingungen.
3. Die Merkmale für das Vorliegen einer der drei Sonderbedingungen sind nicht konkret genug beschrieben, so dass z. B. bei einem Mehrkostenanteil an den Herstellungskosten von 10 % die Kategorie 2 gewählt werden kann, obwohl die Differenz zwischen Kategorie 1 und 2 bei 20 bis 28 % liegen.

Zur Problemlösung müssen zwei Fragen beantwortet werden.

1. Welche Rahmenbedingungen erfordern einen überdurchschnittlichen Kostenaufwand und können nicht durch Nachhaltigkeitsüberlegungen optimiert werden, so dass sie als Sonderbedingungen berücksichtigt werden könnten?
2. Wie erfolgt die Berücksichtigung von Mehrkosten infolge von Sonderbedingungen und wie werden diese ermittelt und nachgewiesen?

Sonderbedingungen gemäß 1. könnten sein.

- a) schwierige Baugrundbedingungen
- b) erhöhte Sicherheitsanforderungen
- c) erhöhte Repräsentativität
- d) bauliche Lösungen mit Pilotcharakter

Die Sonderbedingung a) ist standortabhängig.

Die Sonderbedingung b) ist standort- und nutzerabhängig.

Die Sonderbedingung c und d) sind nutzerabhängig.

Die Standortabhängigkeit resultiert vor allem aus städtebaulichen Anforderungen.

Die Nutzerabhängigkeit in b) resultiert aus der allgemeinen Gefährdung und dem daraus abgeleiteten Sicherheitsbedarf (z. B. Zugangs-/Zufahrtskontrolle, Datenschutz, Personenschutz, Terrorprävention u.a.), der für die entsprechenden Nutzergruppen (Regierung, Ministerium, Verwaltung, Kaserne, u.a.) mit der Bauaufgabe vorgegeben wird.

Die Nutzerabhängigkeit in c) und d) resultieren aus der Kategorie des Nutzers und der Funktion des Gebäudes.

Zur Bewertung der Auswirkungen von Sonderbedingungen, d. h. die Ermittlung der Mehrkosten kann aufgrund der Vielfalt und Verschiedenheit der Sonderbedingungen nur im Einzelfall vorgenommen werden. Eine Standardisierung der Sonderbedingungen erscheint unmöglich und ist nach Ansicht der Autoren nicht notwendig.

Damit das Vorliegen von Sonderbedingungen im Einzelfall bewertet werden kann, sollten der Bauherr und das Projektteam eine begründete Aufstellung der Mehrkosten bei der Konformitätsprüfungsstelle einreichen und diese sollte über die Anrechenbarkeit der einzelnen Positionen entscheiden.

Die Bewertung von Sonderbedingungen erfolgt durch Abzug der Mehrkosten von den Herstellungskosten in der jeweiligen Kostengruppe nach DIN 276 als Basis für die Barwertberechnung. Damit wäre nur eine Kategorie notwendig und die Höhe der Mehrkosten müsste im Bewertungsmaßstab nicht berücksichtigt werden.

Für die Prüfung der Anerkennung von Mehrkosten durch die Konformitätsprüfungsstelle muss die Barwertberechnung die Höhe der Minderungen kostengruppenbezogen ausweisen. Weiterhin müssen die Berechnung des Barwerts ohne Abzug der Mehrkosten und des Barwerts mit Abzug der Mehrkosten sowie die sich jeweils ergebenden BNB-Punkte nachvollziehbar dargestellt werden.

Für die Prüfung sind die Maßnahmen zu beschreiben und deren Notwendigkeit zu begründen.

Mehrkosten können z. B. für den Einsatz von mehr Bewehrungsstahl und einer erhöhten Betonfestigkeit aufgrund eines erhöhten Erdbebenrisikos entstehen. Diese müssten vom Tragwerksplaner ermittelt werden.

5.4 Analyse der wesentlichen Einflussgrößen der LCA und LCC

5.4.1 Analyse der Einflussgrößen der LCA

Eine Ökobilanz besteht aus folgenden vier Bilanzanteilen.

1. Herstellung des Gebäudes
2. Energiebereitstellung während der Gebäudenutzung
3. Erneuerung von Gebäudebestandteilen
4. Rückbau und Entsorgung des Gebäudes

Die Bilanzanteile 1, 3 und 4 sind der Konstruktion zugeordnet und im Wesentlichen zeitpunktbezogen (Fertigstellung, Erneuerung, End of Life). Der Bilanzanteil 2 (Energie) ist zeitraumbezogen und entsteht kontinuierlich im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren.

Im Durchschnitt beträgt das Bilanzverhältnis zwischen Konstruktion und Energie ca. 20 - 40 % zu 60 - 80 %.

Damit hat die Energie einen größeren Einfluss als die Konstruktion. Bei Gebäuden mit hohem Dämmstandard und massiver Bauweise sowie geringen Komfortanforderungen und hohem Anteil an erneuerbarer Energienutzung liegen Konstruktion und Energie näher beieinander. Die Angleichung der Verhältnisse wird sich bei Gebäuden mit niedrigen Komfortanforderungen und hohem Anteil an erneuerbarer Energienutzung weiter annähern.

Einflussgrößen der Konstruktion

Die Ökobilanz-Treiber der Konstruktion sind:

- a) das Verhältnis: Gebäudemasse / NGF_a und
- b) die Anzahl der Erneuerungen von Bauteilschichten im Betrachtungszeitraum.

Die flächenbezogene Gebäudemasse wird maßgeblich von folgenden Bauteilen bestimmt:

- Fundamente und Bodenplatte,
- Decken,
- Dach,
- Außenwände (Fensterfläche, Dämmdicke) und
- massive Innenwände.

Diese Bauteile haben i.d.R. eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, so dass sie im Betrachtungszeitraum nicht erneuert werden.

Bauteile/Bauteilschichten mit mehreren (1 bis 4) Erneuerungen im Betrachtungszeitraum sind:

- Sondertüren,
- Bodenbeläge,
- Putze und
- Anstriche und Beschichtungen

Diese Bauteile bzw. Bauteilschichten haben aufgrund ihrer geringen Anzahl bzw. Dicke eine geringe flächenbezogene Masse, so dass sie nur in Ausnahmefällen als Bilanztreiber wirken.

Damit verbleiben als Bilanztreiber der Konstruktion die Außenhülle und die Decken.

Für das Gebäudemodell können daraus folgende Variationsparameter abgeleitet werden:

- Gebäudeumfang (Grundriss),
- Geschossanzahl und
- Bauweise (schwer, mittel, leicht).

Grundsätzlich stellt die Geschosshöhe einen weiteren möglichen Variationsparameter bei der Optimierung der globalen Umweltwirkungen von Gebäuden dar. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden zur Vereinfachung die Berechnungen mit einer repräsentativen lichten Raumhöhe von 3,0 m, gemessen von der Oberkante des Fertigfußbodens bis zur Unterkante der abgehängten Decke, durchgeführt.

Einflussgrößen der Energie (in der Nutzungsphase)

Die Ökobilanz-Treiber der Energie sind:

- a) die Komfortanforderungen,
- b) die Gebäudeenergieeffizienz und
- c) die Energieträger

Die Komfortanforderungen sind maßgeblich durch die thermische und lufthygienische Konditionierung bestimmt. Folgende Varianten sind dabei möglich.

- heizen
- heizen und kühlen
- heizen und lüften
- heizen und kühlen und lüften

Die Konditionierungsvariante „heizen und lüften“ ist für Bürogebäude nicht sinnvoll, da im Sommer die warme Außenluft in das Gebäude eingebracht würde. Die Lüftungsanlage könnte im Sommer nur zur Nachtauskühlung betrieben und tagsüber außer Betrieb genommen werden. In diesem Fall wäre die Investition bezogen auf den Nutzwert sehr hoch. Daher wurde diese Konditionierungsvariante nicht für das Modellgebäude ausgewählt.

Die Gebäudeenergieeffizienz ist maßgeblich bestimmt durch:

- den Dämmstandard,
- den Fensterflächenanteil und
- die Effizienz der Energiebereitstellung.

Der Bilanzeinfluss durch die Energieträger ist maßgeblich bestimmt durch:

- den Primärenergiefaktor und
- die Anteilsverhältnisse zwischen erneuerbaren und nicht erneuerbaren Energieträgern.

Für das Gebäudemodell können daraus folgende Variationsparameter abgeleitet werden:

- Art des Heizsystems,
- Vorhandensein einer Kühlung bzw. Art des Kühlsystems,
- Vorhandensein einer Lüftungsanlage,
- Dämmstandard,
- Fensterflächenanteil und
- Energieträger für die Konditionierung.

5.4.2 Analyse der Einflussgrößen der LCC

Die Ermittlung der Lebenszykluskosten gemäß BNB umfasst folgende Kostenarten:

- Herstellungskosten
- Inspektions- und Wartungskosten
- Instandsetzungskosten
- Erneuerungskosten
- Reinigungskosten
- Wasser- und Abwasserkosten
- Energiekosten

Einflussgrößen LCC

Die Herstellungskosten sind maßgeblich vom Ausstattungsstandard (Funktion, Komfort) bestimmt. Das trifft auf die Inspektions- und Wartungskosten sowie die Instandsetzungskosten aufgrund der direkten Abhängigkeit analog zu.

Die Erneuerungskosten sind von der Anzahl der Erneuerungen im Betrachtungszeitraum und dem Zeitpunkt der Erneuerung/en abhängig.

Die Reinigungskosten sind von der Zugänglichkeit und Größe der Glasflächen sowie von Art und Größe der Bodenflächen abhängig.

Die Wasser- und Abwasserkosten sind keine relevante Größe im Barwert der Lebenszykluskosten, so dass sie im Gebäudemodell keinen konkreten Variationsparameter erhalten.

Die Energiekosten sind von den Komfortanforderungen, vom Dämmstandard und von der Effizienz der Energiebereitstellung in Verbindung mit den spezifischen Energieträgerkosten abhängig.

Da die Kosten im Lebenszyklus betrachtet werden, sind neben den absoluten Kosten auch die Preisänderungsraten relevant.

- Preisänderungsrate für Bau- und Dienstleistungen (bisher + 2 %)
- Preisänderungsrate für Wasser- und Abwasserkosten (bisher nicht definiert, DGNB: + 3 %)
- Preisänderungsrate für Energie (bisher + 4 %, neu + 5%)

Die Lebenszykluskosten werden als Barwert pro Fläche ermittelt, so dass der Diskontierungszinssatz eine weitere wesentliche Einflussgröße der LCC ist.

Für das Gebäudemodell können daraus folgende Variationsparameter abgeleitet werden, die sich teilweise mit denen für die LCA decken:

- Ausstattungsstandard (einfach, mittel, gehoben)
- Bauweise (Stahlbeton, Mauerwerk, Holz)
- Dämmstandard
- Fensterflächenanteil
- Komfortanforderungen
- Systeme der Energiebereitstellung
- Diskontierungszinssatz

5.5 Die Modellgebäude

5.5.1 Beschreibung der Modellgebäude

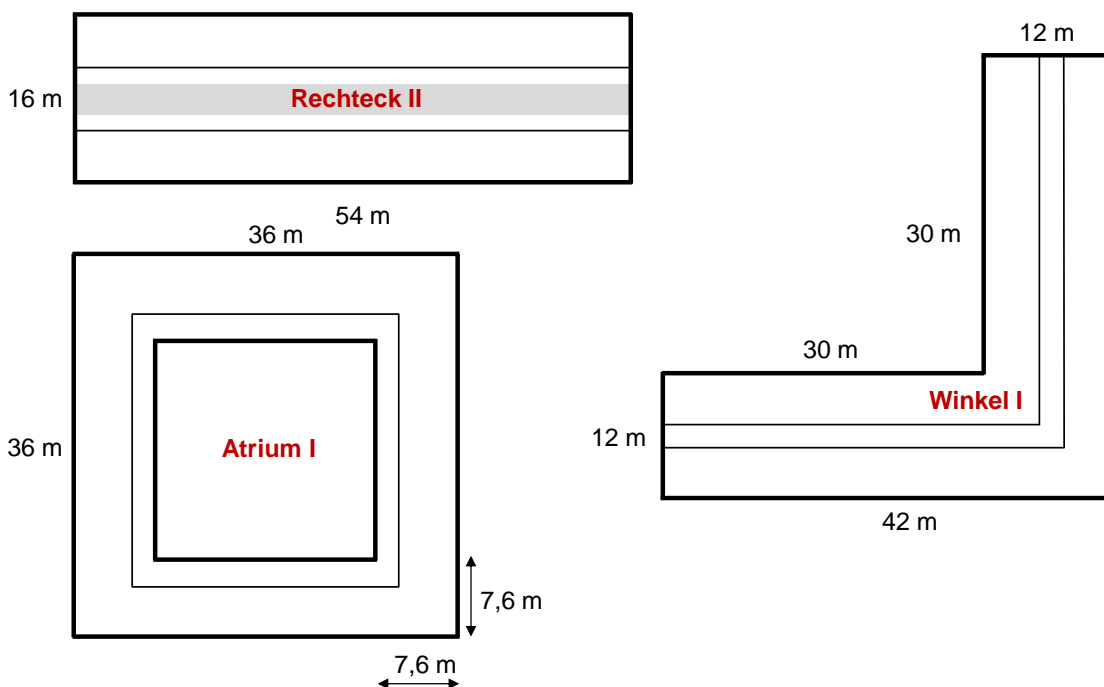
Für die Berechnung von Varianten in der LCA und der LCC wurden folgende Variationsparameter zur Bildung geeigneter Modellgebäude verwendet.

Nutzung: Büro	Variationen			
Grundrisse	Rechteck / Winkel / Atrium			
Raumkonzepte	Kombizone, zweibündig Zellenbüro, zweibündig Zellenbüro, einbündig			
Geschosse	1 + 0 (1 OG, 0 UG) 3 + 0 (3 OG, 0 UG) 6 + 1 (6 OG, 1 UG)			
Außenwände	Stahlbeton / Poroton / Holz			
Fensterflächenanteile	30% (Lochfassade) / 73% (Glasfassade)			
Dämmstandards	niedrig (EnEV 2009) / hoch (EnEV 2009 - 50 %)			
Dämmmaterialien	Steinwolle / Mineralwolle in Poroton / Zellulose			
	U-Werte [W/m ² K]			
Dämmstandard	Boden	Wand	Dach	Fenster
niedrig (Referenzgebäude EnEV 2009/2014)	0,350	0,280	0,200	1,300
hoch (Referenzgebäude EnEV 2009/2014 - 50 %)	0,175	0,140	0,100	0,650

Tabelle 16: Variationselemente der Geometrie und Bauweise für die Variantenbildung der Modellgebäude

Damit die Gebäude vergleichbar sind, wurden Grundrisse mit gleicher Grundfläche (864 m²) definiert.

Grundrisse der Modellgebäude



In Voruntersuchungen wurden weitere Grundrisse (Quadrat, Rechteck I, U-Form, Atrium II (zweibündig), Doppel-E-Form) betrachtet. Diese wurden in der weiteren Untersuchung nicht in die Gruppe der Modellgebäude aufgenommen, da sie nicht die gleiche Grundfläche hatten (Quadrat, Atrium II, Doppel-E-Form) oder mit einem der drei gewählten Modellgebäude sehr ähnlich waren.

Die drei Grundrisse erschienen den Autoren ausreichend repräsentativ. Das wird an den Flächen und Rauminhalten in folgender Tabelle sichtbar.

Gebäudetyp	OG	UG	Länge	Breite	Tiefe	Umfang	Grundfläche	BGF	BRI	A/V
Quadrat_I	1	0	19,00	19,00	0,00	76,00	361	361	1.625	0,65
	3	0	19,00	19,00	0,00	76,00	361	1.083	4.260	0,38
	6	1	19,00	19,00	0,00	76,00	361	2.527	9.296	0,29
Rechteck_I	1	0	72,00	12,00	0,00	168,00	864	864	3.888	0,64
	3	0	72,00	12,00	0,00	168,00	864	2.592	10.195	0,36
	6	1	72,00	12,00	0,00	168,00	864	6.048	22.248	0,27
Rechteck_II	1	0	54,00	16,00	0,00	140,00	864	864	3.888	0,61
	3	0	54,00	16,00	0,00	140,00	864	2.592	10.195	0,33
	6	1	54,00	16,00	0,00	140,00	864	6.048	22.248	0,24
Winkel_I	1	0	42,00	42,00	12,00	168,00	864	864	3.888	0,64
	3	0	42,00	42,00	12,00	168,00	864	2.592	10.195	0,36
	6	1	42,00	42,00	12,00	168,00	864	6.048	22.248	0,27
U-Form_I	1	0	48,00	24,00	12,00	144,00	864	864	3.888	0,61
	3	0	48,00	24,00	12,00	144,00	864	2.592	10.195	0,34
	6	1	48,00	24,00	12,00	144,00	864	6.048	22.248	0,24
Atrium_I	1	0	36,00	36,00	7,60	227,20	863	863	3.885	0,71
	3	0	36,00	36,00	7,60	227,20	863	2.590	10.188	0,43
	6	1	36,00	36,00	7,60	227,20	863	6.044	22.232	0,34
Atrium_II	1	0	48,00	36,00	12,00	240,00	1.440	1.440	6.480	0,61
	3	0	48,00	36,00	12,00	240,00	1.440	4.320	16.992	0,34
	6	1	48,00	36,00	12,00	240,00	1.440	10.080	37.080	0,24
Doppel-E_I	1	0	84,00	60,00	12,00	480,00	2.736	2.736	12.312	0,62
	3	0	84,00	60,00	12,00	480,00	2.736	8.208	32.285	0,34
	6	1	84,00	60,00	12,00	480,00	2.736	19.152	70.452	0,25

Tabelle 17: Geometriedaten aller Grundrissvarianten (blauer Text: Modellgebäudevarianten)

Für die drei Modellgebäude-Grundrisse ergaben sich folgende Flächen nach DIN 277 pro Geschoss.

	Rechteck II	Winkel I	Atrium I
	Kombizone	Zellenbüro (zweibündig)	Zellenbüro (einbündig)
BGF [m ²]	864,00	864,00	863,36
KGF [m ²]	101,34	118,94	138,17
NGF=NGF _a [m ²]	762,66	745,06	725,19
VF [m ²]	137,28	134,11	130,53
TF [m ²]	38,13	37,25	36,26
NGFa/BGF [m ²]	0,88	0,86	0,84
NF/NGFa	0,66	0,77	0,78
NF/BGF	0,58	0,67	0,65

Tabelle 18: Flächen der Modellgebäude-Grundrisse nach DIN 277

Die Gebäudetechnik wurde in den Voruntersuchungen in sechs Varianten untersucht. Davon wurden drei Varianten für die Modellgebäudeberechnungen ausgewählt, die jeweils eine der üblichen Konditionierungsvarianten (1 – heizen, 4 – heizen und kühlen, 6 – heizen, kühlen und lüften) repräsentieren.

	Heizung	Wärmeerzeugung	Kühlung	Kälteerzeugung	Lüftung	Beleuchtung
Var. 1	Heizkörper	Pellet	keine	keine	Fenster	direkt/indirekt
Var. 2	Flächenheizung	Pellet	keine	keine	Fenster	direkt/indirekt
Var. 3	Flächenheizung	Erdwärmepumpe	keine	keine	Fenster	direkt/indirekt
Var. 4	Flächenheizung	Pellet	Flächenkühlung	Kompressionskältemaschine	Fenster	direkt/indirekt
Var. 5	Flächenheizung	Pellet	Flächenkühlung	Kompressionskältemaschine	Lüftung mit Wärmerückgewinnung	direkt/indirekt
Var. 6	Flächenheizung	Erdwärmepumpe	Flächenkühlung	80% Erdkälte und 20% Kompressionskältemaschine	Lüftung mit Wärmerückgewinnung	direkt/indirekt

Tabelle 19: Variationselemente der Gebäudetechnik für die Variantenbildung der Modellgebäude
(blauer Text: Modellgebäudevarianten)

Zur Ermittlung der LCA und LCC wurden relevante Parameter-Kombinationen für die Modellgebäude definiert, für die Mengengerüste aufgestellt und Energiebedarfsberechnungen nach DIN V 18599 durchgeführt wurden

Zur Abbildung des Dämmstandards wurden folgende Dämmmaterialien und -dicken entsprechend der Bauweisen gewählt. Zur Erstellung der Ökobilanz wurden Daten zur Umweltwirkung der Baumaterialien aus der Ökobau.dat verwendet. Diese enthält nicht für alle üblichen Wärmeleitgruppen eines Dämmmaterials Datensätze. Daher wurden die U-Werte mit höheren Wärmeleitgruppen und größeren Dämmdicken abgebildet. In der Praxis werden die Dämmdicken geringer ausfallen, da Dämmmaterialien mit geringerer Wärmeleitfähigkeit (λ) verwendet werden.

Bauteil	Dämmstandard niedrig		Dämmstandard hoch	
	Dämmmaterial	Dämmdicke	Dämmmaterial	Dämmdicke
Boden	XPS	60	XPS	120
Wand A (Stahlbeton)	Steinwolle	115	Steinwolle	240
Wand B (Mauerwerk)	Porotonziegel	(365)	Mineralwolle gefüllte Porotonziegel	(490)
Wand C (Holzskelett)	Holz + Zellulose	180	Holz + Zellulose	320
Dach A und B	PU-Schaum	150	PU-Schaum	300
Dach C	Holz + Zellulose	260	Holz + Zellulose	560
Fenster	Holz	WSV 2-fach	Aluminium	WSV 3-fach

Tabelle 20: Dämmstandards der Modellgebäude

5.5.2 Randbedingungen für die LCA-Ermittlung der Modellgebäude

Für die Variantenberechnungen wurden die Daten der Ökobau.dat Version 2013 verwendet, da die Daten der geplanten Version 2015 noch nicht zur Verfügung standen.

Zwischen den beiden Versionen besteht hinsichtlich der zu bilanzierenden Module ein wesentlicher Unterschied. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Definition der Module, die für Bauprodukte und Energieträger bzw. Energieerzeugungsanlagen deklariert werden können und gemäß DIN EN 15978 „Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode“ zur Erstellung von Ökobilanzen verwendet werden.

Lebenswegphasen	A 1-3	A 4-5	B 1-7					C 1-4				D			
	Herstellungsphase	Errichtungsphase	Nutzungsphase					Ende des Lebenszyklus				Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenze			
	Rohstoffbeschaffung		Errichtung / Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Instandsetzung	Austausch	Modernisierung	Energieverbrauch im Betrieb	Wasserverbrauch im Betrieb	Rückbau / Abriss	Transport	Abfallverwertung	Entsorgung	Potential für Wiederverwertung, Rückgewinnung und Recycling
Module gemäß DIN EN 15978	A1 A2 A3	A4 A5	B1 B2 B3 B4 B5	B6 B7	C1 C2 C3 C4	D									

Tabelle 21: Definition der deklarierbaren Module für die Ökobilanzerstellung nach DIN EN 15978

Die folgende Tabelle zeigt den Unterschied zwischen den verwendeten Modulen der Ökobau.dat-Versionen 2013 und 2015.

Lebenszyklusphase	Ökobau.dat Version 2013	Ökobau.dat Version 2015
Herstellung	Module A1 - A3 (teilweise - A5)	Module A1 - A3
Erneuerung	(„Herstellung“ + „End of Life“) x Anzahl der Erneuerungen	(„Herstellung“ + „End of Life“) x Anzahl der Erneuerungen
Nutzung (Energiebedarf)	Modul B6	Modul B6
End of Life	Module C3, C4 und D	Module C3, C4

Tabelle 22: Definition der zu bilanzierenden Module in der LCA zur Bewertung der BNB-Kriterien 1.1.1-1.1.5, 1.2.1, 1.2.2

Der wesentliche Unterschied im Bilanzierungsumfang sind die in der Version 2013 noch bei einigen Produkten mitbilanzierten Module A4 (Transport), A5 (Errichtung/Einbau) und D (Recyclingpotenzial).

Für Produkte mit bisher deklariertem A4 und/oder A5 ergeben sich zukünftig geringere Umweltwirkungen. Für Produkte mit Recyclingpotenzial ergeben sich zukünftig höhere Umweltwirkungen.

Die Normen konforme Festlegung der zu deklarierenden Module in der Ökobau.dat-Version 2015 ist sinnvoll. Damit aber ein fairer Produktvergleich stattfindet, sollte das Modul D, welches außerhalb des Lebenszyklus entsteht, keinesfalls ohne Ersatzbewertung innerhalb des BNB wegfallen.

Das Modul D könnte im Kriterium 4.1.4 „Rückbau, Trennung und Verwertung“ bewertet werden. Dazu müsste eine Überarbeitung dieses Kriteriums erfolgen.

Der Einfluss des sich verändernden Bilanzumfangs auf das LCA-Ergebnis kann nicht pauschal abgeschätzt werden. Da sich alle Datensätze aufgrund des veränderten Primärenergiefaktors für Strom verändern werden, muss der Wegfall der zu bilanzierenden Module A4, A5 und D nicht separat betrachtet werden.

Für die Benchmark-Bildung wurde die Ökobau.dat Version 2013 verwendet. Die Überprüfung und ggf. Anpassung der ermittelten Benchmarks sollte unbedingt nach Bereitstellung der Version 2015 erfolgen.

Die Bilanzierung des Gebäudes (Baukonstruktion und Technische Anlagen) kann bisher nur im „Vereinfachten Verfahren“ erfolgen, da nicht für alle Bauprodukte der KG 400 Datensätze in der Ökobau.dat vorliegen (s. Kap. 5.2.1).

Zur Abschätzung des Einflusses der Gebäudetechnik mit Datensätzen in der Ökobau.dat, wurde die Gebäudetechnik bilanziert und daraus der Faktor für das Vereinfachte Verfahren (Zuschlag auf die Bilanzergebnisse aller Bauteile der KG 300) ermittelt. Im Durchschnitt beträgt dieser 20 %.

Daraus ergibt sich der Faktor 1,2 (bisher 1,1) für den im „Vereinfachten Verfahren“ nicht bilanzierten TGA-Anteil.

Die Variantenberechnungen für die Aktualisierung der Bewertungsmaßstäbe wurden ohne TGA durchgeführt und mit dem Faktor 1,2 multipliziert.

Da der Energiebedarf eines Gebäudes den größten Einfluss auf die LCA hat, wurde untersucht, ob die Benchmark-Ermittlung mit den EnEV-Anforderungen gekoppelt und damit bzgl. des Energiebedarfes dynamisiert werden könnte. Dazu wurden aus jeder Energiebedarfsberechnung die Endenergiebedarfe der jeweiligen Energieträger sowohl für das Modellgebäude wie auch für das EnEV-Referenzgebäude (relevante Eigenschaften des EnEV-Referenzgebäudes siehe Anhang) entnommen und ein auf das EnEV-Referenzgebäude normierter Benchmark nach folgender Formel berechnet.

$$UW_{\text{Effizienz}} = (UW_{K, \text{Modell}} + UW_{E, \text{Modell}}) / (UW_{K, \text{Modell}} + UW_{E, \text{EnEV}})$$

UW: Umweltwirkung

K: Konstruktion

E: Energie

Modell: Modellgebäude

EnEV: EnEV-Referenzgebäude

Für den Vergleich „Modellgebäude – EnEV-Referenzgebäude“ wurde der Primärenergiebedarf für das EnEV-Referenzgebäude gemäß der ab 01.01.2016 geltenden EnEV-Anforderungen (EnEV-Referenzgebäude 2009/2014 abzüglich 25 %) ermittelt. Da die vorliegende Software diese Einstellung noch nicht ermöglichte, wurde der Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes durch Verwendung des Technikkonzeptes des Modellgebäudes und iterative Veränderung der U-Werte der Gebäudehülle ermittelt.

Das Ergebnis ist kein absoluter Wert für die Umweltwirkung des Gebäudes, sondern ein relativer Wert, der die Effizienz des Ressourceneinsatzes im Vergleich zum EnEV-Referenzgebäude abbildet.

Dabei wurde der Anteil der Konstruktion für beide Gebäude (Modell und EnEV-Referenzgebäude) vom Modellgebäude übernommen. Es wäre dafür auch ein fester (durchschnittlicher Konstruktionswert) denkbar, um die Optimierungspotenziale der Konstruktion zu erhöhen.

Die Ergebnisse liegen für alle Indikatoren der Ökobilanz (BNB-Kriterien 1.1.1-1.1.5, 1.2.1, 1.2.2.1) zwischen 0 und 1. Das würde die Interpretation der Zahlen erleichtern.

Allerdings besteht ein gravierender Unterschied zwischen einem Bewertungsmaßstab, mit dem die absolute Umweltwirkung bewertet wird, gegenüber einem Bewertungsmaßstab bei dem die Ressourceneffizienz bewertet wird. Bei letzterem würde das Ziel der absoluten Verringerung von Umweltwirkungen nicht direkt unterstützt werden. Es würden Gebäude mit einer umfangreicheren Raumkonditionierung (z. B.: „heizen, kühlen, lüften“) bei gleicher BNB-Bewertung mehr Umweltwirkungen verursachen dürfen. Diese Bewertungsgröße wäre dann sinnvoll, wenn in einem Projekt ein Konditionierungsumfang fest vorgegeben ist und das Technikkonzept mit der geringsten Umweltwirkung gefunden werden soll.

Da die Intension der Ökobilanzierung in der Minimierung von Umweltwirkungen besteht, sollte die „Effizienz der Umweltwirkung“ als Bewertungsgröße im Rahmen der Nachhaltigkeitsberatung als zusätzliche Entscheidungsgröße verwendet werden.

Die für die Modellgebäude bilanzierten Bauteile und Energien sind im Kapitel 6.3 dargestellt.

5.5.3 Randbedingungen für die LCC-Ermittlung der Modellgebäude

Für die LCC-Berechnung des Modellgebäudes wurden folgende Ausgangsdaten verwendet.

Jährliche Wartung KG 300:	0,10 % der Herstellungskosten
Jährliche Instandsetzung KG 300:	0,35 % der Herstellungskosten
Jährliche Wartung KG 400:	gemäß AMEV TGA 2013
Jährliche Instandsetzung KG 400:	gemäß AMEV TGA 2013
Unterhaltsreinigung:	17,00 €/h
Glasreinigung:	22,50 €/h
Wasserpreis:	2,01 €/m ³
Abwasserpreis:	2,14 €/m ³
Pelletpreis:	0,057 €/kWh
Strompreis:	0,20 €/kWh
Preissteigerung Bau und Reinigung:	2 %
Preissteigerung Energie:	5 %
Diskontierungszinssatz:	1,5 %

Die Kostenansätze für die Variantenberechnungen wurden auf der Basis von Kostenkennwerten des BKI Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern festgelegt und mit dem Mengengerüst der Modellgebäude auf die realen Verhältnisse des jeweiligen Modellgebäudes angepasst.

Die Erneuerungskosten wurden mit den Nutzungsdauern der bisherigen Nutzungsdauertabelle ermittelt.

Die Energiekosten wurden mithilfe der Endenergiebedarfe, die für jede Modellgebäude-Variante nach DIN V 18599 ermittelt wurden, berechnet.

5.6 Ergebnisse der Variantenberechnungen für die Modellgebäude

5.6.1 Ergebnisse der LCA-Variantenberechnungen

Die Ökobilanz für die Konstruktion wurde nach dem „Vereinfachten Verfahren“ aufgestellt. Die folgende Tabelle zeigt die Bauteilschichten für die Bauteilgruppe „Außenwände“.

Die Bauteilschichten wurden für die Berücksichtigung unterschiedlicher Bauweisen in Schichten mit „a“ bis „c“ deklariert.

Bt.-Nr.	Bauteil-Bezeichnung	Schicht-Nr.	Bauteilschicht-Bezeichnung	Öko-H Basisname
1 Außenwände und Fenster				
AW1	Außenwand unterirdisch	1	Stahlbeton	1.3.21 Stahlbeton C25/30 mit 5 % Volumenanteil Bewehrungsstahl
		2	Abdichtung	1.4.11 Bitumendickbeschichtung, kunststoffmodifiziert - Deutsche Bauchemie
		3	WDVS-Kleber + Putz	2.21.01 WDVS-Verklebung und -Beschichtung mit Silikonharzputz; 12,18 kg/m ²
		4	Perimeterdämmung	2.3.1 XPS-Dämmstoff; 32 kg/m ³
		5	Schutzfolie	6.6.03 PE-Noppenfolie zur Abdichtung
AW2.1	Außenwand oberirdisch, Stahlbeton	1	Anstrich	5.5.02 Innenfarbe Dispersionsfarbe scheuerfest
		2	Innenputz	1.4.04 Gipsputz (Gips); 1000 kg/m ³
		3	Stahlbeton	1.3.21 Stahlbeton C25/30 mit 5 % Volumenanteil Bewehrungsstahl
		4a	WDVS mit EPS	2.2.03 EPS grau weiße Dämmplatte 035 - alligator; 15,5 kg/m ³
		4b	WDVS mit Steinwolle	2.5.01 WDVS-Dämmung, Steinwolle, 94 kg/m ³ - Rockwool
		5	WDVS-Kleber + Putz	2.21.01 WDVS-Verklebung und -Beschichtung mit Silikonharzputz; 12,18 kg/m ²
		6	Anstrich	5.4.03 Fassadenfarbe Silikonharzfarbe
AW2.2	Außenwand oberirdisch, Kalksandstein	1	Anstrich	5.5.02 Innenfarbe Dispersionsfarbe scheuerfest
		2	Innenputz	1.4.04 Kalk-Gips-Innenputz; 1400 kg/m ³
		3	Kalksandstein	1.3.01 Kalksandstein - Bundesverband Kalksandstein; 1900 kg/m ³
		4a	WDVS mit EPS	2.2.03 EPS grau weiße Dämmplatte 035 - alligator; 15,5 kg/m ³
		4b	WDVS mit Steinwolle	2.5.01 WDVS-Dämmung, Steinwolle, 94 kg/m ³ - Rockwool
		5	WDVS-Kleber + Putz	2.21.01 WDVS-Verklebung und -Beschichtung mit Silikonharzputz; 12,18 kg/m ²
		6	Anstrich	5.4.03 Fassadenfarbe Silikonharzfarbe

Tabelle 23: Bilanzierte Bauteile in der LCA der Modellgebäude (am Beispiel der Außenwand)

Fortsetzung Tabelle 23

Bt.-Nr.	Bauteil-Bezeichnung	Schicht-Nr.	Bauteilschicht-Bezeichnung	Öko-H Basisname
AW2.3	Außenwand oberirdisch, Poroton	1	Anstrich	5.5.02 Innenfarbe Dispersionsfarbe scheuerfest
		2	Innenputz	1.4.04 Kalk-Gips-Innenputz; 1400 kg/m ³
		3a	Poroton	1.3.02 Mauerziegel Durchschnitt - Poroton; 740 kg/m ³
		3b	Poroton mit Miwo	1.3.02 Mineralwollgefüllte Ziegel - Deutsche POROTON; 705 kg/m ³
		4a	Dämmputz	1.4.04 Dämmputz EPS - IWM
		4b	Kalkputz	1.4.04 Normalputz - IWM; 1350 kg/m ³
		5	Anstrich	5.4.03 Fassadenfarbe Silikonharzfarbe
AW2.4	Außenwand oberirdisch, Holz	1	Anstrich	5.5.02 Innenfarbe Dispersionsfarbe scheuerfest
		2	Gipskartonplatten	1.3.13 Gipskartonplatte; 10 kg/m ²
		3.1	Holzlattung	3.4.03 nicht Keilverzinktes Konstruktionsvollholz; 492,71 kg/m ³ bei 12% Holzfeuchte (EPD)
		3.2	Holzfaserdämmplatte	2.10.01 Holzfaserdämmplatte FG (Trockenverfahren) - Kronoply; 45 kg/m ³
		4	Trennlage	6.6.02 Dampfbremse PE
		5	OSB-Platte	3.2.04 OSB (Durchschnitt); 619 kg/m ³
		6	Holzständer	3.4.04 Keilverzinktes Konstruktionsvollholz; 492,71 kg/m ³ bei 12% Holzfeuchte (EPD)
		7	Zellulose	2.11.01 Zellulosefaser Einblas-Dämmstoff; 45 kg/m ³
		8	OSB-Platte	3.2.04 OSB (Durchschnitt); 619 kg/m ³
		9	Vlies	6.6.04 PE/PP Vlies
		10	Holzlattung	3.4.03 nicht Keilverzinktes Konstruktionsvollholz; 492,71 kg/m ³ bei 12% Holzfeuchte (EPD)
		11	Holzschalung	3.1.01 Schnittholz Lärche (12% Feuchte/10,7% H ₂ O); 661 kg/m ³ bei 12% Holzfeuchte
FE1.1	Fenster, Dämmstandard niedrig	1	Holzfenster	7.7.01 Holzfenster, Bayerwald
FE1.2	Fenster, Dämmstandard mittel	1	Holz-Alu-Fenster	7.8.02 Holz-Aluminium-Fenster, lasiert; VARIOTEC
FE1.3	Fenster, Dämmstandard hoch	1	Alu-Fenster	7.5.21 Aluminiumfenster, 3-fach Verglasung, Gutmann, 35 kg/m ²

Die folgenden Ergebnistabellen stellen auszugsweise die Ergebnisse der LCA-Berechnungen für die Modellgebäude dar. Die vollständigen Ergebnisse sind in der Excel-Tabelle:

„LCA-LCC-Ergebnisse_Modellgebäude“ (Anlage 2) enthalten.

Die Tabellen enthalten jeweils die Indikatorwerte für die „Konstruktion“ (Herstellung + Erneuerung + End of Life), die „Energie“ (in der Nutzungsphase) und den „Lebenszyklus“ (Summe aus Konstruktion und Energie).

Für diese drei Werte wurde das Minimum, der Median und das Maximum gebildet. Der Benchmark-Vorschlag wurde wie folgt abgeleitet.

100 Punkte: Minimum (1.1.1-1.1.5, 1.2.1, 1.2.2.1) bzw. Maximum (1.2.2.2)

50 Punkte: Median (1.1.1-1.1.5, 1.2.1, 1.2.2.1, 1.2.2.2)

10 Punkte: Maximum (1.1.1-1.1.5, 1.2.1, 1.2.2.1) bzw. Minimum (1.2.2.2)

Zum Vergleich der Auswirkungen auf die BNB-Bewertung wurden die BNB-Punkte für die Version 2011 (bisheriger Benchmark) und die Version 2015 (Vorschlag des neuen Benchmarks) ermittelt und nebeneinander dargestellt.

Alle Werte wurden entsprechend ihrer Größenordnung gerundet. Bei der BNB-Bewertung ist zu beachten, dass die Ergebnisse auf die jeweilige Stellenanzahl gerundet werden und aus dem gerundeten Indikator-Wert die BNB-Punkte ermittelt werden.

Die Parameter der Modellgebäude wurden wie folgt abgekürzt.

Rechteck_II: zweihüftiges Bürogebäude mit rechteckigem Grundriss, Ein-Personenbüros, Kombizone

Winkel_I: zweihüftiges Bürogebäude mit winkligem Grundriss, Ein-Personenbüros

Atrium_I: einhüftiges Bürogebäude mit Atrium, Ein-Personenbüros

_1_0: 1 Obergeschoss, 0 Untergeschosse

_3_0: 3 Obergeschosse, 0 Untergeschosse

_6_1: 6 Obergeschosse, 1 Untergeschoss

_niedrig: niedriger Wärmedämmstandard (U-Werte entsprechen der EnEV 2014)

_hoch: hoher Wärmedämmstandard (U-Werte entsprechen der EnEV 2014 minus 50 %)

_30: 30 % Fensterflächenanteil

_73: 73 % Fensterflächenanteil

_1: Konditionierung „heizen“ (entspricht dem einfachen BKI-Standard)

_4: Konditionierung „heizen und kühlen“ (entspricht dem mittleren BKI-Standard)

_6: Konditionierung „heizen, kühlen und lüften“ (entspricht dem gehobenen BKI-Standard)

Gebäudevariante	1.1.1 Treibhauspotenzial (CO ₂ -Äquivalent) [kg / (m ² _{NGFa} a)]						
	Konstruktion	Energie	Lebenszyklus	BNB-Punkte V2011	BNB-Punkte V2015	1.1.1 Effizienz	1.1.1 Effizienz-Punkte
Rechteck_II_1_0_niedrig_30_1_Stahlbeton	18,24	23,66	41,90	94	42	0,39	65
Rechteck_II_1_0_niedrig_30_4_Stahlbeton	18,24	26,27	44,50	87	39	0,40	61
Rechteck_II_1_0_niedrig_30_6_Stahlbeton	18,24	42,87	61,11	43	17	0,58	30
Rechteck_II_1_0_hoch_73_1_Stahlbeton	20,01	18,64	38,65	100	46	0,35	74
Rechteck_II_1_0_hoch_73_4_Stahlbeton	20,01	22,69	42,70	92	41	0,37	69
Rechteck_II_1_0_hoch_73_6_Stahlbeton	20,01	34,52	54,53	57	25	0,50	42
Rechteck_II_6_1_niedrig_30_1_Stahlbeton	10,25	15,80	26,04	100	87	0,47	47
Rechteck_II_6_1_niedrig_30_4_Stahlbeton	10,25	18,57	28,82	100	77	0,49	43
Rechteck_II_6_1_niedrig_30_6_Stahlbeton	10,25	25,54	35,79	100	50	0,71	10
Rechteck_II_6_1_hoch_73_1_Stahlbeton	9,89	12,74	22,63	100	100	0,41	61
Rechteck_II_6_1_hoch_73_4_Stahlbeton	9,89	16,93	26,82	100	84	0,43	54
Rechteck_II_6_1_hoch_73_6_Stahlbeton	9,89	22,36	32,25	100	64	0,60	27
...							
Minimum:	8,20	12,31	22,63			0,26	
Median:	12,62	23,16	35,89			0,45	
Maximum:	23,11	46,12	66,23			0,71	

Bewertungsmaßstäbe 1.1.1			Bewertungsmaßstab 1.1.1 – Effizienz	
Punkte	Werte V2011	Werte V2015	Punkte	Werte V2015
100	39,9	22,6	100	0,26
50	57,0	35,9	50	0,45
10	79,8	66,2	10	0,71

Tabelle 24: Struktur der LCA-Ergebnisse am Beispiel eines Gebäudetyps und Indikators

Der „Bewertungsmaßstab 1.1.1 – Effizienz“ wurde in Kapitel 5.5.2 erläutert. Er wird beispielhaft für das BNB-Kriterium 1.1.1 dargestellt, um die Auswirkungen in der BNB-Punktbewertung zwischen der Zielstellung „Minimierung von Umweltwirkungen“ und „Effizienz des Ressourceneinsatzes“ vergleichen zu können. Vergleicht man die Punkte des „blauen“ und „roten“ Benchmarks, so wird sichtbar, dass es zwei verschiedene Bewertungsansätze sind. Wie in Kap. 5.5.2 empfohlen, sollte der „Effizienz-Ansatz“ für die individuelle Projektberatung und der „absolute Wirkungsansatz“ für die BNB-Bewertung angewendet werden.

Für die Bewertungsmaßstäbe ergeben sich die „Werte V2015“.

Winkel_I:	zweihüftiges Bürogebäude mit winkligem Grundriss, Ein-Personenbüros
_3_0:	3 Obergeschosse, 0 Untergeschosse
_6_1:	6 Obergeschosse, 1 Untergeschoss
_niedrig:	niedriger Wärmedämmstandard (U-Werte entsprechen der EnEV 2014)
_30:	30 % Fensterflächenanteil
_1:	Konditionierung „heizen“ (entspricht dem einfachen BKI-Standard)
_4:	Konditionierung „heizen und kühlen“ (entspricht dem mittleren BKI-Standard)
_6:	Konditionierung „heizen, kühlen und lüften“ (entspricht dem gehobenen BKI-Standard)

BNB-Kriterium 1.1.1 Treibhauspotenzial (CO₂-Äquivalent) [kg / (m²_{NGFa} a)]

Punkte	Werte V2011	Werte V2015
100	39,9	22,6
50	57,0	35,9
10	79,8	66,2

Tabelle 25: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.1.1

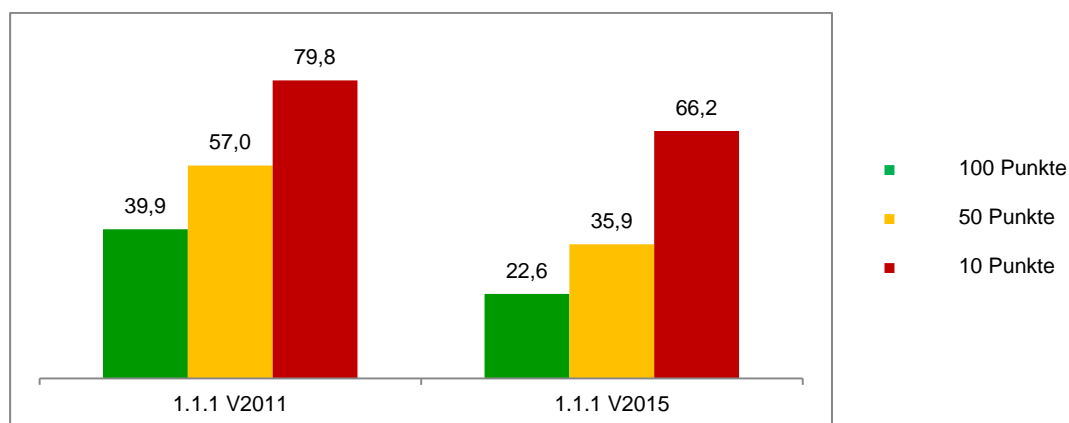


Abbildung 4: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.1.1

BNB-Kriterium 1.1.2 Ozonschichtabbaupotenzial (R11-Äquivalent) [kg / (m²_{NGFa} a)]

Punkte	Werte V2011	Werte V2015
100	0,000003500	0,000000042
50	0,000005000	0,000000119
10	0,000025000	0,000000196

Tabelle 26: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.1.2

Der Faktor zwischen den Grenzwerten der Benchmarks V2011 und V2015 beträgt ca. 40 bis 125. Der Grund für die große Abweichung liegt in einem Fehler des Benchmarks V2011. Dieser Fehler besteht seit der Version 2009 bei BNB und DGNB. 2012 änderte die DGNB den Benchmark um fast zwei Dezimalstellen, so dass er dem Benchmark-Vorschlag V2015 in der Größenordnung nahe kommt.

BNB-Kriterium 1.1.3 Ozonbildungspotenzial (C₂H₄-Äquivalent) [kg / (m²_{NGFa} a)]

Punkte	Werte V2011	Werte V2015
100	0,0105	0,0057
50	0,0150	0,0100
10	0,0210	0,0200

Tabelle 27: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.1.3

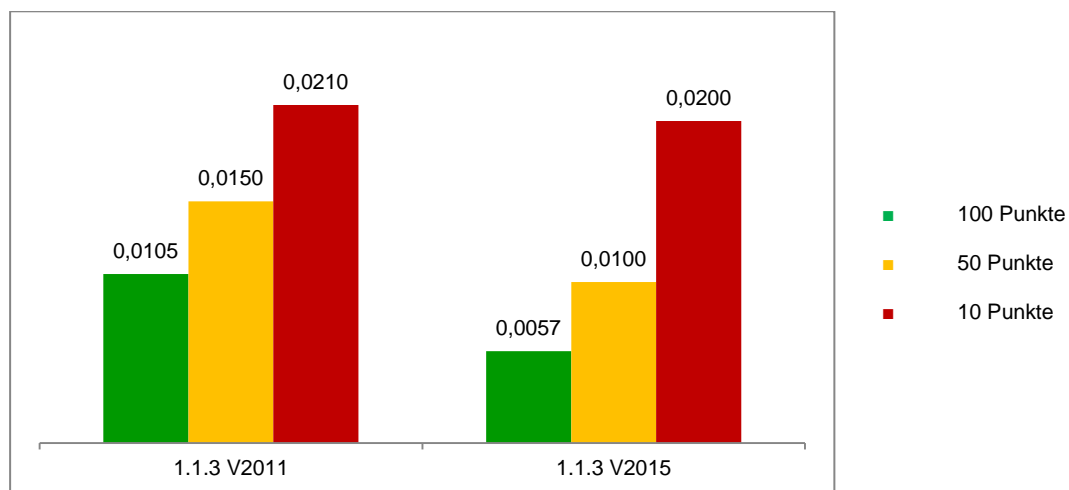


Abbildung 5: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.1.3

BNB-Kriterium 1.1.4 Versauerungspotenzial (SO₂-Äquivalent) [kg / (m²_{NGFa} a)]

Punkte	Werte V2011	Werte V2015
100	0,2170	0,0574
50	0,3100	0,0860
10	0,4340	0,1601

Tabelle 28: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.1.4

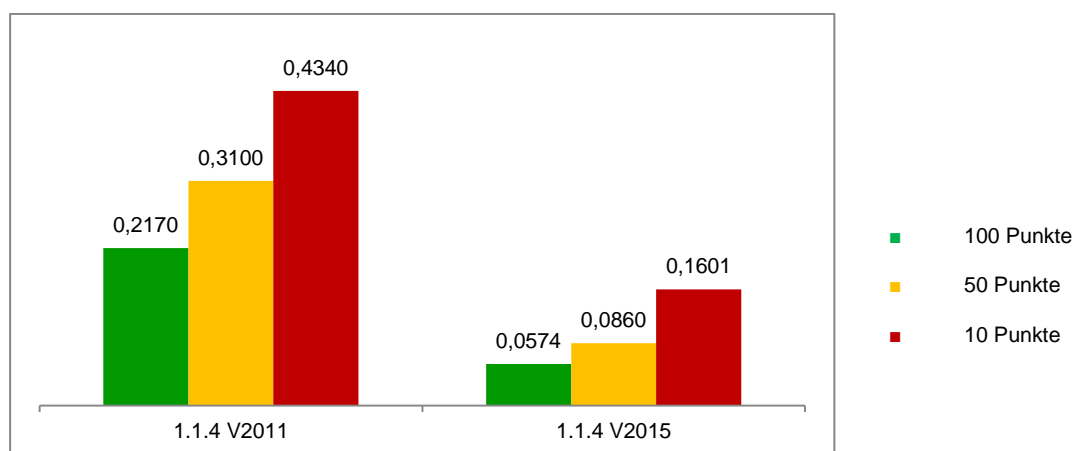


Abbildung 6: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.1.4

BNB-Kriterium 1.1.5 Überdüngungspotenzial (PO₄-Äquivalent) [kg / (m²NGFa a)]

Punkte	Werte V2011	Werte V2015
100	0,0147	0,0077
50	0,0210	0,0142
10	0,0294	0,0277

Tabelle 29: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.1.5

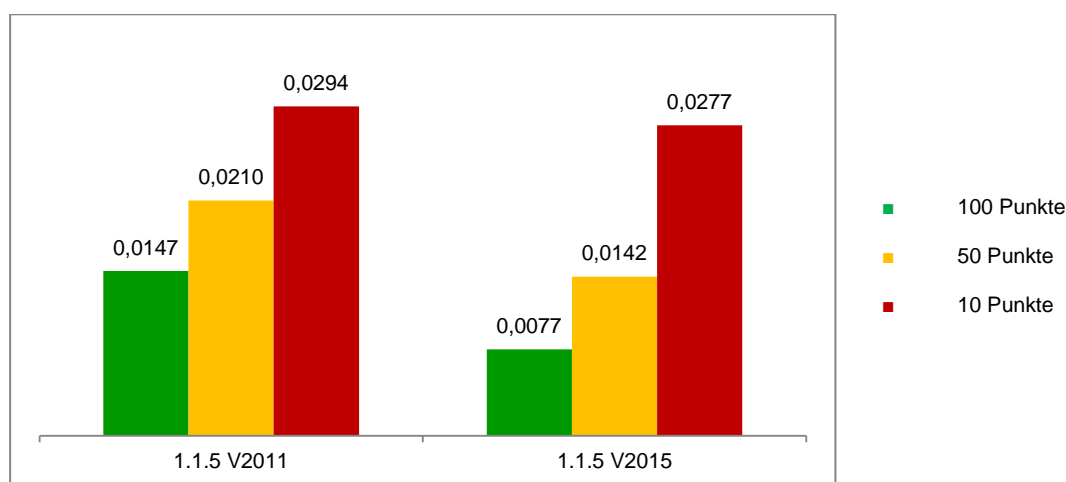


Abbildung 7: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.1.5

BNB-Kriterium 1.2.1 Primärenergiebedarf nicht erneuerbar [kWh / (m²NGFa a)]

Punkte	Werte V2011	Werte V2015
100	203	104
50	290	160
10	406	277

Tabelle 30: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.2.1

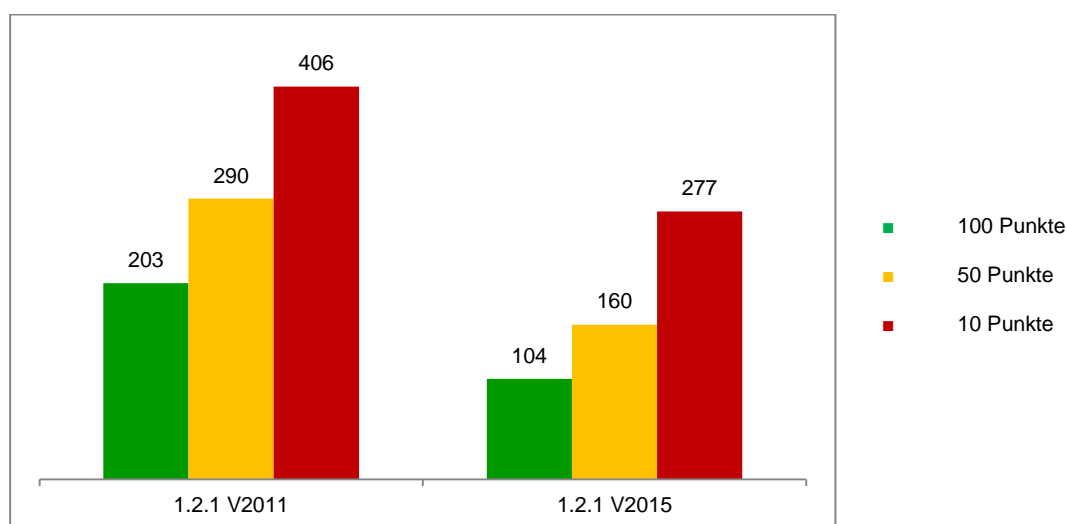


Abbildung 8: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.2.1

BNB-Kriterium 1.2.2.1 Gesamtprimärenergiebedarf [kWh / (m²_{NGFa} a)]

Punkte	Werte V2011	Werte V2015
100	125	114
50	219	197
0	407	343

Tabelle 31: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Teilkriterium 1.2.2.1

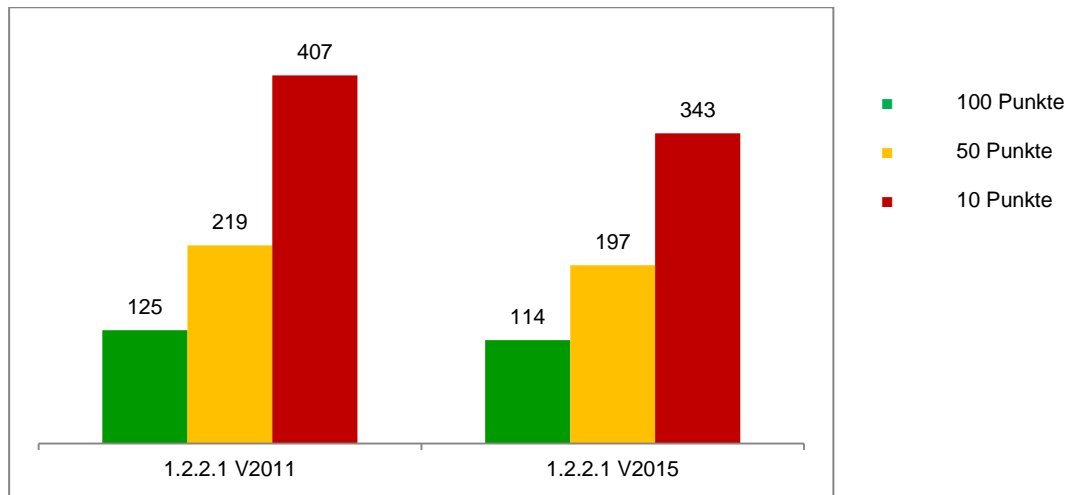


Abbildung 9: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Teilkriterium 1.2.2.1

BNB-Kriterium 1.2.2.2 Anteil erneuerbarer Primärenergie [%]

Punkte	Werte V2011	Werte V2015
50	20,0%	37,2%
25	8,0%	29,2%
5	5,0%	14,8%

Tabelle 32: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Teilkriterium 1.2.2.2

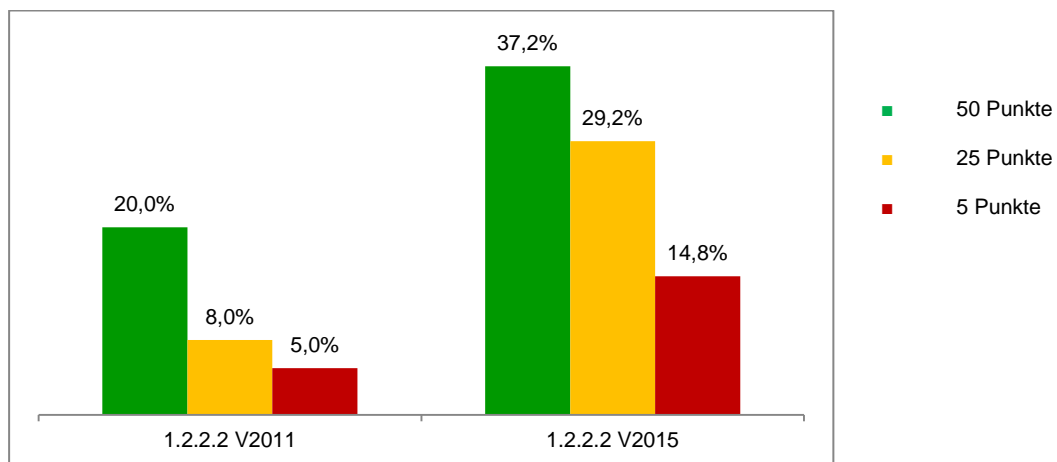


Abbildung 10: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Teilkriterium 1.2.2.2

Der Unterschied zwischen den Werten des Kriteriums 1.2.2.2 der Versionen 2011 und 2015 hat drei Ursachen.

1. Die Modellgebäude in Holzbauweise haben im Konstruktionsanteil einen Anteil erneuerbarer Primärenergie von ca. 30 %.
2. Die Modellgebäude mit Pelletheizung (TGA-Varianten 1 und 4) haben im Energieanteil einen Anteil erneuerbarer Primärenergie von ca. 40 %.
3. Die LCA-Benchmarks der Version 2011 wurden aus realisierten Büroneubauten abgeleitet. Da diese Gebäude einige Jahre vor 2011 genehmigt und bis 2011 gebaut wurden, mussten sie die Anforderungen des am 22.12.2011 novellierten Erneuerbare-Energien-WärmeGesetz – EEWärmeG nicht erfüllen. Die Novellierung bestand in der Ausweitung der Anforderungen zum Einsatz erneuerbarer Energien auf die Kühlung von Gebäuden.

Die TGA-Konzepte der Modellgebäude-Varianten enthalten zu einem Drittel Gebäudetypen, die nur beheizt werden. Die anderen zwei Drittel werden auch gekühlt. Daraus resultiert der Sprung in diesem Teilkriterium.

Die Bewertung des BNB-Kriteriums 1.2.2 ergibt sich aus der Summe der beiden Teilkriterien.

Das Ergebnis liegt im Bereich von 24 bis 104 Punkten (Minimum bis Maximum). Mit dem Bewertungsmaßstab der Version 2011 ergibt sich ein Punktbereich von 66 bis 140. Die Punkte über 100 werden nicht berücksichtigt.

Nach der „Kappung“ der Punkte über 100 ergibt sich ein Punktbereich von 23 bis 97 und ein Median von 55 Punkten.

Die Bandbreite des Benchmarks wird als sinnvoll und plausibel angesehen.

Nachfolgend ist das Treibhauspotenzial aller Modellgebäude-Varianten dargestellt. Es wird deutlich, welche Modellgebäude-Parameter den größten Einfluss haben.

1. Anzahl der Geschosse
2. Konditionierung (Behaglichkeitsniveau)
3. Dämmstandard in Verbindung mit dem Fensterflächenanteil

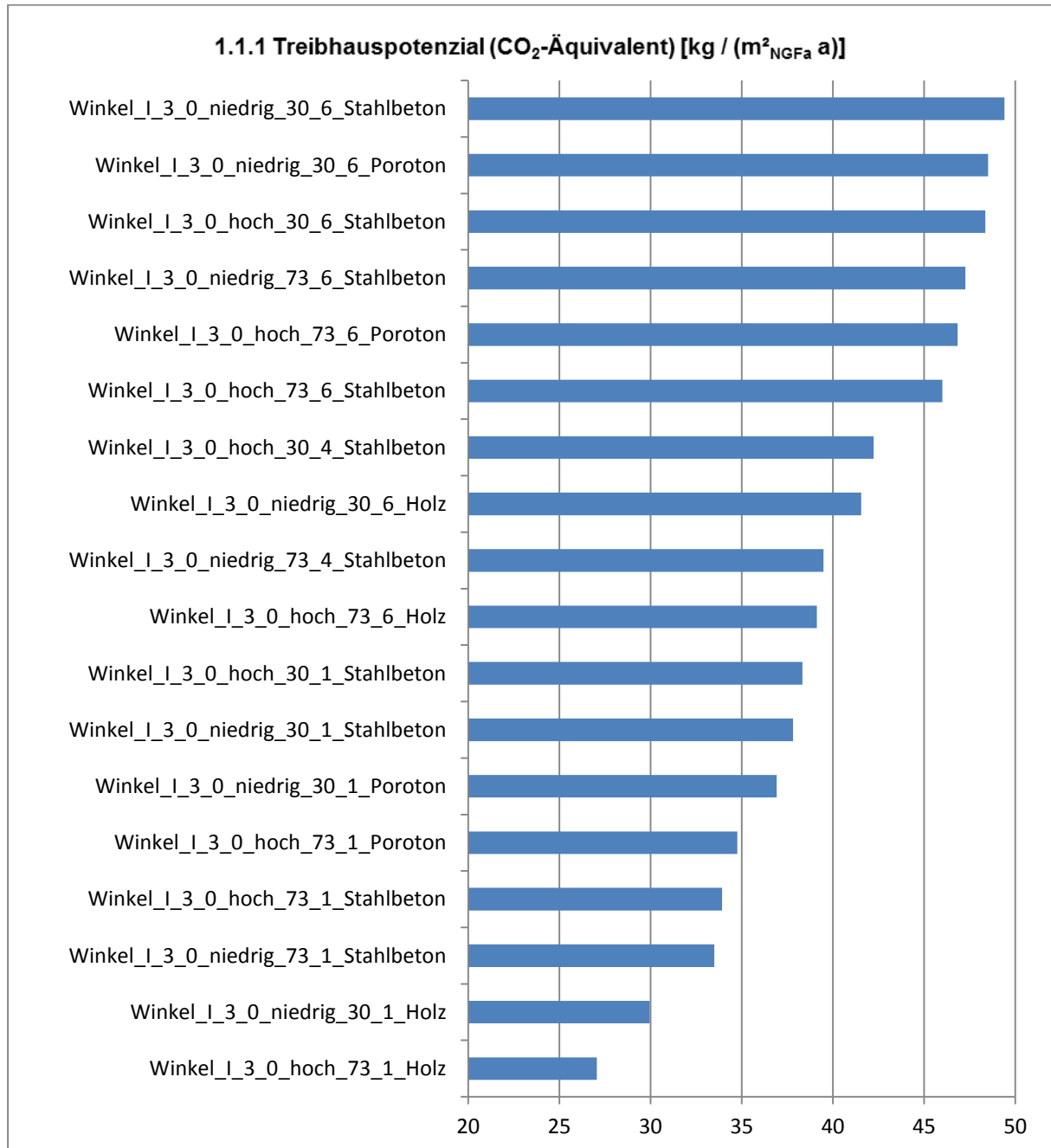


Abbildung 11: Treibhauspotenzial der Modellgebäude-Varianten

5.6.2 Ergebnisse der LCC-Variantenberechnungen

Als Grundlage für die Ermittlung der Herstellungskosten der Modellgebäude wurden BKI-Kostenkennwerte auf der 3. Ebene (DIN 276) verwendet. Zur Festlegung des Kostenbereiches für die Auswahl Gebäudestandards wurden die Kostenspannen verwendet und diese von Bruttowerten 2012 auf Nettowerte 2014 umgerechnet. Die Festlegung der Modellgebäude-Standards orientierte sich jeweils an den oberen Werten der Kostenspanne der drei BKI-Standards.

Die konkreten Werte sind von den Variationsparametern der Modellgebäude abhängig und schöpfen die jeweiligen Kostenspannen voll aus. Damit ist sichergestellt, dass die Bandbreite der in den Benchmark eingehenden Objekte für öffentliche Bauvorhabe, vom Finanzamt bis zum Ministerium, repräsentativ ist.

	Februar 2012	+ 6,1%	Mai 2015	
	brutto	19%	netto	
Gebäudetyp	KG 300-400	Einheit	KG 300-400	
Bürogebäude einfacher Standard, unten	790 €	m ² _{BGF}	704 €	
Bürogebäude einfacher Standard, Mitte	920 €	m ² _{BGF}	820 €	Modellgebäude einfacher Standard
Bürogebäude einfacher Standard, oben	1.080 €	m ² _{BGF}	963 €	
Bürogebäude mittlerer Standard, unten	1.170 €	m ² _{BGF}	1.043 €	
Bürogebäude mittlerer Standard, Mitte	1.360 €	m ² _{BGF}	1.213 €	Modellgebäude mittlerer Standard
Bürogebäude mittlerer Standard, oben	1.660 €	m ² _{BGF}	1.480 €	
Bürogebäude gehobener Standard, unten	1.730 €	m ² _{BGF}	1.543 €	
Bürogebäude gehobener Standard, Mitte	2.060 €	m ² _{BGF}	1.837 €	Modellgebäude gehobener Standard
Bürogebäude gehobener Standard, oben	2.630 €	m ² _{BGF}	2.345 €	

Tabelle 33: Kostenspannen der Gebäudestandards von Bürogebäuden (BKI und Modellgebäude)

Kostengruppen der 2. Ebene	KG	Einheit	Einheit/BGF	mittlerer Standard		
				brutto 02-2012 €/m ² _{BGF}	netto 05-2015 (+ 6,1 %) €/m ² _{BGF}	Anteil
Baugrube	310	m ³ BGI	0,56	23,00	11,47	0,87%
Gründung	320	m ² GRF	0,14	300,00	38,21	2,91%
Außenwände	330	m ² AWF	0,70	460,00	285,97	21,75%
Innenwände	340	m ² IWF	1,10	252,00	256,91	19,54%
Decken	350	m ² DEF	0,86	315,00	240,75	18,31%
Dächer	360	m ² DAF	0,14	315,00	40,12	3,05%
Baukonstruktive Einbauten	370	m ² BGF	1,00	26,00	23,18	1,76%
Sonstige Baukonstruktionen	390	m ² BGF	1,00	50,00	44,58	3,39%
Abwasser, Wasser, Gas	410	m ² BGF	1,00	53,00	47,26	3,59%
Wärmeversorgungsanlagen	420	m ² BGF	1,00	72,00	64,20	4,88%
Lufttechnische Anlagen	430	m ² BGF	1,00	42,00	37,45	2,85%
Starkstromanlagen	440	m ² BGF	1,00	113,00	100,76	7,66%
Fernmeldeanlagen	450	m ² BGF	1,00	40,00	35,67	2,71%
Förderanlagen	460	m ² BGF	1,00	29,00	25,86	1,97%
Nutzungsspezifische Anlagen	470	m ² BGF	1,00	21,00	18,72	1,42%
Gebäudeautomation	480	m ² BGF	1,00	39,00	34,77	2,64%
Sonstige Technische Anlagen	490	m ² BGF	1,00	10,00	8,92	0,68%
				1.314,81	100,00%	

Tabelle 34: Kosten 2. Ebene (DIN 276) für das Modellgebäude „Winkel_I_6_1_hoch_73_4_Stahlbeton_mittlerer Standard“

Für die LCC-Berechnung des Modellgebäudes wurden ausgewählte BKI-Kostenkennwerte auf der 3. Ebene (DIN 276) verwendet. Die in Tabelle 34 dargestellten BKI-Kostenkennwerte der 2. Ebene (DIN 276) wurden durch aktuelle TGA-Kosten der 3. Ebene ergänzt, um dem gestiegenen Technikeinsatz und –kosten Rechnung zu tragen. Der Gesamtpreis ergibt sich aus Menge x Einheitspreis x BPI / MwSt.

KG	Kostenart	Menge	Einheit	einfach	mittel	gehoben	Gesamtpreis
300	Bauwerk - Baukonstruktionen			Einheitspreis			6.075.020 €
310	Baugrube	4.212	m3	16 €	23 €	32 €	0 €
311	Baugrubenherstellung	4.212	m3	15 €	22 €	31 €	82.624 €
312	Baugrubenumschließung	690	m2	179 €	255 €	357 €	156.887 €
320	Gründung	864	m2	230 €	300 €	339 €	0 €
322	Flachgründungen	864	m2	65 €	93 €	130 €	71.646 €
324	Unterböden und Bodenplatten	864	m2	124 €	177 €	248 €	136.359 €
326	Bauwerksabdichtungen	504	m2	25 €	35 €	49 €	15.729 €
330	Außenwände	4.217	m2	389 €	460 €	663 €	0 €
331	Tragende Außenwände	1.506	m2	140 €	200 €	280 €	268.648 €
334	Außentüren und -fenster	2.710	m2	392 €	560 €	784 €	1.353.346 €
335	Außenwandbekleidungen	1.506	m2	125 €	178 €	249 €	239.096 €
338	Sonnenschutz	2.710	m2	140 €	200 €	280 €	483.338 €
340	Innenwände	6.915	m2	193 €	252 €	337 €	0 €
341	Tragende Innenwände	692	m2	112 €	160 €	224 €	98.655 €
342	Nichttragende Innenwände (Trockenbau)	6.224	m2	63 €	90 €	126 €	499.441 €
342	Nichttragende Innenwände (Glas)	0	m2	210 €	300 €	420 €	0 €
343	Innenstützen	25	m3	1.120 €	1.600 €	2.240 €	35.952 €
344	Innentüren (Metall-Glas)	126	m2	525 €	750 €	1.050 €	84.582 €
344	Innentüren (Holzwerkstoff)	822	m2	350 €	500 €	700 €	366.336 €
345	Innenwandbekleid. (Fliesen)	201	m2	42 €	60 €	84 €	10.772 €
350	Decken	5.184	m2	213 €	315 €	373 €	0 €
351	Deckenkonstruktionen	5.184	m2	119 €	170 €	238 €	785.797 €
352	Natursteinbeläge	1.090	m2	91 €	130 €	182 €	126.405 €
352	Textile Bodenbeläge	3.826	m2	32 €	45 €	63 €	153.501 €
352	Linoleum	0	m2	39 €	55 €	77 €	0 €
352	Keramische Bodenfliesen	201	m2	53 €	75 €	105 €	13.465 €
353	Deckenbekleidungen	5.184	m2	49 €	70 €	98 €	323.564 €
359	Decken, sonstiges (Treppen)	28	Stück	4.620 €	6.600 €	9.240 €	164.778 €
360	Dächer	864	m2	228 €	315 €	459 €	0 €
361	Dachkonstruktionen	864	m2	119 €	170 €	238 €	130.966 €
362	Dachfenster, Dachöffnungen	2	Stück	3.500 €	5.000 €	7.000 €	8.917 €
363	Dachbeläge	864	m2	91 €	130 €	182 €	100.151 €
370	Baukonstruktive Einbauten	6.048	m2	7 €	26 €	42 €	0 €
390	Sonstige Maßn. f. Baukonstr.	6.048	m2	33 €	50 €	68 €	0 €
391	Baustelleneinrichtung	6.048	m2	21 €	30 €	42 €	161.782 €
392	Gerüste	4.049	m2	32 €	45 €	63 €	162.456 €
396	Materialentsorgung	22.334	m3	1 €	2 €	3 €	39.829 €

Tabelle 35: Kostenermittlung mit ausgewählten BKI-Kostenkennwerten für die Modellgebäude-Variante

„Winkel_I_6_1_hoch_73_4_Stahlbeton_mittlerer Standard“

Fortsetzung Tabelle 35

KG	Kostenart	Menge	Einheit	einfach	mittel	gehoben	Gesamtpreis
400	Bauwerk - Technische Anlagen			Einheitspreis			2.708.220 €
410	Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen	6.048	m2	30 €	53 €	59 €	0 €
411	Abwasseranlagen	6.048	m2	18 €	25 €	35 €	134.818 €
412	Wasseranlagen	6.048	m2	22 €	32 €	45 €	172.567 €
420	Wärmeversorgungsanlagen	6.048	m2	44 €	72 €	85 €	0 €
421	Wärmeerzeugungsanlagen	6.048	m2	24 €	51 €	80 €	308.448 €
422	Wärmeverteilnetze	6.048	m2	16 €	16 €	16 €	96.768 €
423	Raumheizflächen	6.048	m2	12 €	18 €	18 €	108.864 €
430	Lufttechnische Anlagen	6.048	m2	4 €	42 €	101 €	0 €
431	Lüftungsanlagen	6.048	m2	0 €	0 €	71 €	0 €
434	Kälteanlagen	6.048	m2	0 €	73 €	109 €	441.504 €
440	Starkstromanlagen	6.048	m2	62 €	113 €	168 €	0 €
444	Niederspannungsinstallationsanl.	6.048	m2	62 €	88 €	123 €	474.560 €
445	Beleuchtungsanlagen	6.048	m2	39 €	56 €	78 €	301.993 €
446	Blitzschutz- und Erdungsanlagen	6.048	m2	8 €	11 €	15 €	59.320 €
450	Fernmelde- und informationst. Anlagen	6.048	m2	18 €	40 €	57 €	0 €
451	Telekommunikationsanlagen	6.048	m2	15 €	21 €	29 €	113.247 €
456	Gefahrenmelde- und Alarmanlagen	6.048	m2	9 €	13 €	18 €	70.105 €
459	Fernmelde- u. inform. Anl., sonstiges	6.048	m2	18 €	25 €	35 €	134.818 €
460	Förderanlagen	6.048	m2	22 €	29 €	34 €	0 €
461	Aufzugsanlagen	6.048	m2	18 €	26 €	36 €	140.211 €
470	Nutzungsspezifische Anlagen	6.048	m2	7 €	21 €	34 €	0 €
480	Gebäudeautomation	6.048	m2	0 €	39 €	59 €	0 €
481	Automationssysteme	6.048	m2	20 €	28 €	39 €	150.996 €
490	Sonstige Technische Anlagen	6.048	m2	0 €	10 €	20 €	0 €
							8.783.240 €
							1.452 €/m²_{BGF}

Tabelle 35: Kostenermittlung mit ausgewählten BKI-Kostenkennwerten für die Modellgebäude-Variante „Winkel_I_6_1_hoch_73_4_Stahlbeton_mittlerer Standard“

Die Parameter der Modellgebäude, deren Lebenszykluskosten nachfolgend dargestellt sind, wurden wie folgt abgekürzt.

Rechteck_II:	zweihüftiges Bürogebäude mit rechteckigem Grundriss, Ein-Personenbüros, Kombizone
Winkel_I:	zweihüftiges Bürogebäude mit winkligem Grundriss, Ein-Personenbüros
Atrium_I:	einhüftiges Bürogebäude mit Atrium, Ein-Personenbüros
_1_0:	1 Obergeschoss, 0 Untergeschosse
_3_0:	3 Obergeschosse, 0 Untergeschosse
_6_1:	6 Obergeschosse, 1 Untergeschoss
_niedrig:	niedriger Wärmedämmstandard (U-Werte entsprechen der EnEV 2014)
_hoch:	hoher Wärmedämmstandard (U-Werte entsprechen der EnEV 2014 minus 50 %)
_30:	30 % Fensterflächenanteil
_73:	73 % Fensterflächenanteil
_1:	Konditionierung „heizen“ (entspricht dem einfachen BKI-Standard)
_4:	Konditionierung „heizen und kühlen“ (entspricht dem mittleren BKI-Standard)
_6:	Konditionierung „heizen, kühlen und lüften“ (entspricht dem gehobenen BKI-Standard)

Gebäudevariante	Ausstattungsstandard	Herstellung	Wartung	Instandsetzung	Reinigung	Wasser + Abwasser	Energie	Erneuerung	Barwert	Investition	Nutzung
Rechteck_II_1_0_niedrig_30_1	einfach	1.096 €	164 €	300 €	393 €	113 €	2.008 €	610 €	4.683 €	23,4%	76,6%
Rechteck_II_1_0_niedrig_30_4	mittel	1.649 €	275 €	477 €	393 €	113 €	2.156 €	964 €	6.027 €	27,4%	72,6%
Rechteck_II_1_0_niedrig_30_6	gehoben	2.382 €	426 €	713 €	393 €	113 €	1.812 €	1.430 €	7.269 €	32,8%	67,2%
Rechteck_II_1_0_hoch_73_1	einfach	1.163 €	167 €	311 €	493 €	113 €	1.499 €	612 €	4.358 €	26,7%	73,3%
Rechteck_II_1_0_hoch_73_4	mittel	1.745 €	280 €	493 €	493 €	113 €	1.692 €	967 €	5.784 €	30,2%	69,8%
Rechteck_II_1_0_hoch_73_6	gehoben	2.516 €	433 €	737 €	493 €	113 €	1.427 €	1.435 €	7.153 €	35,2%	64,8%
Rechteck_II_6_1_niedrig_30_1	einfach	824 €	154 €	264 €	380 €	76 €	1.105 €	510 €	3.313 €	24,9%	75,1%
Rechteck_II_6_1_niedrig_30_4	mittel	1.261 €	261 €	426 €	380 €	76 €	1.238 €	822 €	4.464 €	28,2%	71,8%
Rechteck_II_6_1_niedrig_30_6	gehoben	1.838 €	406 €	642 €	380 €	76 €	1.080 €	1.231 €	5.653 €	32,5%	67,5%
Rechteck_II_6_1_hoch_73_1	einfach	875 €	156 €	274 €	461 €	76 €	883 €	512 €	3.238 €	27,0%	73,0%
Rechteck_II_6_1_hoch_73_4	mittel	1.334 €	265 €	440 €	461 €	76 €	1.068 €	825 €	4.469 €	29,9%	70,1%
Rechteck_II_6_1_hoch_73_6	gehoben	1.941 €	411 €	662 €	461 €	76 €	924 €	1.235 €	5.710 €	34,0%	66,0%
Winkel_I_1_0_niedrig_30_1	einfach	1.177 €	168 €	314 €	411 €	123 €	1.992 €	637 €	4.821 €	24,4%	75,6%
Winkel_I_1_0_niedrig_30_4	mittel	1.765 €	281 €	497 €	411 €	123 €	2.155 €	1.003 €	6.234 €	28,3%	71,7%
Winkel_I_1_0_niedrig_30_6	gehoben	2.544 €	434 €	741 €	411 €	123 €	1.795 €	1.484 €	7.532 €	33,8%	66,2%
Winkel_I_1_0_hoch_73_1	einfach	1.257 €	172 €	328 €	531 €	123 €	1.460 €	640 €	4.510 €	27,9%	72,1%
Winkel_I_1_0_hoch_73_4	mittel	1.880 €	287 €	517 €	531 €	123 €	1.692 €	1.007 €	6.036 €	31,1%	68,9%
Winkel_I_1_0_hoch_73_6	gehoben	2.705 €	442 €	770 €	531 €	123 €	1.399 €	1.490 €	7.460 €	36,3%	63,7%
Winkel_I_3_0_niedrig_30_1	einfach	957 €	161 €	289 €	407 €	94 €	1.411 €	566 €	3.886 €	24,6%	75,4%
Winkel_I_3_0_niedrig_30_4	mittel	1.451 €	271 €	461 €	407 €	94 €	1.573 €	902 €	5.161 €	28,1%	71,9%
Winkel_I_3_0_niedrig_30_6	gehoben	2.105 €	420 €	692 €	407 €	94 €	1.347 €	1.344 €	6.408 €	32,8%	67,2%
Winkel_I_3_0_hoch_73_1	einfach	1.031 €	165 €	303 €	523 €	94 €	1.034 €	569 €	3.720 €	27,7%	72,3%
Winkel_I_3_0_hoch_73_4	mittel	1.557 €	277 €	481 €	523 €	94 €	1.328 €	906 €	5.167 €	30,1%	69,9%
Winkel_I_3_0_hoch_73_6	gehoben	2.253 €	428 €	719 €	523 €	94 €	1.097 €	1.349 €	6.463 €	34,9%	65,1%

Tabelle 36: Lebenszykluskosten und -anteile der Modellgebäude-Varianten

Fortsetzung Tabelle 36

Gebäudevariante	Ausstattungsstandard	Herstellung	Wartung	Instandsetzung	Reinigung	Wasser + Abwasser	Energie	Erneuerung	Barwert	Investition	Nutzung	
Winkel_I_6_1_niedrig_30_1	einfach	896 €	157 €	277 €	395 €	86 €	1.122 €	536 €	3.469 €	25,8%	74,2%	
Winkel_I_6_1_niedrig_30_4	mittel	1.364 €	266 €	444 €	395 €	86 €	1.253 €	859 €	4.666 €	29,2%	70,8%	
Winkel_I_6_1_niedrig_30_6	gehoben	1.982 €	413 €	667 €	395 €	86 €	1.088 €	1.283 €	5.914 €	33,5%	66,5%	
Winkel_I_6_1_hoch_73_1	einfach	958 €	160 €	288 €	492 €	86 €	878 €	539 €	3.401 €	28,2%	71,8%	
Winkel_I_6_1_hoch_73_4	mittel	1.452 €	271 €	460 €	492 €	86 €	1.087 €	862 €	4.710 €	30,8%	69,2%	
Winkel_I_6_1_hoch_73_6	gehoben	2.106 €	420 €	690 €	492 €	86 €	927 €	1.288 €	6.008 €	35,1%	64,9%	
Atrium_I_1_0_niedrig_30_1	einfach	1.271 €	173 €	330 €	434 €	112 €	2.015 €	671 €	5.006 €	25,4%	74,6%	
Atrium_I_1_0_niedrig_30_4	mittel	1.899 €	288 €	521 €	434 €	112 €	2.193 €	1.051 €	6.499 €	29,2%	70,8%	
Atrium_I_1_0_niedrig_30_6	gehoben	2.732 €	444 €	775 €	434 €	112 €	1.803 €	1.552 €	7.852 €	34,8%	65,2%	
Atrium_I_1_0_hoch_73_1	einfach	1.379 €	178 €	350 €	597 €	112 €	1.487 €	675 €	4.778 €	28,9%	71,1%	
Atrium_I_1_0_hoch_73_4	mittel	2.053 €	296 €	548 €	597 €	112 €	1.778 €	1.057 €	6.441 €	31,9%	68,1%	
Atrium_I_1_0_hoch_73_6	gehoben	2.947 €	455 €	813 €	597 €	112 €	1.437 €	1.561 €	7.922 €	37,2%	62,8%	
Atrium_I_6_1_niedrig_30_1	einfach	973 €	161 €	290 €	413 €	76 €	1.144 €	568 €	3.625 €	26,8%	73,2%	
Atrium_I_6_1_niedrig_30_4	mittel	1.474 €	272 €	463 €	413 €	76 €	1.301 €	904 €	4.903 €	30,1%	69,9%	
Atrium_I_6_1_niedrig_30_6	gehoben	2.136 €	421 €	695 €	413 €	76 €	1.089 €	1.346 €	6.175 €	34,6%	65,4%	
Atrium_I_6_1_hoch_73_1	einfach	1.057 €	166 €	306 €	544 €	76 €	906 €	571 €	3.625 €	29,1%	70,9%	
Atrium_I_6_1_hoch_73_4	mittel	1.593 €	278 €	486 €	544 €	76 €	1.176 €	909 €	5.062 €	31,5%	68,5%	
Atrium_I_6_1_hoch_73_6	gehoben	2.303 €	430 €	726 €	544 €	76 €	950 €	1.353 €	6.382 €	36,1%	63,9%	
									Maximum:	7.922 €	37,2%	76,6%
									Minimum:	3.238 €	23,4%	62,8%
									Mittelwert:	5.380 €	30,2%	69,8%
									Median:	5.164 €	30,0%	70,0%

Aus den Ergebnissen der LCC-Berechnungen für die Modellgebäude-Varianten (Tabelle 36) ergeben sich folgende Bewertungsmaßstäbe für die Grundgesamtheit (rot) und die Referenzgruppe (blau).

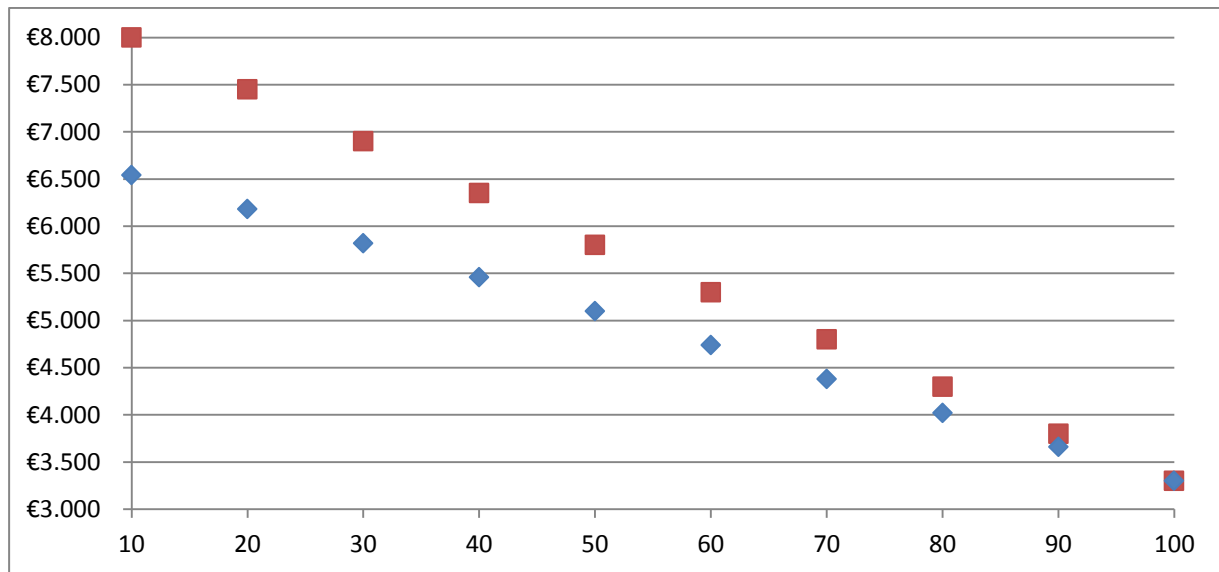


Abbildung 12: Bewertungsmaßstab V2015 für die Grundgesamtheit (rot) und die Referenzgruppe (blau)

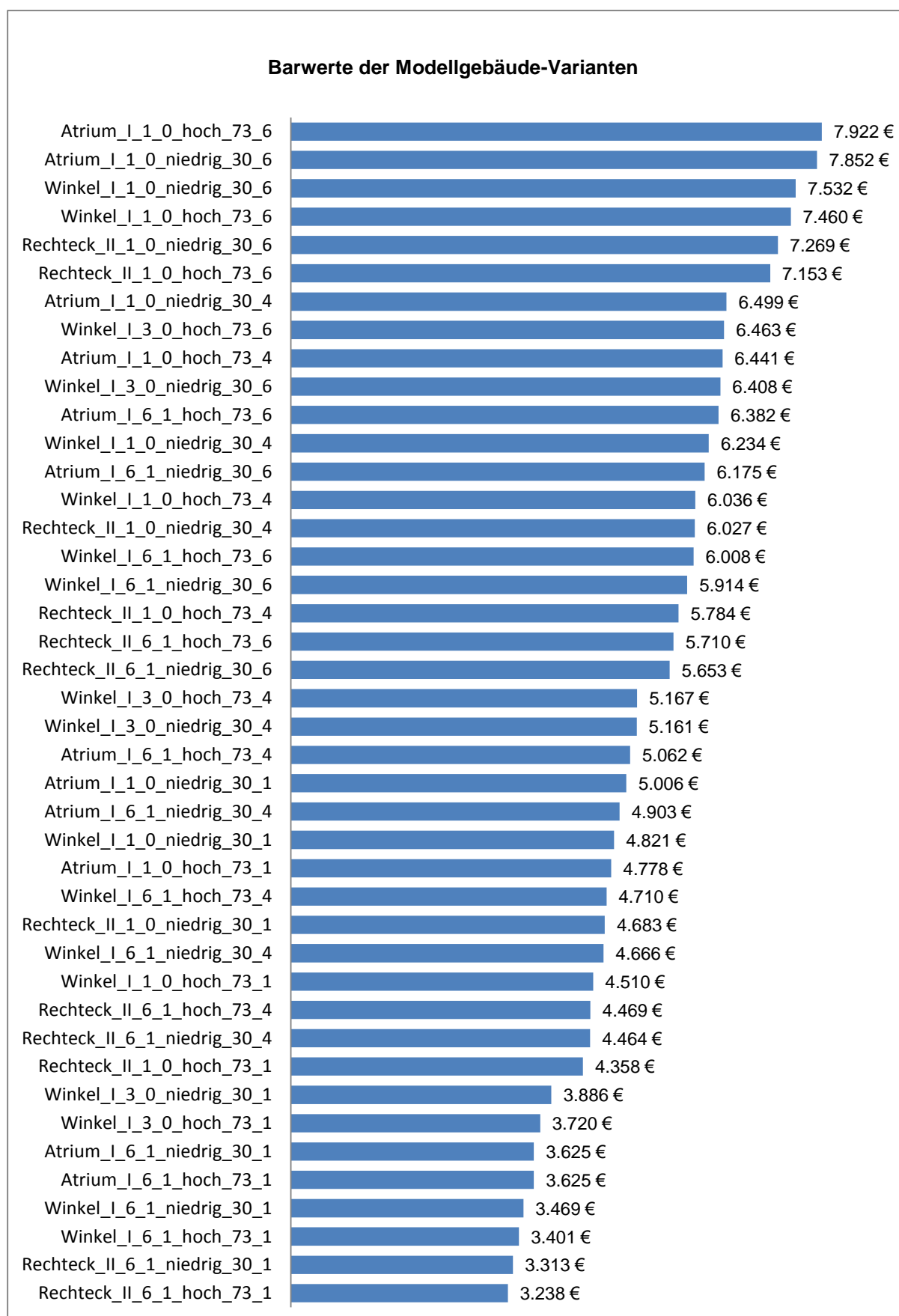
BNB-Kriterium 2.1.1 – Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus [$\text{€}/\text{m}^2_{\text{BGF}}$]

Abbildung 13: Lebenszykluskosten der Modellgebäude-Varianten

BNB-Kriterium 2.1.1 – Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus [€/m²_{BGF}]

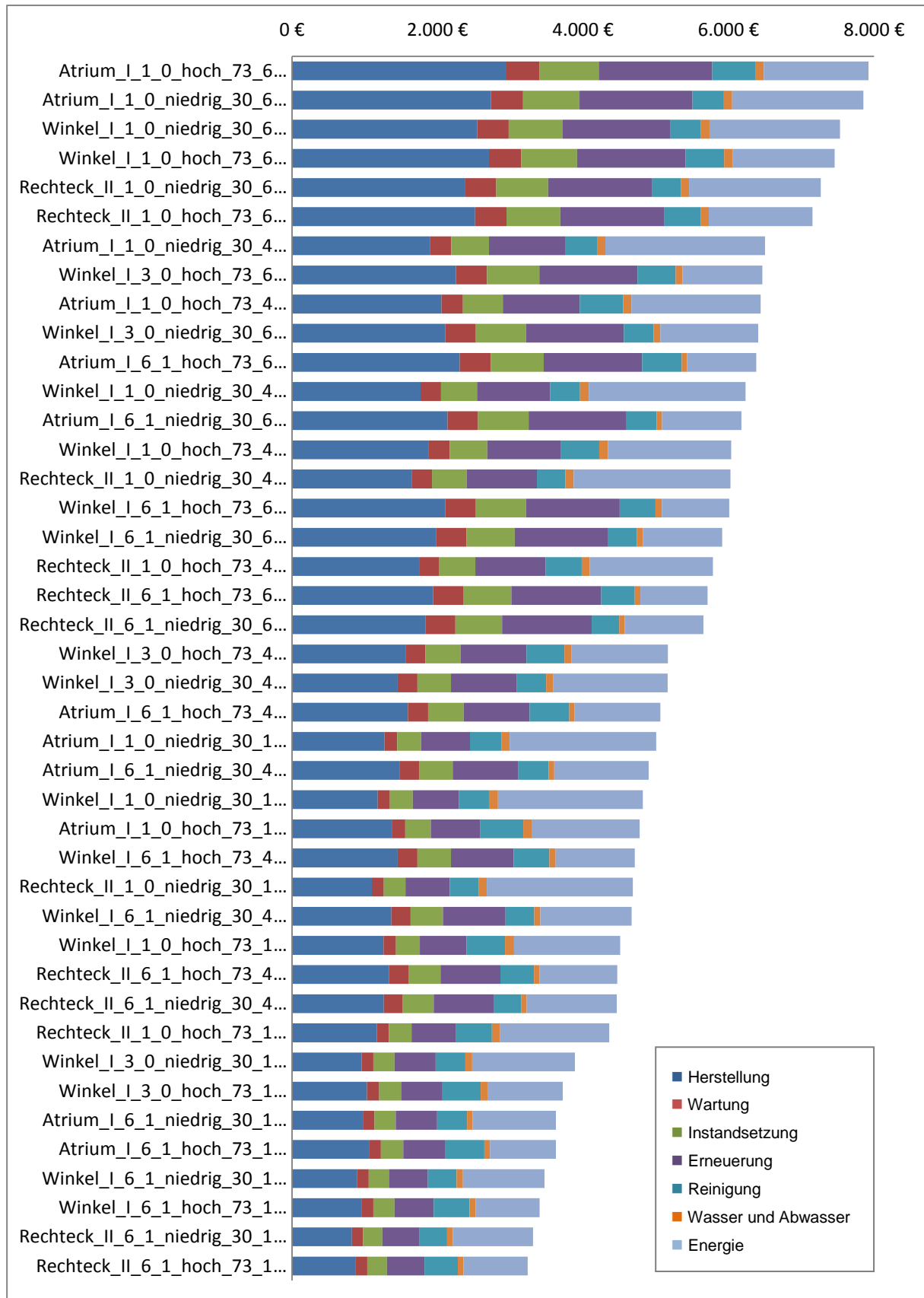


Abbildung 14: Lebenszykluskosten-Anteile aller Modellgebäude-Varianten

Die nachfolgenden Abbildungen stellen die Kosten-Anteile für die „Herstellung“ (grün) und die „Energie“ (rot) sowie den Barwert des Gebäudes (blau) dar.

BNB-Kriterium 2.1.1 – Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus [$\text{€}/\text{m}^2_{\text{BGF}}$]

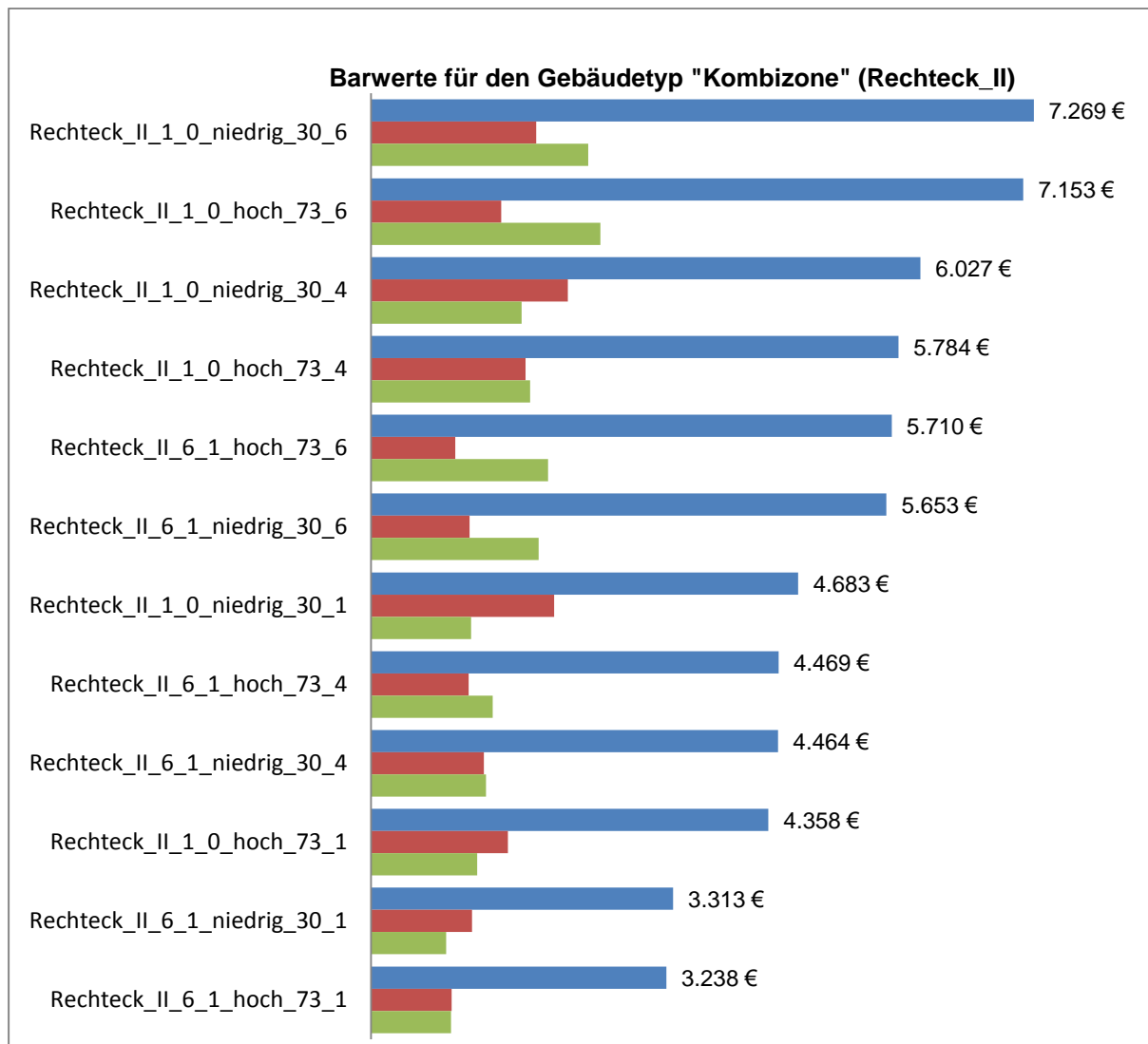


Abbildung 15: Lebenszykluskosten der Gebäudetypen Rechteck_II

■ Herstellung
 ■ Energie
 ■ Lebenszyklus

Legende:

- Rechteck_II: zweihüftiges Bürogebäude mit rechteckigem Grundriss, Ein-Personenbüros, Kombizone
- _1_0: 1 Obergeschoss, 0 Untergeschosse
- _6_1: 6 Obergeschosse, 1 Untergeschoss
- _niedrig: niedriger Wärmedämmstandard (U-Werte entsprechen der EnEV 2014)
- _hoch: hoher Wärmedämmstandard (U-Werte entsprechen der EnEV 2014 minus 50 %)
- _30: 30 % Fensterflächenanteil
- _73: 73 % Fensterflächenanteil
- _1: Konditionierung „heizen“ (entspricht dem einfachen BKI-Standard)
- _4: Konditionierung „heizen und kühlen“ (entspricht dem mittleren BKI-Standard)
- _6: Konditionierung „heizen, kühlen und lüften“ (entspricht dem gehobenen BKI-Standard)

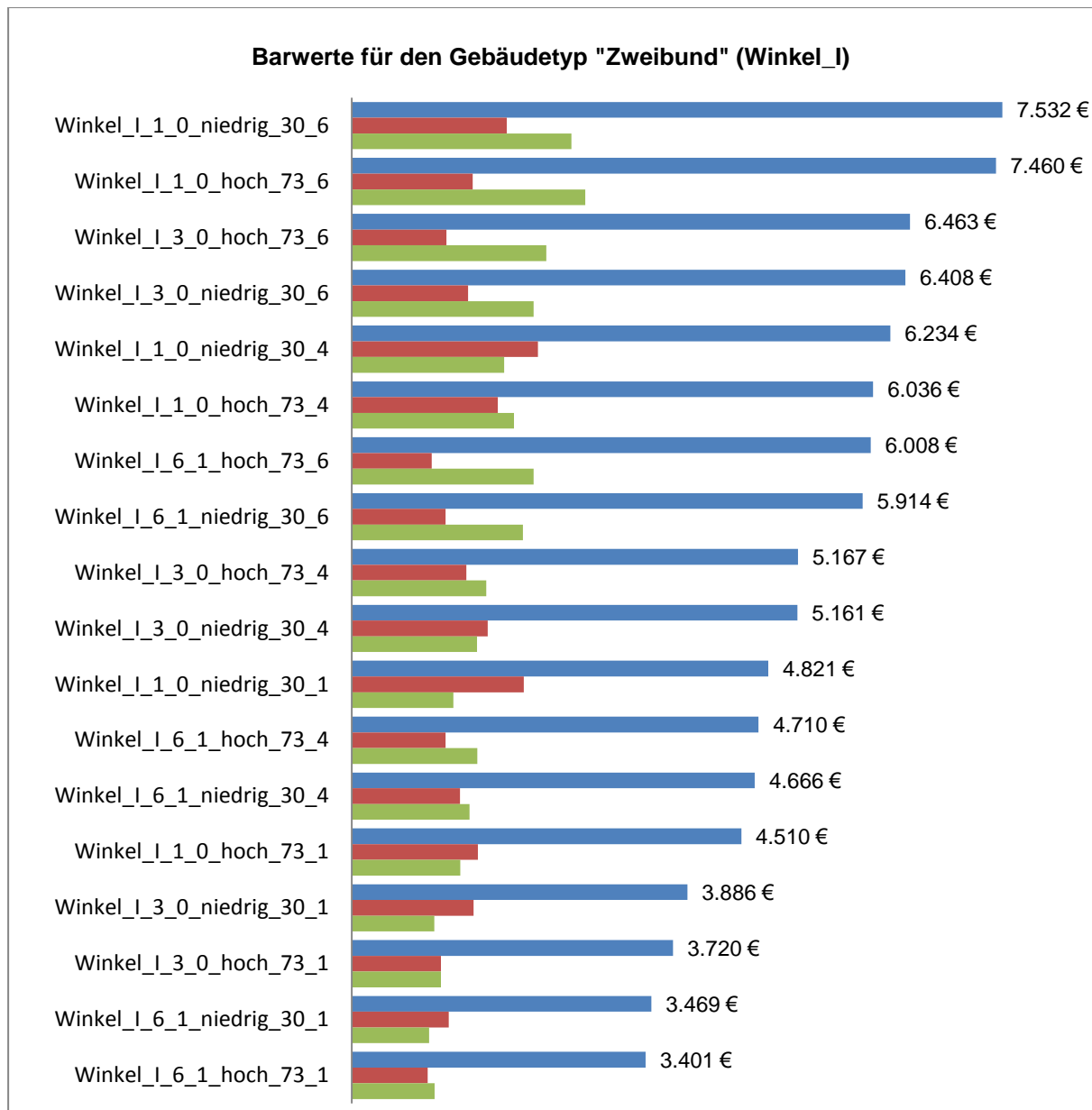
BNB-Kriterium 2.1.1 – Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus [€/m²_{BGF}]

Abbildung 16: Lebenszykluskosten der Gebäudetypen Winkel_I

■ Herstellung
 ■ Energie
 ■ Lebenszyklus

Legende:

- Winkel_I: zweihöftiges Bürogebäude mit winkligem Grundriss, Ein-Personenbüros
- _1_0: 1 Obergeschoss, 0 Untergeschosse
- _3_0: 3 Obergeschosse, 0 Untergeschosse
- _6_1: 6 Obergeschosse, 1 Untergeschoss
- _niedrig: niedriger Wärmedämmstandard (U-Werte entsprechen der EnEV 2014)
- _hoch: hoher Wärmedämmstandard (U-Werte entsprechen der EnEV 2014 minus 50 %)
- _30: 30 % Fensterflächenanteil
- _73: 73 % Fensterflächenanteil
- _1: Konditionierung „heizen“ (entspricht dem einfachen BKI-Standard)
- _4: Konditionierung „heizen und kühlen“ (entspricht dem mittleren BKI-Standard)
- _6: Konditionierung „heizen, kühlen und lüften“ (entspricht dem gehobenen BKI-Standard)

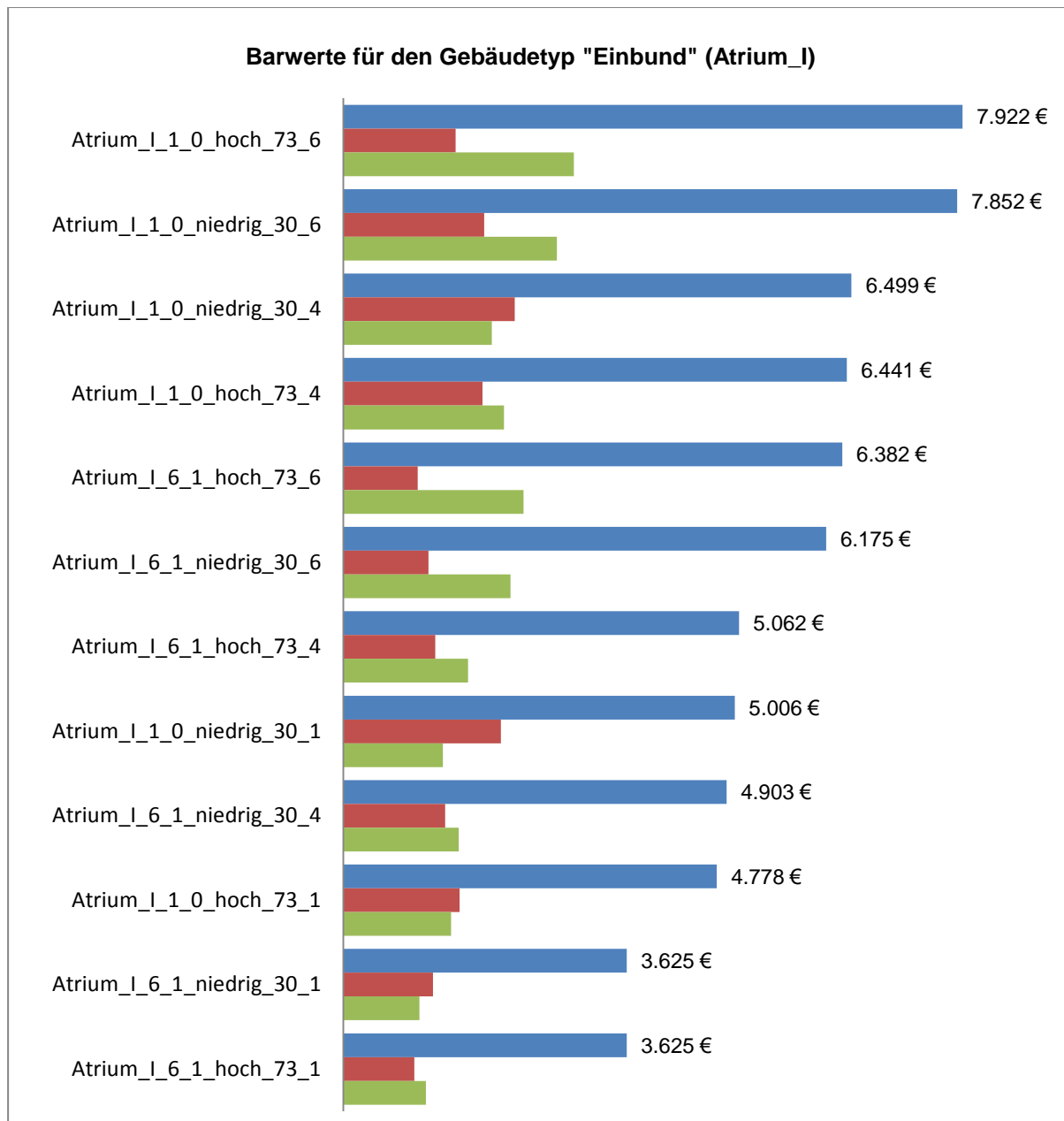
BNB-Kriterium 2.1.1 – Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus [$\text{€}/\text{m}^2_{\text{BGF}}$]

Abbildung 17: Lebenszykluskosten der Gebäudetypen Atrium_I

■ Herstellung
 ■ Energie
 ■ Lebenszyklus

Legende:

- Atrium_I: einhöftiges Bürogebäude mit Atrium, Ein-Personenbüros
- _1_0: 1 Obergeschoss, 0 Untergeschosse
- _6_1: 6 Obergeschosse, 1 Untergeschoss
- _niedrig: niedriger Wärmedämmstandard (U-Werte entsprechen der EnEV 2014)
- _hoch: hoher Wärmedämmstandard (U-Werte entsprechen der EnEV 2014 minus 50 %)
- _30: 30 % Fensterflächenanteil
- _73: 73 % Fensterflächenanteil
- _1: Konditionierung „heizen“ (entspricht dem einfachen BKI-Standard)
- _4: Konditionierung „heizen und kühlen“ (entspricht dem mittleren BKI-Standard)
- _6: Konditionierung „heizen, kühlen und lüften“ (entspricht dem gehobenen BKI-Standard)

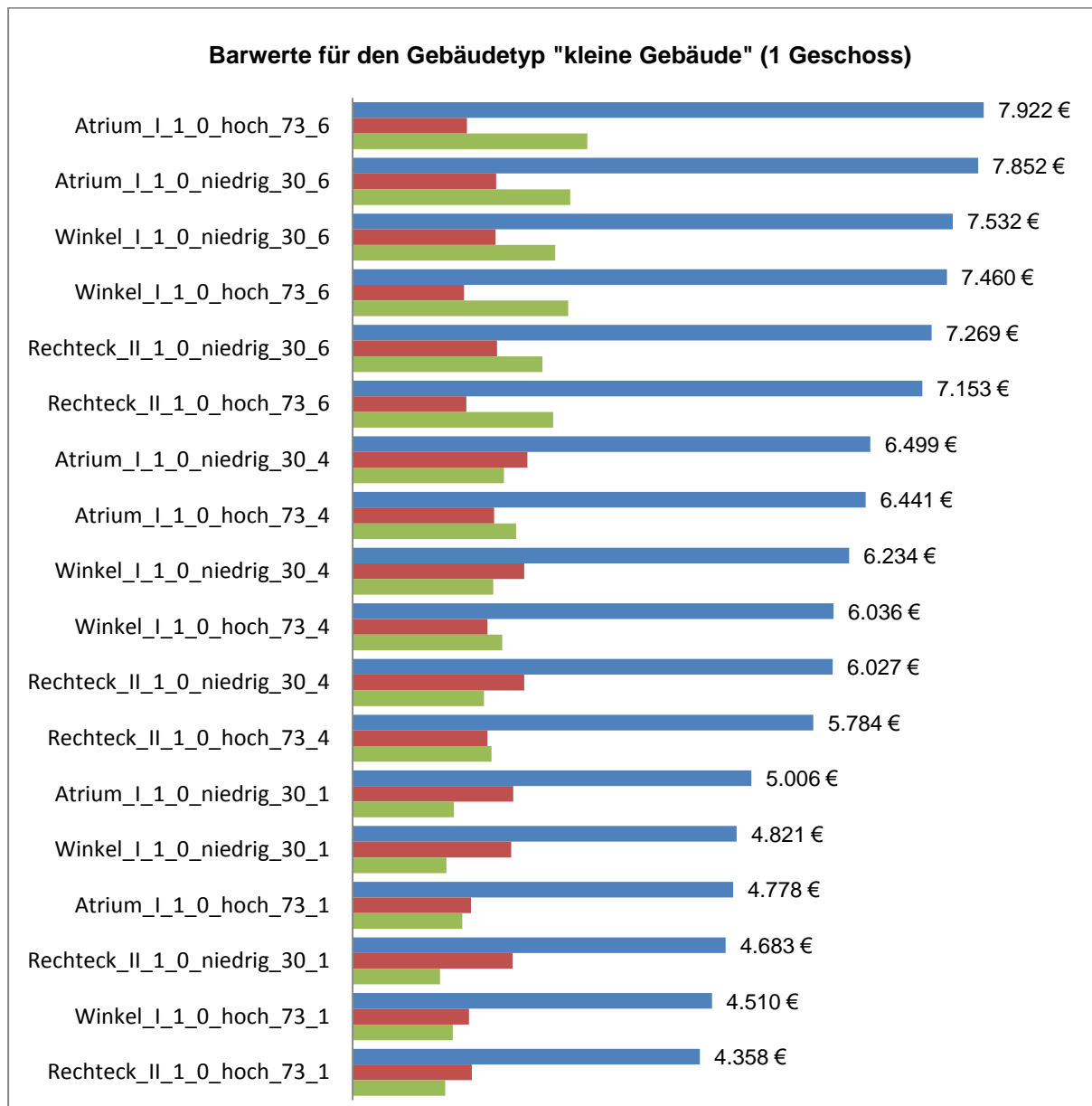
BNB-Kriterium 2.1.1 – Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus [$\text{€}/\text{m}^2_{\text{BGF}}$]

Abbildung 18: Lebenszykluskosten der eingeschossigen Modellgebäude-Varianten

■ Herstellung
 ■ Energie
 ■ Lebenszyklus

Legende:

Rechteck_II: zweihüftiges Bürogebäude mit rechteckigem Grundriss, Ein-Personenbüros, Kombizone

Winkel_I: zweihüftiges Bürogebäude mit winkligem Grundriss, Ein-Personenbüros

Atrium_I: einhüftiges Bürogebäude mit Atrium, Ein-Personenbüros

_1_0: 1 Obergeschoss, 0 Untergeschosse

_niedrig: niedriger Wärmedämmstandard (U-Werte entsprechen der EnEV 2014)

_hoch: hoher Wärmedämmstandard (U-Werte entsprechen der EnEV 2014 minus 50 %)

_30: 30 % Fensterflächenanteil

_73: 73 % Fensterflächenanteil

_1: Konditionierung „heizen“ (entspricht dem einfachen BKI-Standard)

_4: Konditionierung „heizen und kühlen“ (entspricht dem mittleren BKI-Standard)

_6: Konditionierung „heizen, kühlen und lüften“ (entspricht dem gehobenen BKI-Standard)

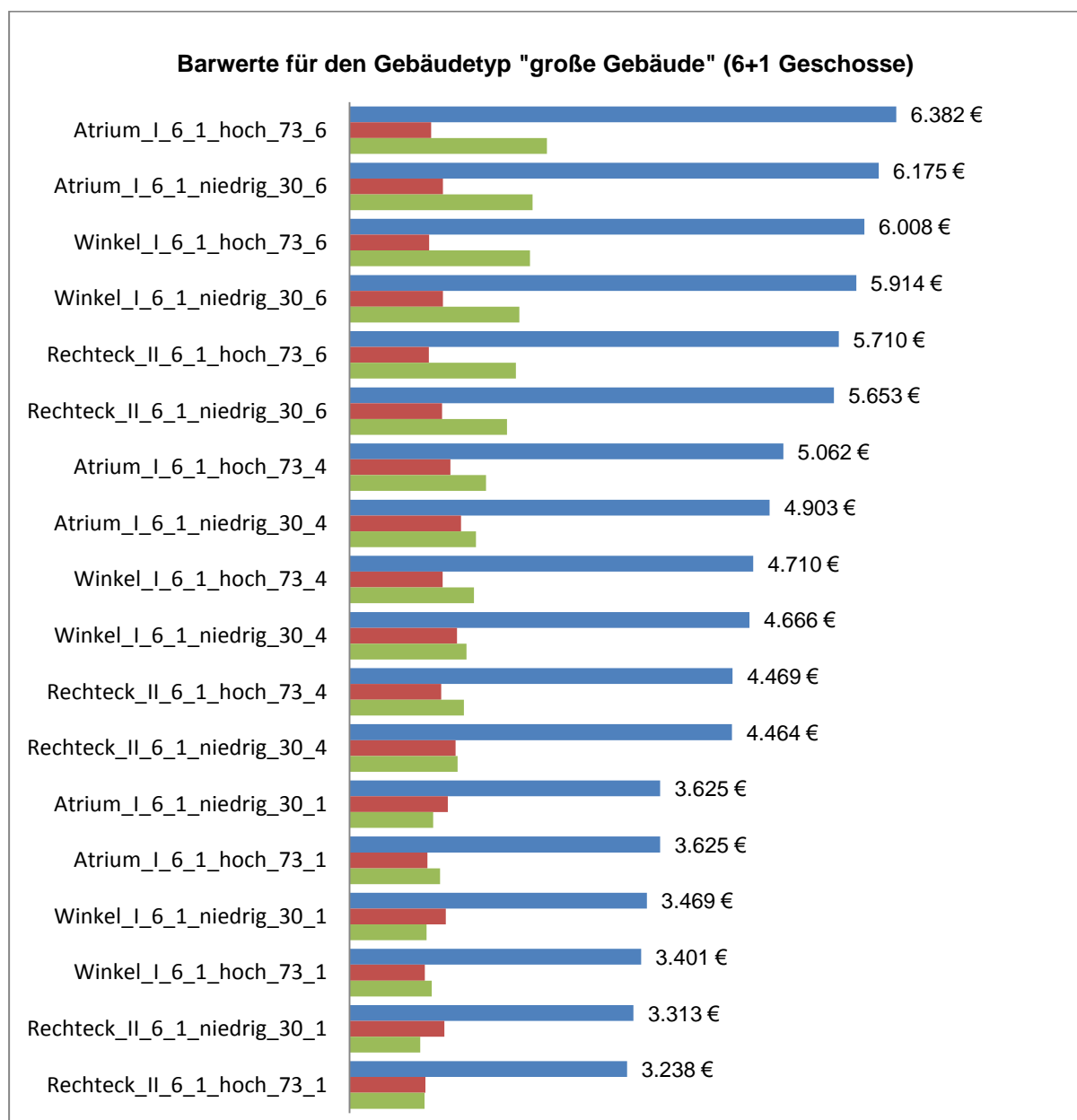
BNB-Kriterium 2.1.1 – Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus [$\text{€}/\text{m}^2_{\text{BGF}}$]

Abbildung 19: Lebenszykluskosten der sechsgeschossigen Modellgebäude-Varianten

■ Herstellung
 ■ Energie
 ■ Lebenszyklus

Legende:

Rechteck_II: zweihüftiges Bürogebäude mit rechteckigem Grundriss, Ein-Personenbüros, Kombizone

Winkel_I: zweihüftiges Bürogebäude mit winkligem Grundriss, Ein-Personenbüros

Atrium_I: einhüftiges Bürogebäude mit Atrium, Ein-Personenbüros

_6_1: 6 Obergeschosse, 1 Untergeschoss

_niedrig: niedriger Wärmedämmstandard (U-Werte entsprechen der EnEV 2014)

_hoch: hoher Wärmedämmstandard (U-Werte entsprechen der EnEV 2014 minus 50 %)

_30: 30 % Fensterflächenanteil

_73: 73 % Fensterflächenanteil

_1: Konditionierung „heizen“ (entspricht dem einfachen BKI-Standard)

_4: Konditionierung „heizen und kühlen“ (entspricht dem mittleren BKI-Standard)

_6: Konditionierung „heizen, kühlen und lüften“ (entspricht dem gehobenen BKI-Standard)

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der LCA- und LCC-Berechnungen erscheinen plausibel, wenn man die jeweiligen Objektmerkmale mit den Treibern der Indikatoren in Beziehung bringt. Die Wertebereiche der Benchmarks lassen erkennen, dass die Modellgebäude-Varianten einen repräsentativen Querschnitt der Bauweisen von Bürogebäuden darstellen. Die Übertragung auf andere Nutzungsarten wie Unterrichtsgebäude und Laborgebäude sowie auf Modernisierungen wird nicht ohne Anpassung (Neuberechnung) empfohlen.

Wie in Kap. 5.5.2 hingewiesen, wurden die LCA-Benchmarks mit der Ökobau.dat Version 2013 berechnet und gelten nur für die Verwendung dieser Datenbasis.

Folgende Benchmarks werden zur Anwendung für Büroneubauten empfohlen.

1.1.1	1.1.2	1.1.3	1.1.4	1.1.5	1.2.1	1.2.2.1	1.2.2.2
GWP (CO ₂ -Äqu.) [kg/m ² a]	ODP (R11-Äqu.) [kg/m ² a]	POCP (C ₂ H ₄ -Äqu.) [kg/m ² a]	AP (SO ₂ -Äqu.) [kg/m ² a]	EP (PO ₄ -Äqu.) [kg/m ² a]	PE _{ne} [kWh/m ² a]	PE _{ges} [kWh/m ² a]	PE _{em} [kWh/m ² a]
22,6	0,000000042	0,0057	0,0574	0,0077	104	114	37,2%
35,9	0,000000119	0,0100	0,0860	0,0142	160	197	29,2%
66,2	0,000000196	0,0200	0,1601	0,0277	277	343	14,8%

Tabelle 37: Benchmark-Empfehlungen für die LCA

Als Referenzgebäude für die LCA und LCC wurden folgende Gebäude ermittelt.

- Winkel_I_3_0_niedrig_30_4
- Winkel_I_3_0_hoch_73_4

Winkel_I: zweihöftiges Bürogebäude mit winkligem Grundriss und Ein-Personenbüros
 _3_0: 3 Obergeschosse, 0 Untergeschosse
 _niedrig: niedriger Wärmedämmstandard (U-Werte entsprechen der EnEV 2014)
 _hoch: hoher Wärmedämmstandard (U-Werte entsprechen der EnEV 2014 minus 50 %)
 _30: 30 % Fensterflächenanteil (Lochfassade)
 _73: 73 % Fensterflächenanteil (Glasfassade)

Die LCC-Berechnungen ergeben für die Grundgesamtheit der Modellgebäude-Varianten und für die Referenzgruppe unterschiedliche Bereiche zwischen dem Minimum und dem Maximum der Barwerte. Es ist zu entscheiden, welchen Anstieg die Punktverteilung zwischen 10 und 50 BNB-Punkten sowie zwischen 50 und 100 BNB-Punkten erhalten soll.

Für den Bewertungsmaßstab der Referenzgruppe wurde ein durchgängig gleicher Anstieg von 40 € pro Punkt verwendet.

Für den Bewertungsmaßstab der Grundgesamtheit wurde zwischen 10 und 50 Punkten ein Anstieg von 55 € pro Punkt und zwischen 50 und 100 Punkten ein Anstieg von 50 € pro Punkt verwendet.

Bewertungsmaßstäbe (Barwert pro m ² _{BGF})			
Punkte	Grundgesamtheit	Referenzgruppe	Empfehlung
100	3.300 €	3.300 €	3.300 €
90	3.800 €	3.660 €	3.700 €
80	4.300 €	4.020 €	4.100 €
70	4.800 €	4.380 €	4.500 €
60	5.300 €	4.740 €	4.900 €
50	5.800 €	5.100 €	5.300 €
40	6.350 €	5.460 €	5.700 €
30	6.900 €	5.820 €	6.100 €
20	7.450 €	6.180 €	6.500 €
10	8.000 €	6.540 €	6.900 €

Tabelle 38: Benchmark-Varianten für die LCC

In der folgenden Abbildung ist die Schere zwischen den Bewertungsmaßstäben „Grundgesamtheit“ und „Referenzgruppe“ sichtbar. Daher wird ein Bewertungsmaßstab mit nur einem linearen Anstieg über den gesamten Punktebereich, der sich an der Referenzgruppe orientiert, empfohlen.

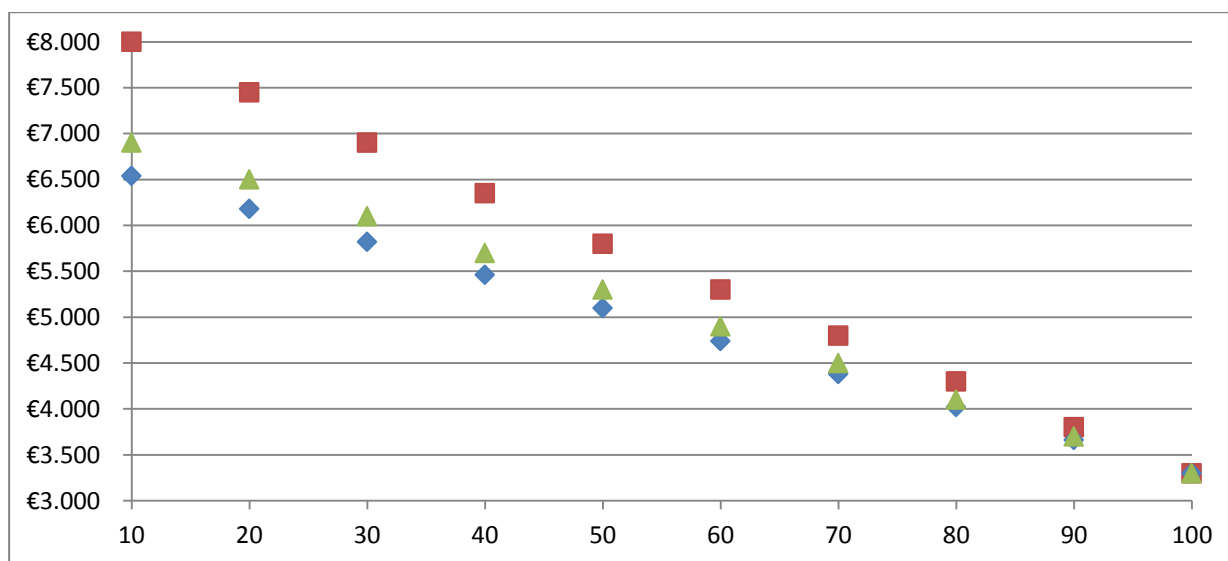


Abbildung 20: LCC-Bewertungsmaßstäbe „Grundgesamtheit“ (rot), „Referenzgruppe“ (blau), „Empfehlung“ (grün)

Zur Entscheidung über die Wahl des Bewertungsmaßstabes wurde die Bewertung des 2013 fertiggestellten Nullenergiegebäudes „Haus 2019“ in Berlin-Marienfelde (UBA 2019) unterstützend hinzugezogen.

BNB-Version	pro m ² _{BGF} Barwert	BNB-Punkte	
		Kategorie 1	Kategorie 2
2011, PV-Eigenverbrauchsanrechnung 100%	3.325 €	26,4	64,4
BNB-Version	Barwert	Referenzgruppe	Grundgesamtheit
2015, PV-Eigenverbrauchsanrechnung 100%	5.231 €	51,7	61,4
2015, PV-Eigenverbrauchsanrechnung 50%	5.425 €	46,9	57,2

Tabelle 39: Benchmark-Varianten für die LCC

Der Grenzwert der Referenzgruppe entspricht 36 Punkten der Grundgesamtheit und liegt bei einem Barwert von 6.500 €/m²_{BGF}. Die Autoren empfehlen für das BNB-Kriterium 2.1.1 einen Bewertungsmaßstab der durch das Minimum und den Median/Mittelwert der Referenzgruppe verläuft. Damit ergibt sich ein Maximum (Grenzwert) von 6.900 €/m²_{BGF}, der 30 Punkten der Grundgesamtheit entspricht.

Bei den Gebäuden mit einem Barwert von mehr als 6.900 €/m²_{BGF} handelt es sich um kleine (eingeschossige) Gebäude mit hohem thermischen und lufthygienischen Komfort. Diese Kombination aus Gebäude und Technik wird im öffentlichen Bereich kaum gebaut. Alle anderen Gebäude liegen im empfohlenen Bewertungsmaßstab.

Das Ziel dieses Forschungsprojektes war die Ermittlung von BNB-Benchmarks für die Ökobilanz und die Lebenszykluskosten. Daraus sollte ein Referenzgebäude abgeleitet werden, das für die Fortschreibung der Benchmarks verwendet werden kann. Aus Sicht der Autoren wurden diese Ziele erreicht.

Darüber hinaus haben sich die Autoren mit der Frage auseinandergesetzt, ob die BNB-Kriterien der LCA und LCC ausreichen, die Ziele des Nachhaltigen Bauens sinnvoll und praxisnah abbilden. Dabei wurde sichtbar, dass die wenigen Kriterien in der Ökonomischen Qualität und die daraus resultierende hohe Gewichtung der LCC nicht ausreichend, um Fragen der Wirtschaftlichkeit nachhaltiger Gebäude ausreichend bewerten. Die Lebenszykluskosten lassen einen Wirtschaftlichkeitsvergleich von Gebäudevarianten unter standardisierten Rahmenbedingungen auf der Gebäudeebene zu.

Für die Praxis reicht das häufig nicht aus.

Aus diesem Grund empfehlen die Autoren die Integration der im Folgenden beschriebenen zwei BNB-Kriterien in der Ökonomischen Qualität.

Vorschlag des BNB-Kriteriums „Gebäudeauslastung“

Anlass

Die zeitliche Nutzungsintensität von Gebäuden ist verschieden. Eine intensive Gebäudenutzung ohne Ausweitung von Gleitzeitbereichen hat Einfluss auf den gesamten Gebäudeflächenbedarf und sollte in Nachhaltigkeitsbewertungen berücksichtigt werden.

Relevanz und Zielsetzung

Die ökonomische Qualität eines Gebäudes wird auch wesentlich bestimmt durch dessen Auslastung. Im Allgemeinen werden Bürogebäude zeitlich im Jahresdurchschnitt nur gering ausgelastet wie die nachfolgende Berechnung zeigt.

Jahresstunden		8.760
abzüglich Wochenendstunden	52 x 2 x 24	-2.496
abzüglich Feiertagsstunden	6 x 24	-144
abzüglich Nachtstunden	255 x 12	-3.060
tatsächliche Nutzungszeit		3.060
zeitlicher Auslastungsgrad	3.060/8.760	35 %

Tabelle 40: Zeitliche Büroauslastung

Es ist nachhaltig, die zeitliche Auslastung von Bürogebäuden im Jahresdurchschnitt zu erhöhen, da dadurch weniger Bürogebäude errichtet werden müssen. Dies erreicht man durch eine zweckmäßige Arbeitsorganisation, d.h. durch sogenanntes Desk-Sharing insbesondere mit folgenden Ansätzen:

- Schichtbetrieb
- Heimarbeit
- Vermeidung von Mehrfacharbeitsplätzen pro Person
- Teilung eines Arbeitsplatzes durch mehrere Teilzeitbeschäftigte

Das Ziel besteht darin, den Unterbringungsbedarf (Arbeitsplätze) auf einer geringeren Fläche als bisher, sicherzustellen, d.h. eine geringere Anzahl von Arbeitsplätzen zu errichten, als die unterzubringende Struktureinheit Mitarbeiter hat. Allerdings soll das Bestreben nach einer besseren Gebäudeauslastung nicht zu Lasten üblicher sozialer Standards gehen.

Bewertung/ Methode

Die Bewertung erfolgt mit zwei Teilkriterien:

1. Teilkriterium (quantitativ): Bewertung des Verhältnisses von mit dem Gebäude realisierten Arbeitsplätzen zur Mitarbeiteranzahl, welche im Gebäude untergebracht werden soll.
2. Teilkriterium (qualitativ): Bewertung der Herangehensweise bei der Flächenoptimierung

1. Teilkriterium

Quantitative Bewertung des Verhältnisses von mit dem Gebäude realisierten Arbeitsplätzen zur Mitarbeiteranzahl, welche im Gebäude untergebracht werden soll:

$$A = \frac{N_{AP}}{N_{MA}}$$

2. Teilkriterium

Es wird die Herangehensweise bei der Flächenoptimierung an Hand der im Vorfeld durchgeführten Aktivitäten bewertet:

- Prüfung, ob für bestimmte Mitarbeiter/Stellen Heimarbeit vereinbart werden kann, so dass für diese Mitarbeiter kein dauerhafter Arbeitsplatz vorgehalten werden muss.
- Prüfung, ob für Gruppen von Mitarbeitern, bei deren Tätigkeit eine häufige Abwesenheit vom festen Arbeitsplatz erforderlich ist, die Anzahl dauerhafter Arbeitsplätze reduziert werden kann.
- Prüfung, ob für Struktureinheiten die Einführung von Schichtarbeit möglich und dienstlich machbar ist.
- Prüfen, ob sich Teilzeitarbeitskräfte einen Arbeitsplatz sinnvoll teilen können.

Für die Bewertung erforderliche Unterlagen

- Flächenprogramm des Gebäudes bzw. Raumbuch aus welchen die Arbeitsplatzanzahl hervorgeht.
- Mitarbeiteranzahl laut Stellenbedarfsplan für die unterzubringenden Organisationseinheiten
- Konzept zur Erhöhung der Auslastung des Gebäudes durch innovative Unterbringungs-, Teilzeit- und Heimarbeitsformen

Bewertungsmaßstab

Die Summe der Teilkriterien beträgt 100 Punkte.

Teilkriterium 1: 50 Punkte

A ≤ 0,9 50 Punkte

A = 1,0 25 Punkte

A ≥ 1,1 10 Punkte

Teilkriterium 2: 50 Punkte

Die vier Prüfungen wurden beschrieben und die Prüfungsergebnisse wurden dargestellt.

25 Punkte

Die vier Prüfungen ergaben mindestens eine Umsetzungsmöglichkeit und diese wurde umgesetzt.

50 Punkte

Vorschlag des BNB-Kriteriums „Wirtschaftlichkeitsanalysen“

Für die BNB-Systemvariante „Überbetriebliche Berufsbildungsstätten Neubau“ entwickelten die Forschungsnehmer das nachfolgende Kriterium, das sich auch für alle anderen BNB-Systemvarianten eignet. Es wird vorgeschlagen, das nachfolgende Kriterium unter der Bezeichnung „2.1.2 Wirtschaftlichkeitsanalysen“ mit dem Bedeutungsfaktor 1 aufzunehmen.

Relevanz und Zielsetzungen	Im Sinne eines wirtschaftlichen Umgangs mit finanziellen Ressourcen besteht für den Bereich Bauen und Betreiben das Ziel in einer Minimierung der gebäudebezogenen Kosten im Lebenszyklus von Gebäuden.
Beschreibung	Um das Ziel minimierter Lebenszykluskosten erreichen zu können, muss das Gebäude in den wesentlichen Teilbereichen der Baukonstruktion und der Gebäudetechnik optimiert werden. Die optimierte Lösung für einen Teilbereich erhält man, indem verschiedene Varianten entwickelt und wirtschaftlich bewertet werden.
Bewertung	Qualitative Bewertung
Methode	<p>Bei der Auswahl der Untersuchungsbereiche für die Wirtschaftlichkeitsanalysen sollten Planungsvarianten gewählt werden, die Synergien zwischen der Baukonstruktion und den technischen Anlagen haben. Passive Lösungen sind aktiven Lösungen vorzuziehen.</p> <p>Wirtschaftlichkeitsanalysen können zum Beispiel für folgende Baukonstruktionen und technische Anlagen durchgeführt werden:</p> <ul style="list-style-type: none">• Dämmeigenschaften der Gebäude-Hüllflächen• Art und Anteil transparenter Flächen an der Gebäude-Hüllfläche• Art der Wärmeversorgung (z. B. Kesselanlage oder Wärmepumpe)• Art der Kälteversorgung (z. B. Kompressionskältemaschine oder Kältegewinnung durch Grundwassernutzung)• Art der Raumbelüftung und/oder -klimatisierung (z. B. passive Kühlung, Nachtauskühlung, Nur-Luft-Anlage oder Luft-Wasser-Anlage)• Art der Kunstlichtversorgung in Abstimmung mit der Tageslichtverfügbarkeit• Gebäudeautomation (Ist der Einsatz der Gebäudeautomation wirtschaftlich?)• Regen- oder Grauwassernutzung (Ist der Einsatz einer Regen- oder Grauwassernutzungsanlage wirtschaftlich?) <p>Die Wirtschaftlichkeitsanalysen sind mit Hilfe finanzmathematischer Verfahren durchzuführen. Die Verfahrensauswahl ist mit dem Bauherrn abzustimmen. Zu bevorzugen sind das Kapitalwertverfahren gemäß VDI 6025 und das Annuitätenverfahren gemäß VDI 2067-1.</p>
Wechselwirkung zu weiteren Kriterien	Es bestehen Wechselwirkungen zu fast allen anderen Steckbriefen, insbesondere dort, wo kostenrelevante Einflüsse bestehen. Das kann die Veränderung der Herstellkosten betreffen z. B. durch die Verwendung von anderen Materialien, eine andere Flächenaufteilung oder die Veränderung der Energiekosten, Reinigungskosten u. a.

Für die Bewertung erforderliche Unterlagen

Vollständige und nachvollziehbare Dokumentation der durchgeführten Wirtschaftlichkeitsanalysen mit allen verwendeten Eingangsparametern und Randbedingungen.
Begründung, wenn im weiteren Verlauf der Planung vom Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsanalysen abgewichen wurde, d. h. eine andere Variante in dem jeweiligen Bereich realisiert wurde.

Maßgebende Regelwerke

VDI 6025: Betriebswirtschaftliche Berechnungen für Investitionsgüter und Anlagen. November 1996.
VDI 2067-1: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen. Grundlagen und Kostenberechnung. September 2012

Bewertungsmaßstab

	Anforderungsniveau
Z: 100	Die Anzahl der Wirtschaftlichkeitsanalysen beträgt 6.
85	Die Anzahl der Wirtschaftlichkeitsanalysen beträgt 5.
70	Die Anzahl der Wirtschaftlichkeitsanalysen beträgt 4.
R: 50	Die Anzahl der Wirtschaftlichkeitsanalysen beträgt 3.
30	Die Anzahl der Wirtschaftlichkeitsanalysen beträgt 2.
G: 10	Die Anzahl der Wirtschaftlichkeitsanalysen beträgt 1.
0	Es wurden keine Wirtschaftlichkeitsanalysen nachgewiesen.

7 Anhang

Ausgewählte Eigenschaften des EnEV-Referenzgebäudes

Bauteil	Beschreibung Referenzgebäude
Gebäudegeometrie	wie Modellgebäude/Plangebäude
Nettogrundfläche	wie Modellgebäude/Plangebäude
Ausrichtung	wie Modellgebäude/Plangebäude
Nutzung	wie Modellgebäude/Plangebäude
Sonnenschutz	wie Modellgebäude/Plangebäude
Außenwände, Geschossdecken gegen Außenluft	$U = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Vorhangfassaden	$U = 1,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Wände gegen Erdreich, Bodenplatten Wände und Decken zu unbeheizten Räumen	$U = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Dach	$U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Glasdächer, Lichtkuppeln	$U = 2,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Lichtbänder	$U = 2,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Fenster	$U = 1,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Außentüren	$U = 1,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Tabelle 41: Eigenschaften der Baukonstruktion des EnEV-Referenzgebäudes

Technisches System	Beschreibung Referenzgebäude
Beleuchtung	direkt/indirekt
Heizung	Heizöl-Brennwertkessel
Warmwasser (in Abhängigkeit vom Modellgebäude/Plangebäude)	wenn zentrales System, dann mit Flachkollektor abhängig von NGF oder zentrales System mit elektrischen Durchlauferhitzern
Lüftung (in Abhängigkeit vom Modellgebäude/Plangebäude)	Abluftanlage, Zu- und Abluftanlage, Wärmerückgewinnung und Luftbefeuchtung mit jeweils festen technischen Parametern
Klimatisierung (in Abhängigkeit vom Modellgebäude/Plangebäude)	Kälteerzeugung mit Strom

Tabelle 42: Ausgewählte Eigenschaften der Technischen Systeme des EnEV-Referenzgebäudes

Anlagen

- 1 Datei: Nutzungsdauern_Instandhaltung_Ökobilanzierung.xls
- 2 Datei: LCA-LCC-Ergebnisse_Modellgebäude.xls
- 3 Datei: BNB_BN_111_Treibhauspotenzial_V2015_Entwurf.pdf
- 4 Datei: BNB_BN_112_Ozonschichtabbaupotenzial_V2015_Entwurf.pdf
- 5 Datei: BNB_BN_113_Ozonbildungspotenzial_V2015_Entwurf.pdf
- 6 Datei: BNB_BN_114_Versauerungspotenzial_V2015_Entwurf.pdf
- 7 Datei: BNB_BN_115_Überdüngungspotenzial_V2015_Entwurf.pdf
- 8 Datei: BNB_BN_121_Primärenergiebedarf-nicht-erneuerbar_V2015_Entwurf.pdf
- 9 Datei: BNB_BN_122_Gesamtprimärenergiebedarf-und-Anteil-ePE_V2015_Entwurf.pdf
- 10 Datei: LCA-Bilanzierungsregeln_V2015_Entwurf.pdf
- 11 Datei: BNB_BN_211_Gebäudebezogene-Kosten-im-Lebenszyklus_V2015_Entwurf.pdf

Quellen- und Literaturverzeichnis

BMVBS / BBSR(Hrsg.): Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Systemvariante Büro- und Verwaltungsgebäude Neubau. 2011_1

BMVBS / BBSR (Hrsg.): Lebens- und Nutzungsdauer von Bauteilen. Berlin 2010

BMVBS / BBSR (Hrsg.): Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Berlin 2013

BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.): BKI Baukosten Gebäude 2012. Statistische Kostenkennwerte Teil 1. Stuttgart 2012

BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.): BKI Baukosten Bauelemente 2012. Statistische Kostenkennwerte Teil 2. Stuttgart 2012

AMEV (Hrsg.): TGA-Kosten Betreiben 2013. Ermittlung der Kosten für das Betreiben von technischen Anlagen in öffentlichen Gebäuden. Berlin 2013

DIN 18960 (2008-2): Nutzungskosten im Hochbau

DIN 276-1 (2006-11): Kosten im Bauwesen – Teil 1: Hochbau

DIN 277-1 (2005-2): Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau – Teil 1: Begriffe, Ermittlungsgrundlagen

DIN 4108-2 (2003-07): Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2. Mindestanforderungen an den Wärmeschutz

DIN V 18599: (2011-12): Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung

Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 16.10.2013

Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 29.04.2009

Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG) vom 22.12.2011

DIN EN 15978 (2012-10): Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode; Deutsche Fassung EN 15978:2011

DIN EN 15643-4 (2012-04): Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden – Teil 4: Rahmenbedingungen für die Bewertung der ökonomischen Qualität; Deutsche Fassung EN 15643-4:2012

Umweltbundesamt (Hrsg.): Ökonomische Bewertung von Umweltschäden. METHODENKONVENTION 2.0 ZUR SCHÄTZUNG VON UMWELTKOSTEN. Dessau-Roßlau 2012

VDI 2067 Blatt 1 (Entwurf 2010-09): Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen

VDI 3807 Blatt 3 (2000-07): Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude und Grundstücke

VDI 6025 (2012-11): Betriebswirtschaftliche Berechnungen für Investitionsgüter und Anlagen

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zeitplan für das Forschungsprojekt.....	7
Tabelle 2: Zusätzlich in der LCA und LCC zu bilanzierende Kostengruppen.....	10
Tabelle 3: Baupreisindex für Sachsen (http://www.statistik.sachsen.de/download/060_AVP-Preise/Gebaeude_2010.pdf).....	13
Tabelle 4: Energiepreise für Haushalte (ohne Mehrwertsteuer).....	18
Tabelle 5: Energiepreise für die Industrie (ohne Mehrwertsteuer).....	18
Tabelle 6: Preise und Preissteigerung für Pellets (Werte nach CARMEN).....	18
Tabelle 7: Energiepreise nach BNB-Kriterium 2.1.1, Version 2011.....	19
Tabelle 8: Energiepreise im BNB-System und Verbraucherpreise.....	20
Tabelle 9: Vorschlag neuer Energiepreise im BNB-System.....	20
Tabelle 10: Nebenkosten von Bürogebäuden (Quelle: Jones Lang LaSalle und CREIS).....	21
Tabelle 11: Bauteile der KG 300 (DIN 276) mit Instandhaltungsbedarf.....	22
Tabelle 12: Jährlicher Instandhaltungskostenanteil an den Herstellungskosten (AMEV, TGA 2013).....	22
Tabelle 13: Preisindizes für Gebäudedienstleistungen.....	24
Tabelle 14: Indizierte Stundenverrechnungssätze für Gebäudereinigungsleistungen.....	24
Tabelle 15: Bewertungsmaßstab BNB-Kriterium 2.1.1 mit zwei Kategorien.....	27
Tabelle 16: Variationselemente der Geometrie und Bauweise für die Variantenbildung der Modellgebäude.....	32
Tabelle 17: Geometriedaten aller Grundrissvarianten (blauer Text: Modellgebäudevarianten).....	33
Tabelle 18: Flächen der Modellgebäude-Grundrisse nach DIN 277.....	33
Tabelle 19: Variationselemente der Gebäudetechnik für die Variantenbildung der Modellgebäude.....	34
Tabelle 20: Dämmstandards der Modellgebäude.....	34
Tabelle 21: Definition der deklarierbaren Module für die Ökobilanzerstellung nach DIN EN 15978.....	35
Tabelle 22: Definition der zu bilanzierenden Module in der LCA zur Bewertung der BNB-Kriterien 1.1.1-1.1.5, 1.2.1, 1.2.2.....	35
Tabelle 23: Bilanzierte Bauteile in der LCA der Modellgebäude (am Beispiel der Außenwand).....	38
Tabelle 24: Struktur der LCA-Ergebnisse am Beispiel eines Gebäudetyps und Indikators.....	41
Tabelle 25: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.1.1.....	42
Tabelle 26: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.1.2.....	42
Tabelle 27: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.1.3.....	43
Tabelle 28: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.1.4.....	43
Tabelle 29: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.1.5.....	44
Tabelle 30: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.2.1.....	44
Tabelle 31: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Teilkriterium 1.2.2.1.....	45
Tabelle 32: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Teilkriterium 1.2.2.2.....	45
Tabelle 33: Kostenspannen der Gebäudestandards von Bürogebäuden (BKI und Modellgebäude).....	48
Tabelle 34: Kosten 2. Ebene (DIN 276) für das Modellgebäude „Winkel_I_6_1_hoch_73_4_Stahlbeton_mittlerer Standard“.....	48
Tabelle 35: Kostenermittlung mit ausgewählten BKI-Kostenkennwerten für die Modellgebäude-Variante.....	49
Tabelle 36: Lebenszykluskosten und -anteile der Modellgebäude-Varianten.....	52
Tabelle 37: Benchmark-Empfehlungen für die LCA.....	62
Tabelle 38: Benchmark-Varianten für die LCC.....	63
Tabelle 39: Benchmark-Varianten für die LCC.....	63
Tabelle 40: Zeitliche Büroauslastung.....	64
Tabelle 41: Eigenschaften der Baukonstruktion des EnEV-Referenzgebäudes.....	69
Tabelle 42: Ausgewählte Eigenschaften der Technischen Systeme des EnEV-Referenzgebäudes.....	69

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Energiepreise für Haushalte (ohne Mehrwertsteuer)	17
Abbildung 2: Energiepreise für die Industrie (ohne Mehrwertsteuer).....	17
Abbildung 3: Preisentwicklung von Pellets im Vergleich zu Heizöl und Erdgas (Preise inkl. MwSt.).....	18
Abbildung 4: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.1.1	42
Abbildung 5: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.1.3.....	43
Abbildung 6: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.1.4.....	43
Abbildung 7: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.1.5.....	44
Abbildung 8: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Kriterium 1.2.1.....	44
Abbildung 9: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Teilkriterium 1.2.2.1.....	45
Abbildung 10: Bewertungsmaßstäbe für das BNB-Teilkriterium 1.2.2.2.....	45
Abbildung 11: Treibhauspotenzial der Modellgebäude-Varianten	47
Abbildung 12: Bewertungsmaßstab V2015 für die Grundgesamtheit (rot) und die Referenzgruppe (blau)	54
Abbildung 13: Lebenszykluskosten der Modellgebäude-Varianten	55
Abbildung 14: Lebenszykluskosten-Anteile aller Modellgebäude-Varianten.....	56
Abbildung 15: Lebenszykluskosten der Gebäudetypen Rechteck_II.....	57
Abbildung 16: Lebenszykluskosten der Gebäudetypen Winkel_I.....	58
Abbildung 17: Lebenszykluskosten der Gebäudetypen Atrium_I	59
Abbildung 18: Lebenszykluskosten der eingeschossigen Modellgebäude-Varianten	60
Abbildung 19: Lebenszykluskosten der sechsgeschossigen Modellgebäude-Varianten.....	61
Abbildung 20: LCC-Bewertungsmaßstäbe „Grundgesamtheit“ (rot), „Referenzgruppe“ (blau), „Empfehlung“ (grün)	63