



Metastudie zur Kosteneffektivität von Anforderungsniveaus im Wohnungsneubau

Systematisch vergleichende Analyse von ausgewählten wissenschaftlichen
Publikationen

Im Auftrag der

Wirtschaftskammer Österreich, Fachverband Steine-Keramik

Wiedner Hauptstraße 63, 1045 Wien

Institute of Building Research & Innovation

Arch. DI Dr. Renate Hammer, MAS

DI Dr. Peter Holzer

Zusammenfassung für Tagungsband BauZ

Wien, 18.01.2015

1	Hintergrund	3
2	Fragestellungen	3
3	Liste der berücksichtigten Publikationen	3
4	Methodik	5
5	Ergebnisse A: Niveaus des rechnerischen Kostenoptimums der Gesamtenergieeffizienz	5
6	Ergebnisse B: Berechnetes Kostenoptimum im Vergleich zu praktischen Erfahrungen.....	7
6.1	<i>Ergebnisse der Studie 03_04 Wohnkomfort u Heizwärmeverbrauch im PH und NEH, rhomberg, 03_2013</i>	<i>7</i>
6.2	<i>Ergebnisse der Studie 03_06 Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit, gbv, 10_2013.....</i>	<i>8</i>
6.3	<i>Ergebnisse der Studie 03_12 Nachhaltigkeits-Monitoring ausgewählter Passivhaus-Wohnanlagen in Wien, Treberspurg, Smutny et al, 12_2009.....</i>	<i>8</i>
6.4	<i>Ergebnisse der Studie 03_15 Ermittlung der baulichen Mehrkosten von Passivhausprojekten, Schöberl, 2011.....</i>	<i>9</i>
6.5	<i>Ergebnisse der Studie 03_16 Betriebskosten- und Wartungskostenvergleich zwischen Passivhäusern und Niedrigenergiehäusern, Schöberl, Hofer, 2012</i>	<i>9</i>
7	Ergebnisse zu Frage C: Berücksichtigung von Lebensdauer und sonstigen Wechselwirkungen.....	10
7.1	<i>Berücksichtigung der Lebensdauer von Baumaßnahmen.....</i>	<i>10</i>
7.2	<i>Wechselwirkungen zwischen Energieeffizienz, Kostenoptimalität und Komfort</i>	<i>11</i>
7.3	<i>Normenexzerpt zu Wechselwirkungen von Ökologie und Sozialem</i>	<i>13</i>
8	Ergebnisse zu Frage D: Kostenunterschiede der Bauweisen	14
8.1	<i>Ergebnisse der Studie 02_02 Kostenoptimalität, energy agency, 12_2012</i>	<i>14</i>
8.2	<i>Ergebnisse der Studie 03_01 Bauen 2020 - Gebäudesystemvergleich, DUK, 11_2012.....</i>	<i>14</i>
8.3	<i>Ergebnisse der Studie 03_07 Innovative Gebäudekonzepte im Vergleich, ACR, 2014</i>	<i>15</i>
9	Ergebnisse zu Frage E: Wissenschaftliche Qualität der Studien	15
9.1	<i>Normenrecherche zur Wissenschaftlichen Qualität</i>	<i>15</i>
9.2	<i>Defizite der Primärstudien in Hinsicht auf die Durchführbarkeit einer Metastudie.....</i>	<i>16</i>
10	Abschließende Bemerkungen	18

1 Hintergrund

Die EU-Anforderung zur Berechnung kostenoptimaler Anforderungsniveaus an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden sowie die überproportional ansteigenden Kosten für Wohnraum haben zu einer kontrovers geführten gesellschaftlichen und politischen Debatte, flankiert von zahlreichen wissenschaftliche und gesellschaftspolitischen Beiträgen geführt.

Brennpunkte der Diskussion sind die Niveaus der Kostenoptimalität von Anforderungsniveaus an die Energieeffizienz, wobei sowohl das Ergebnis ihrer rechnerischen Ermittlung als auch vermehrt die reale Belastbarkeit der errechneten Ergebnisse diskutiert werden. Im Zuge der Analysen zur Kostenoptimalität werden auch weiterführende vergleichende Analysen etwa von unterschiedlichen Bauweisen vorgenommen.

Vor diesem Hintergrund wurden in der hier vorgestellten Arbeit eine Anzahl von insgesamt 26 Studien, die im Zeitraum 2009 bis 2013 zu diesem Spannungsfeld publiziert wurden, flankiert von 10 relevanten Normen und Regelwerken, im Umfang von insgesamt mehr als 3.000 Seiten, im Rahmen einer erweiterten Matestudie systematisch nach fünf Hauptfragestellungen analysiert. Alle berücksichtigten Publikationen sind öffentlich, größtenteils kostenfrei, erhältlich.

Der vorliegende Konferenzbeitrag stellt die Methodik und ausgewählte Ergebnisse in stark geraffter Form vor. Die zugrundeliegende Studie umfasst einen Endbericht von 150 Seiten, dessen Veröffentlichung dem Auftraggeber, FV Stein u Keramik, obliegt.

2 Fragestellungen

Folgende Fragestellungen waren Gegenstand der Analysen:

- A Welche Niveaus des rechnerischen Kostenoptimums der Gesamtenergieeffizienz werden bei den unterschiedlichen Publikationen ermittelt?
- B Welche Konsistenz oder Divergenz der dahingehenden Rechenergebnisse liegt im Vergleich mit dokumentierten praktischen Erfahrungen vor?
- C Werden mittelbare ökonomische, ökologische und soziale Wechselwirkungen von Baumaßnahmen außerhalb der Systemgrenzen der LCA ergebnisrelevant berücksichtigt?
- D Zeigt sich eine Signifikanz von Kostenunterschieden von Bauten aus überwiegend mineralischen Baustoffen gegenüber Bauten aus überwiegend Leichtbaumaterialien?
- E Wie ist das Niveau der wissenschaftlichen Qualität der untersuchten Studien einzuschätzen, etwa hinsichtlich Art und Umfang des Datenmaterials, Vollständigkeit der berücksichtigten Randbedingungen, Objektivität und Nachvollziehbarkeit der Schlussfolgerungen?

3 Liste der berücksichtigten Publikationen

Gruppe 1 – Berechnungsmethoden von Lebenszykluskosten

01_01 Lebenszykluskosten, Donau-Universität Krems, 05_2009

Gruppe 2 – Rechnerische Ermittlung von Kostenoptimalität

02_01 Kostenoptimalität, e7, 11_2012

02_02 Kostenoptimalität, energy agency, 12_2012

02_03 Kostenoptimalität TU-Wien, Bednar, 2013

02_04 Kostenoptimalität, OIB, 03_2014

02_05 Nearly Zero Energy Buildings, Ecofys, 03_2013

02_06 *Kostenoptimalität, OIB, 03_2013 (unvollst. Version von 02_04)*

02_07 *Kostenoptimalität, e7, 09_2013 (Auszug aus 02_01)*

02_08 *Kostenoptimales Anforderungsniveau für Wohnungsneubauten in Vbg, e7+EIV, 2013*

Gruppe 3 – Weiterführende Parameterstudien

03_01 *Bauen 2020 - Gebäudesystemvergleich, DUK, 11_2012*

03_02 *Wachstumswirkungen der KfW-Programme, Prognos, 03_2013*

03_03 *Wohnbauförderung in Österreich 2012, IIBW, 09_2013*

03_04 *Wohnkomfort und Heizwärmeverbrauch im PH und NEH, Rhomberg, 03_2013*

03_05 *Das Passivhaus in der Praxis, EIV, 03_2013*

03_06 *Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit, gbv, 10_2013*

03_07 *Innovative Gebäudekonzepte im Vergleich, ACR, 2014*

03_08a *Energetische Bewertung hocheffizienter Gebäude, klima:aktiv, 01_2014*

03_08b *Hocheffiziente Wohngebäude mit geringstem Primärenergieeinsatz, EIV, 01_2014 (Auszug aus 03_08a)*

03_09 *Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung, bm:vit, Nachhaltig Wirtschaften, 06_2012*

03_10 *Sensitivitätsanalyse von Gebäudeökobilanzen, Holger König, 03_2012*

03_11 *ÖNORM plusenergiegebäude, Entwicklung des ersten rechtssicheren Nachweisverfahrens für Plusenergiegebäude durch komplette Überarbeitung der ÖNORMEN Rosenberger, Bednar et al, 10_2012*

03_12 *Nachhaltigkeits-Monitoring ausgewählter Passivhaus-Wohnanlagen in Wien, Treberspurg, Smutny et al, 12_2009*

03_13 *Linking Low Carbon Technologies with Low Carbon Society: Energie 2050: Anforderungen an die Technologiepolitik zur Eindämmung des Rebound-Effektes, Kanatschnig, Lacher, 10_2012*

03_14 *Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption, Sunikka-Blank and Galvin, 2012*

03_15 *Ermittlung und Evaluierung der baulichen Mehrkosten von Passivhausprojekten, Schöberl, Lang, Handler, 2011*

03_16 *Betriebskosten- und Wartungskostenvergleich zwischen Passivhäusern und Niedrigenergiehäusern, Schöberl, Hofer, 2012*

Gruppe 4 - Absichtserklärungen und Arbeitspapiere der Österr. Bundesregierung

04_01 *Leistbares Leben, bm:wfj, 03_2013*

04_02 *Arbeitsprogramm der österr. Bundesregierung 2013 bis 2018*

Gruppe 5 – Normen

05_01 *ÖNORM EN 15643-1 bis -4 Nachhaltigkeit von Bauwerken, 2010 bis 2012*

05_02 *ÖNORM EN ISO 14040 Umweltmanagement - Ökobilanz 11_2009*

05_03 *EN 15978: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode, 10_2012*

05_04 *ÖNORM EN ISO 14044 Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen, 10_2006*

05_05 *ÖNORM EN ISO 14025 Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Typ III Umweltdeklarationen - Grundsätze und Verfahren, 07_2010*

- 05_06 ISO 15686-1 und -9: Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 1: General principles and framework; Buildings and constructed assets. Service-life planning. – Part 9: Guidance on assessment of service-life data, 05_2011
- 05_07 ISO 21931-1: Sustainability in building construction - Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works - Part 1: Buildings, 06_2010
- 05_08 ISO 15392: Sustainability in building construction - General principles, 05_2008

Gruppe 6 – Regelwerke des EU Parlaments, Rates und der Kommission

- 06_01 Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung)
- 06_02 Delegierte Verordnung (EU) Nr. 244/2012 der Kommission vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden durch die Schaffung eines Rahmens für eine Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten
- 06_03 Leitlinien zur delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/2012 der Kommission vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden durch die Schaffung eines Rahmens für eine Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten (2012/C 115/01)

4 Methodik

Methodisch wurde nach dem Prinzip einer Metastudie, also der Zusammenführung der Ergebnisse von Primärstudien zu Metadaten unter Heranziehung quantitativer und statistischer Methoden. Eine im Zuge des Vorhabens durchgeführte Vorstudie hat allerdings gezeigt, dass für selbst in der Vielzahl der berücksichtigten Studien zu keiner der zu diskutierenden Fragestellungen eine in Zahl und Vergleichbarkeit ausreichende Datenbasis aus Primärstudien vorgelegen ist, um eine klassische Metastudie durchführen zu können. Es wurde daher zu jeder der untersuchten Fragen zusätzlich eine qualitativ vergleichende Interpretation der jeweils spezifisch relevanten Primärstudien vorgenommen, deren Ergebnisse nachfolgend in Ausschnitten erläutert wird.

5 Ergebnisse A: Niveaus des rechnerischen Kostenoptimums der Gesamtenergieeffizienz

Untersucht wurden die folgenden acht Studien in Verbindung mit den folgenden drei EU-Regelwerken zur Berechnungsmethodik der Kostenoptimalität. Fünf der Studien haben explizit die Ermittlung des kostenoptimalen Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz zum Inhalt.

- 02_01 Kostenoptimalität, e7, 11_2012
- 02_02 Kostenoptimalität, energy agency, 12_2012
- 02_03 Kostenoptimalität TU-Wien, Bednar, 2013
- 02_04 Kostenoptimalität, OIB, 03_2014
- 02_08 Kostenoptimales Anforderungsniveau für Wohnungsneubauten in Vbg, e7+EIV, 2013
- 03_01 Bauen 2020 - Gebäudesystemvergleich, DUK, 11_2012
- 03_07 Innovative Gebäudekonzepte im Vergleich, ACR, 2014

- o3_09 Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung, bm:vit, Nachhaltig Wirtschaften, o6_2012
- o6_01 Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung)
- o6_02 Delegierte Verordnung (EU) Nr. 244/2012 der Kommission vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden durch die Schaffung eines Rahmens für eine Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten
- o6_03 Leitlinien zur delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/2012 der Kommission vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden durch die Schaffung eines Rahmens für eine Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten (2012/C 115/01)

Nachdem die Methode zur Ermittlung der Kostenoptimalität des Anforderungsniveaus seitens der EU detailliert festgelegt wurde, besteht zwischen den fünf explizit zu diesem Zweck verfassten Studien eine weitreichende Vergleichbarkeit, etwa hinsichtlich des einheitlichen Betrachtungszeitraums von 30 Jahren für Wohngebäude und öffentliche Gebäude sowie von 20 Jahren für gewerbliche Gebäude/Nichtwohngebäude. Die Studien wenden den Teilkostenansatz an. Restwerte und zwischenzeitliche Erhaltungskosten werden berücksichtigt, allerdings nur für die energetisch relevanten Bauteile, also nicht für sonstige Rohbaustrukturen. Divergenzen liegen vor in der Definition der Referenzgebäude oder in den Kennzahlen, die in den Studien zur Beschreibung der Gesamtenergieeffizienz herangezogen werden (HWB, HEB, PEBne oder PEGesamt).

Jene fünf Studien, die gezielt das Kostenoptimum von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz im Sinne der EU-Richtlinie untersuchen, geben für dieses eine Bandbreite zwischen etwa 10er- und der 14er-Linie des HWB im Sinne des Nationalen Plans an.

Sie bestätigen durchwegs, dass das Kostenoptimum ungeachtet seiner genauen Lage bis jedenfalls zur 10er-Linie einen „flachen“ Verlauf aufweist, dass also das Niveau der 10er-Linie laut Nationalem Plan entweder kostenoptimal oder mit moderaten Mehrkosten von etwa 10 EUR/m² erzielt werden kann.

Bestätigt wird in der Studie o2_01 auch eine weitgehende Stabilität dieser Ergebnisse gegenüber Verschiebungen der Randbedingungen, wie veränderte Finanzierungskosten, Nutzungsdauern und Energiepreise.

Der Effekt von Wohnraumlüftungsanlagen mit WRG wird von mehreren der untersuchten Studien mit einer Senkung des Nutzwärmebedarfs ca. 15 kWh/m²_{BGF} bei einer Steigerung der Gesamtkosten in der Höhe von 60-100 EUR/m²_{BGF} angegeben (summiert über den gesamten Betrachtungszeitraum von 30 Jahren).

Der Effekt von Solaranlagen zur Warmwasserbereitung wird von mehreren der untersuchten Studien mit einer Senkung des Endenergiebedarfs in der Größenordnung von 15 kWh/m²_{BGFA} angegeben, bei geringen Kostenanstiegen in der Größenordnung von 10 EUR/m²_{BGF} (summiert über den gesamten Betrachtungszeitraum von 30 Jahren).

Nicht explizit zum Zweck der Kostenoptimalitätsfeststellung wurden auch in der Studie o3_07, Innovative Gebäudekonzepte im Vergleich, ACR, 2014, Kostenvergleiche unterschiedlicher Niveaus der Gesamtenergieeffizienz ermittelt. Für ein exemplarisch definiertes EFH wurde bei einer angenommenen Nutzungsdauer des Gebäudes von 100 Jahren die Ermittlung der Gesamtkosten über den Lebenszyklus (LCC) in Anlehnung an die ÖNORM EN 15643-4 Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden - Teil 4: Rahmenbedingungen für die Bewertung der ökonomischen Qualität vorgenommen. Es wird ein Berechnungszeitraum von 50 Jahren gewählt. In der Herstellung werden die vollständigen

Bauwerkskosten berücksichtigt, also die Kostengruppen 2 bis 4 laut ÖNORM B 1801-1 Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 1: Objekterrichtung. Die Kostenermittlungen erfolgen auf der Ebene von vollständigen Leistungsverzeichnissen, die von einem großen österreichischen Bauunternehmen ausgepreist wurden, unter Berücksichtigung branchenüblicher Nachlässe und Zusatzkosten. Ersatz und Restwerte sowie die gesamten Betriebskosten werden berücksichtigt und als Gesamtbarwerte der Gebäudekosten über 50 Jahre Durchrechnungszeitraum, bezogen auf die Nutzfläche, angegeben.

Die Gebäudevarianten Niedrigenergiehausstandard und Sonnenhaus werden mit $HWB_{OIB} = 40 \text{ kWh/m}^2_{BGFa}$ modelliert, jene in Passivhaus- und Plusenergiestandard mit $HWB_{OIB} = 10 \text{ kWh/m}^2_{BGFa}$.

Die Gesamtbarwerte aller untersuchten Gebäudevarianten aus Errichtung und Betrieb, letztere inklusive Energiekosten, Wartung, Reparatur und Ersatz, über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren, erreichen einen Mittelwert von 2.673,- EUR/m²_{NGF}, bei einer Bandbreite $\pm 14\%$ oder $\pm 371 \text{ EUR/m}^2_{NGF}$ um den Mittelwert.

Die Gruppe der Niedrigenergiehäuser wird in dieser Studie mit einem Mittelwert der Gesamtbarwerte über alle Baustoffkategorien und Wärmeerzeuger von 2.520 EUR/m²_{NGF} als der kostengünstigste Energiestandard ausgewiesen. Die Gruppe der Sonnenhäuser wird mit einem Mittelwert der Gesamtbarwerte von 2.735 EUR/m²_{NGF}, jene der Passivhäuser mit 2.767,- EUR/m²_{NGF} und jene der Plusenergiehäuser mit 2.785,- EUR/m²_{NGF} dokumentiert.

6 Ergebnisse B: Berechnetes Kostenoptimum im Vergleich zu praktischen Erfahrungen

Mit der Frage B befassen sich die folgenden fünf der untersuchten Studien, mit sehr unterschiedlichen methodischen Ansätzen. Es ist daher keine Zusammenfassung der Ergebnisse sinnvoll möglich und wird daher eine einzelne Diskussion vorgenommen.

6.1 Ergebnisse der Studie 03_04 Wohnkomfort u Heizwärmeverbrauch im PH und NEH, rhomberg, 03_2013

Die Studie dokumentiert ein vergleichendes Monitoring des Innenraumkomforts, der NutzerInnenzufriedenheit und des Energieverbrauchs an je vier Wohnungen von zwei in ihrer Gebäudeform gleichartigen Wohngebäude desselben Bauträgers am selben Standort, eines im Passivhausstandard, mit $HWB_{OIB} < 10 \text{ kWh/m}^2_{BGFa}$, das andere ein Niedrigenergiehaus mit $HWB_{OIB} = 33 \text{ kWh/m}^2_{BGFa}$.

Die Studie überrascht mit dem Ergebnis, wonach das Niedrigenergiehäuser und das Haus in Passivhausstandard einen nahezu gleich hohen Heizwärmeverbrauch (Messung am Wohnungszähler) von ca. 40 kWh/m^2_{BGF} aufweisen, womit im Niedrigenergiehaus gegenüber den Berechnungen ein Mehrverbrauch an Nutzwärme für Raumheizung von 5 kWh/m^2_{BGFa} dokumentiert wird, im Passivhaus gar einer von $33 \text{ kWh/m}^2_{BGFa}$.

Bei Analyse der Ergebnisse zeigen sich Hinweise auf die Gründe dieser hohen Abweichung: So sind im Energieausweis die solaren Gewinne deutlich zu optimistisch angenommen. So sind die Passivhäuser mit einer Belegungsichte von 60 m^2 Wohnfläche pro Person ungewöhnlich spärlich bewohnt, während die Lüftungsanlagen dennoch mit einem in diesem Fall hygienisch nicht erforderlichen Luftwechsel von $0,4 \text{ 1/h}$ betrieben werden. Weiters werden 240 Betriebstage der Heizungsanlage dokumentiert, was auf ein deutliches Optimierungspotenzial in der Regelung hinweist.

Die Studie legt über die energetische Analyse hinaus auch Befragungsergebnisse zum NutzerInnenkomfort vor. Siehe diesbezüglich Kapitel Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden., Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..

6.2 Ergebnisse der Studie 03_06 Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit, gbv, 10_2013

Es handelt sich bei dieser Studie um ein Energie- und Kostenmonitoring von 321 Objekten (Wohnanlagen) österreichischer gemeinnütziger Bauträger mit insgesamt 14.220 Wohnungen aus dem Errichtungszeitraum von „vor 1945“ bis „nach 2006“ in 8 österreichischen Bundesländern. Der rechnerisch ermittelte HWB_{OIB} der untersuchten Objekte erstreckt sich im österr. Referenzklima von „ $HWB < 12 \text{ kWh/m}^2_{BGFa}$ “ bis „ $HWB > 125 \text{ kWh/m}^2_{BGFa}$ “. Die Studie wurde durchgeführt vom Österreichischen Verband der gemeinnützigen Bauvereinigungen.

Die Studie liefert als zentrales Ergebnis den Zusammenhang, wonach der gemessene Heizenergieverbrauch (Nutzwärme Raumheizung plus Wärmeverteilung, -speicherung und -erzeugung) im Mittel gleich hoch ist wie der errechnete Heizwärmebedarf (HWB), nämlich $59 \text{ kWh/m}^2_{BGFa}$, bei Gebäuden mit niedrigem HWB aber über diesem und bei Gebäuden mit hohem HWB aber unter diesem liegt. Bei einer Bandbreite des HWB von rund 1:10 (15 bis $150 \text{ kWh/m}^2_{BGFa}$) weist demnach der gemessene Heizenergieverbrauch nur eine Bandbreite von 1:3,33 (30 bis $100 \text{ kWh/m}^2_{BGFa}$) auf.

Hinsichtlich der Betriebskosten wird im Bereich von $HWB < 12 \text{ kWh/m}^2a$ bis $HWB 51$ bis 60 kWh/m^2a ein flacher Verlauf zwischen 60 und $70 \text{ Cent/m}^2_{NFmon}$ ermittelt, mit dem absolut niedrigsten Wert in der Kategorie $HWB 21$ bis 30 kWh/m^2a , bereits inklusive Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung, was im Sinne des Nationalen Plans bei einer angenommenen mittleren charakteristischen Länge von $2,3 \text{ m}$ einem Wärmeschutzstandard etwa der 16er-Linie (ohne Berücksichtigung des Effekts der Lüftungsanlage) entspricht.

Hinsichtlich der Errichtungskosten wird aus einer Teilmenge von 55 Objekten zwischen den Baukosten der Objekte in der Klasse von Heizwärmebedarf $30 - 40 \text{ kWh/m}^2_{BGFa}$ und der Klasse der Niedrigstenergie- und Passivhäuser mit $< 20 \text{ kWh/m}^2_{BGFa}$ nach regionaler Bereinigung ein Baukostenunterschied von ca. $110 \text{ Euro/m}^2_{WNF}$ bzw. 7% angegeben.

Aus den Ergebnissen der Studie werden abgeleitet: Erstens die Anregung, die Anforderungen des Nationalen Plans noch einmal zu überdenken. Zweitens seine Anforderungen gleichzusetzen mit den Mindestanforderungen der Wohnbauförderungen und abzugehen von der Praxis, wonach die Wohnbauförderungen stets noch die energetischen Anforderungen der Bauordnung übertreffen. Drittens wird angeregt, weiterhin die Möglichkeit der Förderung von Teilsanierungen zu bieten.

In Ihrem Umfang und auch Ihrer schlüssigen Aufarbeitung ist die Studie zweifellos ein wertvoller Beitrag zur eingangs genannten Diskussion. Aus der Analyse ihrer Ergebnisse stellen sich aber mehrere Fragen hinsichtlich der Art und Ausgewogenheit der nicht offengelegten Stichprobe, umso mehr als einige Ergebnisse offensichtlich stark von Eigenschaften der einzelnen Wohnanlagen geprägt sind, die nicht nachvollzogen werden können: So bedarf etwa die starke Abweichung des Heizenergieverbrauchs zwischen den Gruppen $HWB 41$ bis $50 \text{ kWh/m}^2_{BGFa}$ mit oder ohne Lüftungsanlage einer Erklärung. Und so deutet etwa der verblüffend niedrige Heizenergieverbrauch ausgerechnet der thermisch schlechtesten Gruppe $HWB 125+$ auf markante Besonderheiten dieser Wohnanlage(n) hin, möglicherweise auf Teilleerstände.

6.3 Ergebnisse der Studie 03_12 Nachhaltigkeits-Monitoring ausgewählter Passivhaus-Wohnanlagen in Wien, Treberspurg, Smutny et al, 12_2009

Es handelt sich bei dieser Studie um ein Energiemonitoring und um eine Zufriedenheitsanalyse von 6 Wiener Wohnanlagen im Passivhausstandard und weiteren 12 Wiener Wohnanlagen im Niedrigenergiehausstandard. Das Energiemonitoring umfasst 1.367 Wohnungen, wovon 492 den Passivhausstandard erfüllen. Die Zufriedenheitsanalyse umfasst 381 Wohnungen, wovon 225 den Passivhausstandard erfüllen. Die Studie erfasst alle Wiener Passivwohnhäuser mit mindestens 15 Wohnungseinheiten, die zum Beginnzeitpunkt der Studie seit mehr als einem Jahr in Betrieb waren. Die Studie wurde durchgeführt an der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), von der Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen, unter der Leitung von Univ. Prof. DI Dr. Martin Treberspurg.

Als wesentliches energietechnisches Ergebnis dieser umfangreichen Studie ergibt sich:

Im Mittel stimmt der Heizwärmebedarf, allerdings nach Anpassung an 23°C Innentemperatur und an reale Klimabedingungen, sowohl bei den Passivhäusern als auch bei den Niedrigenergiehäusern gut mit dem gemessenen Heizwärmeverbrauch überein. Bei den Passivhäusern ergibt sich im Mittel sogar eine Unterschreitung der berechneten, aber wie beschrieben angepassten, Werte in der Größenordnung von 15%.

Die berechneten Verluste der Heizungstechnik, der Heiztechnikenergiebedarf (HTEB), stimmen im Mittel bei den Niedrigenergiehäusern gut mit den gemessenen Werten überein. In den Passivhäusern werden die berechneten Verluste der Heizungstechnik im Mittel von den gemessenen nennenswert überstiegen.

Insgesamt bestätigt diese umfangreiche Studie sowohl für Passivhäuser als auch für Niedrigenergiehäuser die Prognostizierbarkeit des Energieverbrauchs, zumindest gemittelt über ganze Wohnanlagen und unter der Voraussetzung eines berechneten Wärmebedarfs, der an die realen Innenraumtemperaturen und an die realen Klimabedingungen angepasst wird.

In der Studie nicht berücksichtigt wird der Hilfsstrombedarf für die gebäudetechnischen Komponenten, weder in den berechneten Bedarfswerten noch in den gemessenen Verbrauchswerten.

Die Studie enthält keine Vergleiche zwischen veranschlagten und realen Betriebskosten.

Die Studie legt auch eine umfangreiche umweltspsychologische Evaluation vor. Siehe diesbezüglich Kapitel 7.2, **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..**

6.4 Ergebnisse der Studie 03_15 Ermittlung der baulichen Mehrkosten von Passivhausprojekten, Schöberl, 2011

Die Studie ermittelt rechnerisch auf der Ebene der Bauwerkskosten die Mehrkosten von vier Wiener Passivhaus Wohnbauprojekten der Errichtungsjahre 2006 bis 2010 gegenüber der jeweils fiktiven Ausführung in Niedrigenergiebauweise laut den Mindestanforderungen der Wr. Wohnbauförderung zu jeweiligen Errichtungszeitraum. Darüber hinaus werden diese ermittelten Mehrkosten jenen gegenübergestellt, die für die Passivhäuser des Passivhaus Demonstrationsbauvorhaben CEPHEUS dokumentiert sind (Errichtungsjahre 1998 bis 2001).

Für die untersuchten vier Wiener Passivhäuser werden für das Erreichen des Passivhausstandards, ausgehend vom jeweiligen Niedrigenergiehausstandard, Mehrkosten von 4% bis 6% der Bauwerkskosten errechnet, zuzüglich weiterer 2%, wenn nicht auf ein statisches Wärmeabgabesystem verzichtet wurde. Bei den Passivhäusern der CEPHEUS-Initiative lagen die errechneten Mehrkosten zwischen 0% und 17% bzw. im Durchschnitt bei 10% der Bauwerkskosten.

6.5 Ergebnisse der Studie 03_16 Betriebskosten- und Wartungskostenvergleich zwischen Passivhäusern und Niedrigenergiehäusern, Schöberl, Hofer, 2012

Auf Basis eines Energiemonitorings über zwei Heizsaisonen an 10 Passivhäusern (5 MFH, 5 EFH) und 8 Niedrigenergiehäusern (5 MFH, 3 EFH) leistet die Studie einen Betriebs- und Wartungskostenvergleich von Passiv- und Niedrigenergiehäusern. Für die folgenden fünf Kostenfaktoren werden die Kosten ermittelt und deren Mittelwerte vergleichend gegenübergestellt: Nutzwärme für Raumheizung, Ablesung und Abrechnung der Heizkosten, Wartungskosten Lüftungsanlage, Stromkosten Lüftungsanlage, Rauchfangkehrung.

Zur Ermittlung der Kostenunterschiede für Raumheizung wurde nur die Deckung des innenraumtemperatur- und klimabereinigten wohnungsweise gemessenen Nutzwärmebedarfs für Raumheizung kostenseitig berücksichtigt, nicht also Wärmeverluste durch Wärmeerzeugung, -verteilung, -speicherung und -abgabe. Wenn erforderlich wurde dieser Nutzwärmeverbrauch unter Annahme von Verteilverlusten von 35% der Nutzwärme aus dem Endenergieverbrauch rückgerechnet. Für die untersuchten fünf Passivhäuser bewegen sich die so ermittelten Verbrauchskennzahlen innerhalb einer Bandbreite von 15% unter bis 30% über dem HWB. Für die Niedrigenergiehäuser wurden die analogen, wieder klimabereinigten, Verbrauchskennzahlen innerhalb einer Bandbreite von 20% unter bis 5% über dem HWB ermittelt.

Unter den angesetzten Randbedingungen ergeben sich in den oben genannten Kostenkategorien mittlere Minderkosten der Objekte in Passivhausbauweise im Vergleich zu den Objekten in Niedrigenergiebauweise von $2,10 \text{ EUR/m}^2_{\text{NGFA}}$, gleichlautend sowohl in der Gruppe der Mehrfamilienhäuser als auch in der Gruppe der Einfamilienhäuser.

7 Ergebnisse zu Frage C: Berücksichtigung von Lebensdauer und sonstigen Wechselwirkungen

Untersucht wurde, ob in den analysierten Studien über die Aspekte der Gesamtenergieeffizienz und Kostenoptimalität hinaus auch mittelbare ökonomische, ökologische und soziale Wechselwirkungen, im Zusammenhang etwa mit Lebensdauer und Werthaltigkeit von Baumaßnahmen, berücksichtigt werden. Es hat sich jedoch gezeigt, dass auf Grund der spezifischen Herangehensweisen in den Studien die Durchführung einer Metastudie nicht durchgeführt werden kann. Es wurden daher Einzelaspekte dieser Frage anhand der spezifisch relevanten Studien und einer Normenrecherche erörtert.

7.1 Berücksichtigung der Lebensdauer von Baumaßnahmen

Bei allen vergleichenden Analysen von Wirkungsendpunkten von Baumaßnahmen, seien es Kosten, Umweltwirkungen oder kulturelle und soziale Wirkungen, ist eine Annahme des Betrachtungszeitraums und der Nutzungsdauern von Gebäudekomponenten festzulegen. Zahlreiche der untersuchten Studien haben solche Festlegungen getroffen. Etwa:

30 Jahre kalkulatorische Nutzungsdauer gemäß ÖNORM M7140, VDI RL 2067 sowie EN 15459, sowie laut EU Leitlinien zur Delegierten Verordnung betreffend Wohngebäude: 02_01 (e7), 02_02 (Austrian Energy Agency) 02_06 (OIB), 02_08 (Energieinstitut Vorarlberg und e7), 03_01 (DUK)

30 Jahre kalkulatorische Nutzungsdauer ohne Angabe konkreter normativer Grundlagen: 02_03 (TU-Wien)

35 Jahre kalkulatorische Nutzungsdauer ohne Angabe konkreter normativer Grundlagen: 03_06, (gbv)

Betrachtungszeitraum bis 2050 ohne Angaben konkreter normativer Grundlagen: 03_09 (bm:vit)

100 Jahre kalkulatorische Nutzungsdauer: ohne Angaben konkreter normativer Grundlagen: 03_07 (ACR)

Explizit unterschiedliche Nutzungsdaueransätze sensitivitätsanalytisch untersucht haben:

02_01 (e7) die Auswirkung einer kalkulatorisch verringerten Nutzungsdauer von Wärmedämmung sowie

03_10: König H. und De Cristofaro L.: Sensitivitätsanalyse von Gebäudeökobilanzen, die Auswirkungen kalkulatorischer Gebäude-Nutzungsdauern von 30 bis 150 Jahren auf normativer Grundlage von DIN 276 und VDI 2067.

Anhand eines exemplarischen dreigeschoßigen Wohngebäudes werden die Lebenszykluskosten und die Umweltauswirkungen des Gebäudes für unterschiedliche Nutzungsdauern von 30 bis 150 Jahren berechnet. Das Gebäude ist bautechnisch definiert als mit AW aus Kalksandstein mit Vollwärmeschutz, mit Decken aus Stahlbeton, mit einem Wärmeschutzniveau laut KfW 70 (EnEV 2009), was einem HWB von $36 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF}}$ entspricht, mit zusätzlicher Berücksichtigung von Warmwasserbedarf und Hilfsstrombedarf, mit Beheizung mittels Gasbrennwertkessel.

Der Barwert der Lebenszykluskosten ergibt sich bei 30 Jahren kalkulatorischer Nutzungsdauer zu $1.090 \text{ €/m}^2_{\text{BGF}}$ und steigt bei einer kalkulatorischer Nutzungsdauer von 150 Jahren um 35% auf $1.470 \text{ €/m}^2_{\text{BGF}}$. Der Anteil der Nutzungskosten an den gesamten Lebenszykluskosten steigt dabei von 29% bei 30 Jahren auf 48% bei 150 Jahren, wobei die stärkste Zunahme bei den Instandsetzungskosten zu verzeichnen ist.

Die annuitätischen Umweltauswirkungen, etwa am Beispiel des Treibhauspotenzials, sinken von 19 kgCO₂/m²_{NGFA} bei 30 Jahren kalkulatorischer Nutzungsdauer um 37% auf 12 kgCO₂/m²_{NGFA} bei 150 Jahren kalkulatorischer Nutzungsdauer. Bei 30 Jahren kalkulatorischer Nutzungsdauer hat das Gebäude, als Summe aus Errichtung, Instandsetzung und Entsorgung, daran einen Anteil von 69%; bei 150 Jahren nur mehr einen Anteil von 50%.

Die Studie kommt zum Schluss, dass der Anteil der Primärkonstruktion auf das Gesamtergebnis der Ökobilanz für alle Indikatoren bei einem längeren Betrachtungszeitraum stark abnimmt, dass daher umgekehrt besonders langlebige Bauteile bei einem kurzen Betrachtungszeitraum in einer Gebäudebilanz mit Entsorgungsszenario am Ende des Betrachtungszeitraum in der Ökobilanz gegenüber weniger haltbaren Bauteilen ungünstig abschneiden. Um einer aus dieser Rechenmethodik folgenden Tendenz zur frühen Obsoleszenz der Bauteile entgegenzuwirken, regt der Autor die Diskussion folgender Lösungen an:

1. Verlängerung des Betrachtungszeitraums bei der Ökobilanz auf 100 oder 150 Jahre.
2. Einführung eines Bonus für Bauteile mit langer Nutzungsdauer ähnlich dem Recyclingpotenzial der Metalle.
3. Berücksichtigung von Gutschriften für Bauteile mit längerer Nutzungsdauer entsprechend ihres noch nicht ausgeschöpften Nutzungsrestwerts.
4. Primärkonstruktionen erhalten prinzipiell eine Gutschrift von mind. 50 % ihres Herstellungsaufwands.

Vorschlag 3. entspricht sinngemäß der Vorgehensweise zur Berücksichtigung von Restwerten, wie er in den Studien zur Kostenoptimalität laut EU Leitlinien zur delegierten Verordnung zumindest für die LCC-Berechnungen angewandt wurde.

Weiters bestätigen die Ergebnisse aus 03_07 Innovative Gebäudekonzepte im Vergleich, ACR, 2014, dass sich bei einer Nutzungsdauerannahme von 100 Jahren in der Ökobilanz von Gebäuden so gut wie keinerlei Unterschiede aus der Art der Primärkonstruktion (Massivbau oder Leichtbau) ergeben.

7.2 Wechselwirkungen zwischen Energieeffizienz, Kostenoptimalität und Komfort

Soziale Nachhaltigkeitsaspekte werden in Zusammenhang mit Innenräumlichen Komfort sowie Wohnzufriedenheit in den folgenden Studien berücksichtigt, in 03_04 und in 03_12 auch vergleichend im Sinne einer Sensitivitätsanalyse:

- 03_04 Rhomberg: Wohnkomfort und Heizwärmeverbrauch im PH und NEH und
- 03_09 bm:vit: Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung
- 03_12 Treberspurg, Smutny et al.: Nachhaltigkeits-Monitoring ausgewählter Passivhaus-Wohnanlagen in Wien

In der Studie 03_09, bm:vit werden die Parameter von PMV und PPD laut EN ISO 7730 für die prognostizierte Komfortbeurteilung der Raummodelle herangezogen. Als Ergebnis wird dokumentiert, dass sich höhere Dämmstärken hinsichtlich des Primärenergiebedarfs positiv zu bewerten sind. Ebenso positiv wirkt sich ein niedriger U-Wert der Fassadenelemente auf die Behaglichkeit im Heizbetrieb aus. Die Beeinflussung der Behaglichkeit durch eine Verbesserung der thermischen Hülle fällt zwar negativ im Kühlbetrieb auf, ist aber durch Anbringung einer außenliegenden Verschattung weitestgehend kompensierbar.

Methodisch kritisch ist anzumerken, dass die Untersuchung der Innenraumbehaglichkeit mit Methoden und Definitionen aus dem Bürobereich vorgenommen wurde, deren Übertragbarkeit auf die Wohnsituation beschränkt ist.

In der Studie 03_04, Rhomberg: Wohnkomfort und Heizwärmeverbrauch, wurden

an zwei gleichartigen Wohnobjekten, die sich vorwiegend nur durch ihre Dämmstandards und der diesen Dämmstandards entsprechend unterschiedlichen Gebäudetechnik voneinander unterschieden, vergleichende Messungen und Befragungen zum Wohnkomfort durchgeführt. Im Rahmen eines Gebäudemonitorings wurden die Raumtemperaturen, die Raumluftqualitäten Luftfeuchte und CO₂-Konzentration, Luftstromgeschwindigkeit, Beleuchtungsstärke, Schalldruckpegel, niederfrequente elektrische und hochfrequente elektromagnetische Strahlungen aufgezeichnet und wurden weiters mit bis zu monatlichen Abfragen die persönlichen Wahrnehmungen erhoben. Abgefragt wurden dabei folgende Kriterien, die guten Wohnkomfort nach Buber bezeichnen: gute Luftqualität beschrieben als Frischluft und angenehme Luftfeuchtigkeit, Wärme- bzw. Temperaturempfindung betreffend die Luft, den Fußbodens, die Badewanne, etc. Helligkeit der Räume und Sonnenlicht.¹

Über das gesamte Jahr betrachtet wurde in beiden Gebäudetypen von den BewohnerInnen die Raumtemperatur am Tage als angenehm eingestuft. Im Passivhaus waren das 87% aller Befragungen und im Niedrigenergiehaus waren das 98% aller Befragungen. In der Nacht waren das im Passivhaus 86% aller Befragungen und im Niedrigenergiehaus waren es 91% aller Befragungen.

Die Temperatur der Bodenoberfläche wurde im Passivhaus in 97% aller Befragungen als angenehm empfunden und im Niedrigenergiehaus in 93% aller Befragungen. Die Temperatur der Wandoberfläche wurde im Passivhaus und im Niedrigenergiehaus in 98% aller Befragungen als angenehm empfunden. Bei einer geringeren Oberflächentemperatur der Wand im Winter ist auch eine geringere Behaglichkeit der BewohnerInnen zu beobachten. Die Temperatur der Fensteroberfläche wurde im Passivhaus in 89% aller Befragungen als angenehm empfunden und im Niedrigenergiehaus in 98% aller Befragungen.

Die Luftfeuchtigkeit im Raum wurde im Passivhaus in 70% aller Befragungen als angenehm empfunden und im Niedrigenergiehaus in 86% aller Befragungen.

Festzuhalten bleibt, dass die verglichenen Samples jeweils gering und unterschiedlich groß waren. Die tendenziell bessere Bewertung des Komforts im Niedrigenergiehaus muss daher als Spezifikum betrachtet werden und kann nicht exemplarisch auf andere Gebäude übertragen werden.

In o3_12, Treberspurg, Smutny et al.: Nachhaltigkeits-Monitoring ausgewählter Passivhaus-Wohnanlagen in Wien, wurde zusätzlich zum Energiemonitoring eine umweltsychologische Evaluation (Post Occupancy Evaluation) von sechs der untersuchten Passivhaussiedlungen (225 Wohneinheiten) im Vergleich zu konventionellen Bauten (156 Wohneinheiten) durchgeführt. Dieser Studienteil wurde von Dr. Alexander G. Keul, Ass.Prof. Univ.Salzburg, Hon.Prof. TU Wien Umweltsychologie, Evaluationsforschung Fachbereich Psychologie, Universität Salzburg, durchgeführt. Überprüft wurden folgende Hypothesen:

1. Wohnzufriedenheit mit Passivhaus-Großwohnsiedlungen entspricht quantitativ jener in großen Altbauten. Es wird angenommen, dass sich Wohnen als komplexe, routinierte Alltagshandlung in verschiedenen Wohnformen nicht grundlegend unterscheidet und daher auch die Wohnzufriedenheit wenig differiert. Mit zeitlich zunehmender Mensch-Umwelt-Passung, teils durch Aneignung, teils resignativ, wächst auch die Wohnzufriedenheit.
2. Wohnen im Passivhaus wird von einer Zielgruppe bewusst gesucht, die sich von der Allgemeinbevölkerung systematisch unterscheidet.
3. Passivhaus-Wissen und –Interesse folgt dem allgemeinen Umweltbewusstsein und ist bei Passivhaus-Bewohnern, auch durch Alltagserfahrung, ausgeprägter als im Altbau.
4. Wohnzufriedenheit mit dem Passivhaus hängt von der kompetenten Vermittlung dieser Wohnform ab. Es wird angenommen, dass sich ein komplexes Objekt wie ein Passivhaus sich „naiv“ nicht erfolgreich aneignen lässt, sondern Vermittlung durch Experten („Technikmediation“) erforderlich wird.

¹ Buber, R., Gadner, J. & Höld, R. (2007). Wohnen in Passivhäusern. Der Einsatz des Fokusgruppeninterviews zur Identifikation von Wohlfühlkomponenten. In R. Buber & H. Holzmüller (Hrsg.), Qualitative Marktforschung, 2007, S. 825-845.

5. Probleme mit Raumtemperatur und –feuchte bewegen sich im selben Bereich wie bei Altbauten, werden aber verstärkt wahrgenommen. Über Probleme dieser Art wird seit den ersten Passiv-Großwohnbauten geklagt. Es wird angenommen, dass jeder Geschosswohnbau, besonders im ersten Winter ab Bezug („Trocknungsphase“), gewisse Schwächen bei der Temperatur- und Feuchteregulation aufweist, jedoch Passivhäuser durch ihre neuartige Heizung die Aufmerksamkeit ihrer Bewohner auf diesen Bereich fokussieren („Priming“), weshalb Abweichungen verstärkt wahrgenommen und negativ bewertet werden.

Hypothese eins wurde bestätigt und sogar übertroffen: Hohe Wohnzufriedenheit („sehr zufrieden“) bewegt sich in fünf der sechs untersuchten PH-Siedlungen (bis zu 80% sehr zufrieden) deutlich über jener der Referenzgruppe der Niedrigenergiehäuser (40% sehr zufrieden).

Hypothese zwei wurde nicht bestätigt. Die BewohnerInnen der Passivhäuser unterschieden sich nicht systematisch von der Allgemeinbevölkerung. Das Passivhaus stellte nur in einem der sechs untersuchten Passivhaussiedlungen ein nennenswertes Entscheidungsmerkmal dar.

Hypothese drei wurde bestätigt. Passivhaus-Wissen und –Interesse ist bei Passivhaus-Bewohnern ausgeprägter als in der Vergleichsgruppe.

Hypothese vier wurde bestätigt. Wohnzufriedenheit mit dem Passivhaus hängt von der kompetenten Vermittlung dieser Wohnform ab.

Hypothese fünf wurde weder bestätigt noch widerlegt. Es ergab sich eine höhere Unzufriedenheitsrate in Passivhäusern mit Raumtemperatur und –feuchte als in der Kontrollgruppe. Ob dieses Votum von realen Mängeln geprägt ist oder ein Ergebnis erhöhter Aufmerksamkeit ist, wurde nicht herausgearbeitet.

7.3 Normenexzerpt zu Wechselwirkungen von Ökologie und Sozialem

In keiner der untersuchten Studien finden sich Aussagen zu sozialen Auswirkungen von energie- oder kostenoptimierten Bauformen im übergeordneten Maßstab, etwa im städtebaulichen Kontext. Aber auch wesentliche Aspekte der Ökologie, wie Umweltwirkungen im Zusammenhang mit dem Verlust an Biodiversität werden nicht behandelt. Gerade letzteres ist umso erstaunlicher als der Biodiversitätsverlust als Wirkungsendpunkt in relevanten Grundlagenstudien als deutlich bedrohlicher eingeschätzt wird als beispielsweise der Klimawandel.^{2,3} Auch die Betrachtung von sozialen und weiterführenden Umweltindikatoren ist trotz deren Bedeutung und Wichtigkeit im Kontext einer nachhaltigen Entwicklung in den vorliegenden Studien nicht vorhanden.

Im Rahmen einer daher vorgenommenen Normenrecherche wurde daher untersucht, inwiefern derartige Aspekte in den einschlägigen Normen zur Gebäude-Ökobilanz enthalten und ihre Berücksichtigung eingefordert wird. Das Ergebnis ist eindeutig: Sozialen und weiterführenden Umweltindikatoren sind, normativ festgelegt, in Ökobilanzen zu berücksichtigen. Dazu gehören explizit auch Biodiversität, Ökotoxizität, Toxizität für den Menschen, Änderung der Landnutzung oder mögliche Grenzen einer effizienten Nutzungsweise des Produkts.

Es ist dringend einzufordern, dass sich der wissenschaftliche Diskurs um die Umweltwirkungen von Baumaßnahmen diese, in der Normung solar bereits festgelegten, Aspekte in die Betrachtung und Ableitung von Schlussfolgerungen mit einbezieht.

Einschlägige normative Quellen, die im Rahmen der Studie exzerpiert wurden, sind:

- 05_01 ÖNORM EN 15643-1 bis -4: Nachhaltigkeit von Bauwerken, 2010 bis 2012
- 05_03 EN 15978:2012-10: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode
- 05_04 ISO 14044:2006-10: Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen

² Rockström J., A safe operating space for humanity, Nature 461, 472-475, 2009

³ http://www.nature.com/news/specials/planetaryboundaries/images/main_bg5.jpg

- 05_05 ISO 14025:2010-7: Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Typ III Umweltdeklarationen - Grundsätze und Verfahren
- 05_07 ISO 21931-1:2010: Sustainability in building construction - Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works - Part 1: Buildings
- 05_08 ISO 15392: 2008: Sustainability in building construction - General principles

8 Ergebnisse zu Frage D: Kostenunterschiede der Bauweisen

Zur Frage nach dokumentierten Kostenunterschieden zwischen Bauweisen wurden die folgenden Studien analysiert.

- 02_02 Kostenoptimalität, energy agency, 12_2012
- 03_01 Bauen 2020 - Gebäudesystemvergleich, DUK, 11_2012
- 03_07 Innovative Gebäudekonzepte im Vergleich, ACR, 2014

Die übrigen Studien aus Kapitel 5 (Untersuchung der Frage A: Niveaus des rechnerischen Kostenoptimums der Gesamtenergieeffizienz) liefern zur spezifischen Fragestellung der Kostenunterschiede von Bauweisen keine auswertbaren Ergebnisse. Wegen der geringen Anzahl der verbleibenden Studien, der unterschiedlichen methodischen Ansätze und Umfänge der Kostenermittlung war von dem Ziel der Metastudie wieder Abstand zu nehmen zugunsten einer einzelnen qualitativen Diskussion der einzelnen Studien

8.1 Ergebnisse der Studie 02_02 Kostenoptimalität, energy agency, 12_2012

Die Studie 02_02 Kostenoptimalität, energy agency, bildet Referenzgebäude (MWB und EFH) in drei Konstruktionstypen (Ziegelmassivbau, Holzleichtbau und Holzmassivbau) in Wärmeschutzvarianten zwischen 16er und 8er_Linie im Sinne des Nationalen Plans ab. Als Methode der Kostenermittlung werden Absprachen mit ExpertInnen sowie ein Vergleich mit dem BKI (Baukosteninstitut der dt. Architektenkammern) genannt. Es werden nur die Kosten jener Komponenten angegeben, deren Variation die Gesamtenergieeffizienz direkt beeinflusst.

Auf dieser Basis werden für die Herstellung Mehrkosten der monolithischen Ziegelbauweise gegenüber der Holzleichtbauweise von bis zu 75,- EUR/m²_{BGF} (inkl. USt.) angegeben. Im Vergleich zwischen monolithischer Ziegelbauweise und Holzmassivbauweise werden Mehrkosten der Ziegelbauweise von ca. 30,- EUR/m²_{BGF} (inkl. USt.) angegeben.

8.2 Ergebnisse der Studie 03_01 Bauen 2020 - Gebäudesystemvergleich, DUK, 11_2012

In der Studie 03_01 Bauen 2020 - Gebäudesystemvergleich, DUK, 11_2012, wird ein einziges Referenzgebäude abgebildet, in Form eines als charakteristisch anzusehenden EFH und Reihenmittelhauses. Es wird in zwei Bauweisen (Holzriegel mit Mineralwolle und alternativ mit Zellulosedämmung und Ziegel mit EPS oder alternativ monolithisch), in drei thermischen Qualitäten von HWB = 10 kWh/m²_{BGFa} bis HWB = 45 kWh/m²_{BGFa} und mit 8 Wärmebereitstellungssystemen (darunter auch teilsolare Raumheizung) definiert.

Die Kosten für Außenwände, Fenster, Decken, Dach und Keller werden detailliert auf Basis realer Einheitspreise kalkuliert. Es wird von den StudienautorInnen angenommen, dass mit diesen Kosten eine Größenordnung von 60% der Bauwerkskosten ohne Raumheizung und Warmwasserbereitung berücksichtigt sind. Es wird der Betrag der fehlenden 40% für Innenausbau und Sanitär- und Elektro-Basisinstallation aus dem Wert der kalkulierten Bauteilkosten der Basis-Effizienzvariante errechnet und allen zwölf Gebäudevarianten aufgeschlagen, womit eine Kosteschätzung für die Bauwerkskosten, also die Kostenbereiche 2 bis 4 laut ÖNORM B 1801-1, aufgestellt wird.

Auf dieser Basis dokumentiert die Studie im direkten Vergleich von zusatzgedämmtem Ziegelmauerwerk und mineralwollegedämmter Holzleichtbauweise geringe Mehrkosten der Holzbauweise von bis zu 34,- EUR/m²_{BGF} oder 2% der Bauwerkskosten. Im Vergleich zwischen einschaliger Ziegelbauweise und zellulosegedämmter Holzbauweise werden Mehrkosten der Holzbauweise von bis zu 141,- EUR/m²_{BGF} oder 9% der Bauwerkskosten dokumentiert.

8.3 Ergebnisse der Studie 03_07 Innovative Gebäudekonzepte im Vergleich, ACR, 2014

In der Studie 03_07 Innovative Gebäudekonzepte im Vergleich, ACR, 2014, wird ein einziges Referenzgebäude abgebildet, in Form eines als charakteristisch anzusehenden EFH. Es wird dieses Gebäude in acht Baustoffvarianten und in sechs Gebäudekonzepten, letztere bestehend aus Kombinationen von zeitgemäßen Energiestandards und Haustechniksystemen.

Die Ermittlung der Gesamtkosten über den Lebenszyklus (LCC) wird in Anlehnung an die ÖNORM EN 15643-4 Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden - Teil 4: Rahmenbedingungen für die Bewertung der ökonomischen Qualität vorgenommen. Es wird ein Berechnungszeitraum von 50 Jahren gewählt. In der Herstellung werden die vollständigen Bauwerkskosten berücksichtigt, also die Kostengruppen 2 bis 4 laut ÖNORM B 1801-1 Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 1: Objekterrichtung. Die Kostenermittlungen erfolgen auf der Ebene von vollständigen Leistungsverzeichnissen, die von einem großen österreichischen Bauunternehmen ausgepreist wurden, unter Berücksichtigung branchenüblicher Nachlässe und Zusatzkosten. Ersatz und Restwerte sowie die gesamten Betriebskosten werden berücksichtigt und als Gesamtbarwerte der Gebäudekosten über 50 Jahre Durchrechnungszeitraum, bezogen auf die Nutzfläche, angegeben.

Im Vergleich der Bauweisen dokumentiert die Studie im direkten Vergleich von Ziegel+EPS-Zusatzdämmung und mineralwollegedämmter Holzleichtbauweise Mehrkosten der Holzbauweise in den Gesamtkosten über 50 Jahre von bis zu 58,- EUR/m²_{NGF} oder 2% der Bauwerkskosten. Im Vergleich von einschaliger Ziegelbauweise und Holzmassivbauweise dokumentiert die Studie Mehrkosten der Holzbauweise in den Gesamtkosten über 50 Jahre von bis zu 238,- EUR/m²_{NGF} oder 9% der Bauwerkskosten.

Die Studie zeigt diesbezüglich gute Übereinstimmung mit der zuvor besprochenen Studie der Donau-Universität Krems.

9 Ergebnisse zu Frage E: Wissenschaftliche Qualität der Studien

Angesichts der Absicht, eine Metastudie durchzuführen, war die Frage nach der augenscheinlichen wissenschaftlichen Qualität, etwa hinsichtlich Art und Umfang des Datenmaterials, Vollständigkeit der berücksichtigten Randbedingungen, Objektivität, Konformität mit spezifischen Anforderungen gültiger Normen und Nachvollziehbarkeit der Schlussfolgerungen zu stellen.

Es wurde bereits zuvor erwähnt, dass Anzahl und Art der vorliegenden Studien in keiner einzigen der Fragestellung metaanalytische Methoden zur Auswertung anzuwenden erlaubt haben. Das ist qualitativ insofern erwähnenswert, als eindeutige normative Grundlagen für die Durchführung von Bilanzierungen etwa von Umweltfolgen zur Verfügung. Dennoch weichen die Primärstudien in unterschiedlichen Aspekten teils deutlich von diesen Vorgaben und voneinander ab.

9.1 Normenrecherche zur Wissenschaftlichen Qualität

Es wurde auch zum Thema der wissenschaftlichen Qualität ein exemplarisches Normenexzerpt erarbeitet. Herangezogen wurden wieder jene Normen, die auch in Kapitel 7.3, Normenexzerpt zu Wechselwirkungen von Ökologie und Sozialem, nach den dort relevanten Kriterien untersucht wurden. Der Großteil dieser Normen definiert Qualitätsanforderungen, die vorwiegend für die Quantifizierung von Umweltwirkmechanismen

relevant sind, im Speziellen für die Durchführung von Ökobilanzen. Da sämtliche Fragestellungen im Umfang der vorliegenden Studie unmittelbar oder mittelbar im Zusammenhang mit Umweltwirkmechanismen stehen, erscheint die Heranziehung dieser normativen Grundlage legitim.

- 05_01 ÖNORM EN 15643-1 bis -4 Nachhaltigkeit von Bauwerken, 2010 bis 2012
- 05_03 EN 15978: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode, 10_2012
- 05_04 ÖNORM EN ISO 14044 Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen, 10_2006
- 05_05 ÖNORM EN ISO 14025 Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Typ III Umweltdeklarationen - Grundsätze und Verfahren, 07_2010
- 05_06 ISO 15686-1 und -9: Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 1: General principles and framework; Buildings and constructed assets. Service-life planning. – Part 9: Guidance on assessment of service-life data, 05_2011
- 05_07 ISO 21931-1: Sustainability in building construction - Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works - Part 1: Buildings, 06_2010
- 05_08 ISO 15392: Sustainability in building construction - General principles, 05_2008
- 05_09 Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode

In den exzerpierten Normen finden sich zahlreiche Angaben, zur notwendigen Bildung stets funktional äquivalenter Gebäude, Vollständigkeit und Repräsentativität den Anforderungen, zur Anforderungen an die Datenqualität, zur Notwendigkeit der Fehlerabschätzung und andere mehr.

9.2 Defizite der Primärstudien in Hinsicht auf die Durchführbarkeit einer Metastudie

Vorweg: Keiner der untersuchten Primärstudien liegt eine offensichtliche prädisponierende Motivation zu Grunde. Und in keiner der Studien musste eine schwerwiegend falsche, missverständliche oder tendenzielle Darstellung konstatiert werden. Die Studien konnten für qualitative Vergleiche und in begrenztem Rahmen für eine deskriptive Auswertung herangezogen werden.

Hinsichtlich der Durchführung einer quantitativ, induktiven statistischen Analyse im Sinne einer Metastudie mussten aber allen Primärstudien Defizite konstatierte werden. Im Anschluss werden exemplarisch Mängel beschrieben, die in mehreren Studien aufgefallen sind. Es wird ausdrücklich betont, dass die gewählten Beispiele und die Studien, denen sie entnommen sind, weder besonders auffallende noch speziell schwerwiegende Defizite im Vergleich mit anderen Studien aufweisen. Auswahlkriterium war die Anschaulichkeit der Zusammenhänge.

9.2.1 Zu geringe Quantität der Daten

Zur korrekten Anwendung induktiver statistischer Verfahren, die aus Daten einer Stichprobe Eigenschaften einer Grundgesamtheit ableiten, ist eine ausreichende Stichprobengröße notwendig. Diese ist abhängig von der Größe der Grundgesamtheit, vom angestrebten Vertrauensintervall, von der angenommenen Verteilung.

Will man beispielsweise verallgemeinernde Aussagen über die in Österreich errichteten Wohneinheiten im Passivhausstandard treffen, dann wäre für die Grundgesamtheit von ca. 21.000 Wohneinheiten und einer konservativ angenommenen Verteilung von 50% für ein angestrebtes Vertrauensintervall von 95% eine repräsentativ ausgewählte Stichproben von 268 Wohnungen mindestens sicherzustellen.

Der hohe Aufwand von Messungen und Befragungen im Bereich der Gebäudequalitäten führt häufig, so auch bei mehreren der hier untersuchten Studien, exemplarisch etwa bei der Studie 03_04, Rhomborg: Wohnkomfort und Heizwärmeverbrauch im PH und NEH, zu statistisch nicht auswertbar kleinen Stichprobengrößen.

Die Aussagekraft derart betroffener Studien beschränkt sich dann ausschließlich auf die untersuchten Objekte. Eine Überführung in eine allgemeine Aussage im Sinne eines induktiven statistischen Verfahrens ist in keiner Weise zulässig.

9.2.2 Mangelnde Qualität der Daten

Selbst wenn eine entsprechende Stichprobengröße und damit ausreichende Datenquantität vorliegt, ist in die Datenqualität hinsichtlich unterschiedlicher Kriterien zu prüfen. Einschlägig normativ festgelegte Kriterien sind etwa das Alter der Daten, der technologische oder geografische Erfassungsbereich, die Präzision, die Vollständigkeit, die Repräsentativität und andere mehr.

Unter den vorliegenden Primärstudien konnte keine identifiziert werden, die sowohl ausreichende Datenquantität als auch entsprechende Datenqualität im Sinne der gültigen Normen sicherstellt.

Wobei Mängel speziell in der Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit der Daten vorliegen, was bedeutet, dass über die eigentliche Aussagekraft der Ergebnisse nur begrenzt befunden werden kann. Allgemein gültige Aussage lassen sich aus den vorliegenden Studien durch induktiv statistische Verfahren jedenfalls nicht ableiten.

Exemplarisch für diesen Sachverhalt wird die Primärstudie 03_06, gbv: Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit angeführt, die grundsätzlich ausreichende Stichprobengrößen vorlegen würde. In dieser Studie wird zwar das Zustandekommen der Stichprobe grundsätzlich beschrieben, dennoch bleibt unklar, nach welchen Kriterien zum Beispiel ausgewählt wurde, wenn etwa innerhalb einer Bauperiode zu viele Gebäude zur Verfügung standen. Auch der Begriff der Innovation, der als Auswahlkriterium ergänzend angeführt ist, wird nicht erläutert und bleibt speziell für Objekte im Errichtungszeitraum vor 1995 beliebig. Ebenso kann die Verteilung der 14.220 Wohneinheiten auf die einzelnen Objekte nur begrenzt nachvollzogen werden. Das Problem der Zuordnung ist aber von spezieller Bedeutung, wie in der Studie selbst angemerkt wird. Auch die Vollständigkeit der Daten kann im Sinne der Norm oder der induktiven Statistik nicht ausreichend sichergestellt werden. Fehlende Daten wurden in unterschiedlicher Weise geschätzt.

Auch hier gibt es keinen augenscheinlichen Grund, an der Redlichkeit und Sinnhaftigkeit der vorgenommenen Bearbeitungen des Datenmaterials zu zweifeln. Die Möglichkeit einer statistisch induktiven Auswertung, also der Schlussfolgerung auf die Gesamtheit, ist mit der dargestellten Information aber unzulässig.

9.2.3 Inkonsistenz der Methodik

Ein weiteres Problem in Hinsicht auf die wissenschaftliche Qualität, das in mehreren Primärstudien aufgefallen ist, betrifft einen Mangel an Konsequenz in der Anwendung einer durchgängigen Methodik. Beispielsweise werden unterschiedlich generierte Daten, etwa werden gemessene Daten, spezifisch für das Projekt berechnete Daten und auch allgemeine Literaturangaben als gleichwertige Ausgangsbasis in weiterführende vergleichende Erhebungen einbezogen.

Exemplarisch wird hier die Studie 03_16 Schöberl, Hofer: Betriebskosten- und Wartungskostenvergleich zwischen Passivhäusern und Niedrigenergiehäusern, angeführt. Auf Basis eines Energiemonitorings über zwei Heizsaisonen an 10 Passivhäusern und 8 Niedrigenergiehäusern leitet diese Primärstudie einen Betriebs- und Wartungskostenvergleich ab. Dabei werden bei der Erhebung des Energieverbrauchs sowohl konkrete Messdaten, als auch errechnete Daten, als auch Angaben aus der Literatur verwendet, deren Verifizierung eigentlich Ergebnis der Studie sein sollte.

So wird etwa bei der Ermittlung der Stromkosten für die Lüftung der Gebäude der Energieverbrauch der Lüftungsanlagen in den Passivhäusern gemessen, jener der Abluftanlagen aber mangels Verfügbarkeit einer Messung auf Basis von eigenen Berechnungen und Angaben aus der Fachliteratur hergeleitet. Auch hier ist nicht daran zu zweifeln, dass die technisch bedingten Informationslücken bestmöglich und mit größter Sachkenntnis geschlossen wurden. Dennoch verliert die Studie damit den Status der Datengenerierung aus Messung.

9.2.4 Abweichungen der Methodik von der Normvorgabe

Allgemein kann gesagt werden, dass die in den einschlägigen Normen festgelegten Vorgehensweisen zur Quantifizierung von Umweltwirkmechanismen konsistent und differenziert sind. Vereinfachungen aber auch Abweichungen von diesen Vorgaben wurden ebenfalls in mehreren Primärstudien festgestellt und gegebenenfalls als Mangel an Wissenschaftlichkeit identifiziert.

Exemplarisch trifft das sogar auf die als Primärstudie herangezogene Leitlinie 06_03 EU Kommission: Leitlinien zur delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/2012 der Kommission vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden durch die Schaffung eines Rahmens für eine Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten (2012/C 115/01) zu:

Die Leitlinie regelt die Berücksichtigung von vor Ort erzeugter erneuerbarer Energie, beispielsweise in Photovoltaikanlagen, in die Berechnung der Gesamtenergieeffizienz derart: Vom Stromverbrauch wird der Strom aus erneuerbaren Quellen, der vor Ort erzeugt und genutzt wird (z. B. aus Photovoltaik-Modulen), abgezogen.“ Das widerspricht EN 15978:2012-10 Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode, die im Widerspruch zur Leitlinie festlegt, dass Strom der vor Ort, dort aber nicht durchgehend erzeugt wird, also etwa Strom aus Photovoltaikanlagen nur zum Teil vom Stromverbrauch des Gebäudes abgezogen werden. Das gilt ausdrücklich auch, wenn die derart vor Ort erzeugte Energie geringer ist als der Gesamtstromverbrauch.

10 Abschließende Bemerkungen

Über die genannten Fragen hinaus wurden noch spezifische Teilfragestellungen untersucht, deren Erläuterung aber den gegebenen Rahmen sprengen würde.

Der Schussbericht zur Studie, in einem Umfang von ca. 160 Seiten, liegt dem Auftraggeber, dem Fachverband Steine und Keramik der WKO, vor und kann bei diesem angefragt werden.