

Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser

Ordinarius für Bauphysik der
Technischen Universität München

Leiter des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik
Stuttgart, Holzkirchen und Kassel

Dr. Rolf-Michael Lüking

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Geschäftsführendes Vorstandsmitglied der
Gesellschaft für Rationelle Energieverwendung (GRE e.V.)

Gutachten

Die Klimaentlastung durch Massivholzbauarten

**Grundlagen und Möglichkeiten der Berücksichtigung der CO₂-Senkenleistung
von Außenbauteilen aus Massivholz im Rahmen der gesetzlichen
Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden**

GLIEDERUNG

1. Einleitung
2. Untersuchungsgegenstand und Problemstellung
3. Die Klimaentlastung durch den Einsatz von Massivholzbauteilen
 - 3.1 Ableitung und Quantifizierung der CO₂-Senkenleistung von Massivholzbauteilen
 - 3.2 Energiebedarfsinduzierte Klimabelastung und Klimaentlastung durch stofflichen Holzeinsatz in Außenbauteilen im Vergleich
 - 3.3 Abwägung des stofflichen und energetischen Einsatzes von Holz in neuen Gebäuden
 - 3.4 Die Klimaentlastung durch stoffliche Holznutzung in Plusenergiehäusern sowie unter Berücksichtigung des CO₂-Zertifikatehandels
4. Vorschlag zur Berücksichtigung der CO₂-Senkenleistung in der Energieeinsparverordnung
5. Fazit
6. Literaturverzeichnis

ANHANG 1:

Die gesetzlichen Anforderungen an die energetische Qualität von Wohngebäuden

ANHANG 2: Klimaentlastung durch CO₂- Speicherung

ANHANG 3: Wärmeversorgungsstrategien und CO₂-Zertifikatehandel

1. Einleitung

Vor dem Hintergrund des drohenden Klimawandels sind verstärkte Bemühungen um die Reduktion anthropogener Emissionen von Treibhausgasen dringend erforderlich. Die Klimaforschung hat als kritische Schwelle, ab der die Folgen der Klimaveränderung nicht mehr beherrschbar sein werden, eine Erwärmung der globalen Durchschnittstemperatur um maximal 2 °C ermittelt. Dieses Ziel lässt sich nur erreichen, wenn in den kommenden Jahrzehnten (bis 2050) weltweit nicht mehr als 700 Milliarden Tonnen durch Menschen verursachte Treibhausgasemissionen in die Atmosphäre gelangen. Bezogen auf einen Zeitraum von 40 Jahren entspricht dies – ohne die Berücksichtigung eines weiteren Anstiegs der Weltbevölkerung – einer Menge von jährlich etwa 2,5 Tonnen pro Kopf der Weltbevölkerung [1]. Von diesem langfristigen Zielwert ist Deutschland mit einem energiebedingten Jahresausstoß von knapp 10 Tonnen pro Kopf trotz aller Bemühungen und aller Erfolge immer noch weit entfernt.

Aktuell steht als Mittel zur Emissionsminderung in der öffentlichen und der politischen Diskussion fast ausschließlich die Verringerung des Verbrauchs fossiler Energieträger im Fokus, die durch Steigerung der Energieeffizienz, einschließlich der Maßnahmen zur Energieeinsparung, sowie durch Substitution der fossilen durch regenerative Energieträger erreicht werden soll. Besonders wirksame Hebel zur Erreichung der Klimaschutzziele werden im Verbrauchssegment Gebäude gesehen, hier insbesondere in der Absenkung des fossilen Energiebedarfs zu ihrer thermischen Konditionierung, für den etwa ein Drittel des gesamten Endenergiebedarfs in Deutschland aufgewendet wird. Neben Angeboten zur finanziellen Förderung entsprechender Maßnahmen stehen ordnungsrechtliche Vorgaben durch die Energieeinsparverordnung (EnEV) [2] sowie durch das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) [3].

Die Möglichkeiten der Emissionsminderung durch die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe, insbesondere von Holz, finden in diesem Zusammenhang bisher kaum Beachtung. Obwohl das erhebliche Potential von Holz als Kohlenstoffspeicher im Grundsatz bekannt ist, fehlt es noch weitgehend an strategischen Ansätzen, die bestehenden Möglichkeiten zu aktivieren. Insbesondere fehlt es an gesetzgeberischen Impulsen für eine verstärkte Nutzung von Holz im Bauwesen, obwohl sich hier mehr als in jedem anderen Nutzungsbereich von Holz eine dauerhafte verrottungsfreie Speichermöglichkeit von gebundenem Kohlenstoff eröffnet.

Eine erste gesetzgeberische Annäherung zur Nutzung von Holz im Bauwesen zur Eindämmung der CO₂-Emissionen findet sich in dem „Schweizer Bundesgesetz zur Reduktion von CO₂-Emissionen“, das am 23. Dezember 2011 verabschiedet wurde und explizit eine Anrechenbarkeit der Senkenleistung von verbautem Holz vorsieht.

Die in Deutschland im Jahre 2005 verabschiedete „Charta für Holz“ [4] ist demgegenüber allenfalls als ein erster Ansatz einzustufen, zumal sie in erster Linie auf die energetische

Holznutzung fokussiert ist und hinsichtlich der stofflichen Holzverwendung im Bauwesen ausschließlich Leichtbaukonstruktionen mit geringen Masseanteilen im Blick hat.

In den ordnungsrechtlichen Anforderungen an die Erstellung von neuen Gebäuden sowie an die Sanierung des Gebäudebestands findet die stoffliche Nutzung von Holz als aktive CO₂-Senke ebenfalls keine Berücksichtigung. Im Gegenteil sind etliche Massivholzbausysteme auf Grund der schon kurzfristig anstehenden Verschärfungen von Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden durch die Energieeinsparverordnung (geplante EnEV 2015), vor allem aber durch die Forderungen der EU (EU-Gebäuderichtlinie, EPBD) [5], ab 2018 bzw. 2020 ausschließlich Niedrigstenergiehäuser zuzulassen (Häuser, die nahezu keinen Primärenergiebedarf aufweisen), akut gefährdet.

Vor diesem Hintergrund werden in der vorliegenden Untersuchung die Möglichkeiten der Klimaentlastung durch Kohlenstoffbindung in Massivholzbauweisen gegen die steigenden Anforderungen an die Energieeffizienz abgewogen. Auf Basis dieser Abwägung wird ein Vorschlag erarbeitet, der möglichen Klimaentlastung durch stoffliche Holznutzung in den öffentlich/rechtlichen Anforderungen Rechnung zu tragen.

2. Gegenstand der Untersuchung und Problemstellung

Als Massivholzhäuser werden im Folgenden alle Bauarten behandelt, deren Konstruktionsprinzip auf dem Flächen bildendem Einsatz von Holz basiert. Sie sind zu unterscheiden von Holzleichtbauhäusern mit Holzskelett- und Holzrahmenaufbauten, bei denen Holz nur für die Ausbildung einer tragfähigen Konstruktion von Ständern und Trägern genutzt wird, so dass die entstehenden Gefache der Konstruktion mit anderen Materialien verfüllt werden können. Bei Außenbauteilen moderner Gebäude erfolgt die Ausfachung der opaken Bauteilbereiche im Wesentlichen mit Dämmmaterialien, um damit einen hohen baulichen Wärmeschutz zu erreichen.

Massivholzbauarten haben gegenüber den Leichtbauarten mit Holzskelett- und Holzrahmenkonstruktionen nur eine geringe Marktbedeutung. Dennoch wird eine Vielzahl von Konstruktionen angeboten. Schon die traditionsreiche Blockbauart, bei der Hölzer horizontal geschichtet und zu einer Wand verbunden werden, hat eine erhebliche Variationsbreite herausgebildet. Mit Blick auf die hier anstehenden Fragen ist die Unterscheidung ein- und mehrschaligen Wandaufbauten von Bedeutung. Bei den einschaligen Aufbauten, die auch aktuell noch stabil nachgefragt werden, reicht das Spektrum bei neuen Wohngebäuden von Konstruktionen aus Blockbalken rechteckigen Querschnitts von mindestens 20 Zentimetern Dicke (senkrecht zum Wärmestrom) bis hin zu Rundstammaufbauten mit Stammdurchmessern von z.T. mehr als 40 cm. Die Bohlen bzw. Rundstämme sind je nach Anbieter und regionaler Prägung sehr unterschiedlich gefügt und verbunden. Neben diesen klassischen Konstruktionen gewinnen gedämmte Aufbauten auch in der Blockbauart zunehmend an Bedeutung. Die Dämmschichten werden teilweise außen liegend in Kombination mit einem hinterlüfteten Wetterschutz ausgeführt, so dass sich ein prinzipiell ähnlicher Wandaufbau wie bei gedämmten Mauerwerkskonstruktionen ergibt. Allerdings werden durchaus auch Innendämmungen nachgefragt, weil sie es ermöglichen, das äußere Erscheinungsbild des Blockhauses zu erhalten. Selbst die Nachfrage nach einer gedämmten Konstruktion mit beidseitiger Blockhausoptik kann mit zweischaligen Aufbauten bedient werden, die einen Zwischenraum für die Verfüllung mit Dämmstoff und für die Aufnahme einer Luftdichtheitsschicht vorhalten. In vielen Fällen wird lediglich das Erdgeschoss in Blockbauart errichtet, während Drempel- und Giebelwände in Holzleichtbauweise ausgeführt werden.

Neben den traditionellen Blockhausbauarten drängen aktuell Konstruktionen in den Markt, in denen Flächen bildende Holzelemente zum Einsatz kommen, die aus Hölzern geringer Querschnitte zusammengesetzt sind. Die einzelnen Lagen von Brettern oder Bohlen können miteinander verleimt, durch Nägel oder Schrauben sowie mit Holzdübeln senkrecht oder quer zum Wärmestrom zu Brettsperrholz oder Brettstapeln verbunden sein.

Die Elemente erlauben ähnlich hohe Vorfertigungsgrade wie Holzleichtbaukonstruktionen. Sie werden als Wand-, Dach- und Deckenelemente hergestellt, wodurch gegenüber der

klassischen Blockbauart zusätzliche Bauteile für eine Ausführung in Massivholz erschlossen werden.

Die Außenwände auf der Basis solcher Massivholzelemente sind weitgehend ähnlich aufgebaut wie bei den „klassischen“ Blockbauten. Neben den gedämmten Konstruktionen, die aus Holzelementen mit 8-20 Zentimetern Dicke und – in diesem Falle ausschließlich mit außen liegenden – Dämm- und Luftdichtheitsschichten bestehen und von einem Wetterschutz und ggf. einer inneren Beplankung eingefasst werden, finden sich auch „monolithische“ Aufbauten. Hier kommen ungedämmte Elemente mit Querschnitten von bis zu 36 Zentimetern zum Einsatz, die lediglich durch eine Wetterschutzschicht und/oder einer innere Sichtebene ergänzt werden, die in Einzelfällen aber sogar auf jegliche Bekleidung verzichten.

Alle beschriebenen Bauteilaufbauten sind unter dem Vorbehalt einer fachgerechten Ausführung – unter Einbeziehung eines soliden konstruktiven Holzschutzes und erforderlicher Luftdichtheitsschichten – bauphysikalisch unkritisch. Auf Grund der großen Hygroskopizität des Holzes sind die Konstruktionen insbesondere hinsichtlich des notwendigen Feuchteschutzes auch im Falle von Innendämmungen robust [6]. In den Blockhausbauarten ist allerdings eine besondere Planungs- und Ausführungssorgfalt mit Blick auf die nachhaltige Sicherstellung der Luftdichtheit erforderlich, um nachträgliche Undichtigkeiten durch die Setzung des Baumaterials zuverlässig zu vermeiden, da sich andernfalls neben Behaglichkeitseinbußen erhöhte Wärmeverluste sowie Schädigungen der Konstruktion einstellen können. Vor allem für einschalige Konstruktionen, die ohne eine separate Luftdichtheitsebene auskommen, stellt die Herstellung einer dauerhaften Luftdichtheit eine große, aber – wie viele ausgeführte Beispiele zeigen – lösbare Herausforderung dar.

Hinsichtlich des erreichbaren baulichen Wärmeschutzes sind gedämmte Konstruktionen aus massivem Holz auf Grund der geringen Wärmeleitfähigkeit von Holz ($\lambda = 0,13 \text{ W/(mK)}$) [7] analogen Mauerwerksaufbauten tendenziell überlegen. Lediglich einige Leichtziegelsteine und moderne Porenbetonsteine können niedrigere Wärmeleitfähigkeiten von bis zu $0,07 \text{ W/(mK)}$ aufweisen und erreichen dadurch in Kombination mit gleichen Dämmstoffqualitäten etwas niedrigere U-Werte. Das gilt auch für Holzleichtbaukonstruktionen. Allerdings wird der U-Wert moderner Außenbauteile von der thermischen Qualität der eingebrachten Dämmstoffe dominiert, so dass ein hochwertiger Wärmeschutz durch die Realisierung niedriger U-Werte in Verbindung mit minimierten konstruktiven Wärmebrücken mit gedämmten Massivholzelementen uneingeschränkt umgesetzt werden kann.

„Monolithische“ Massivholzkonstruktionen unterliegen demgegenüber Einschränkungen hinsichtlich des erreichbaren baulichen Wärmeschutzes. Zwar lassen sich durch die materielle Homogenität der Bauteile Außenhüllen mit einem sehr geringen Anteil an konstruktiven Wärmebrücken erstellen. Der U-Wert der „monolithischen“ Außenbauteile selbst fällt allerdings gegenüber modernen, hoch wärmegeprägten Konstruktionen deutlich zurück.

Der Verzicht auf eine Dämmung kann trotz des kleinen λ - Wertes des Baustoffs, der für die hier zur Diskussion stehenden Nadelhölzer nach [7] einheitlich mit einem Wert von 0,13 W/(mK) anzusetzen ist, mit den am Markt verfügbaren Wanddicken nicht kompensiert werden.

Einzelnen Bauelementen, die sich aus versetzt gestapelten Bretten in Richtung des Wärmestroms zusammensetzen, konnten im Rahmen von bauaufsichtlichen Zulassungen sogar Werte knapp unter 0,09 W/(mK) attestiert werden. Solche herausragenden Werte sind in erster Linie den Lufteinschlüssen zwischen den einzelnen Brettlagen zuzuschreiben und nur auf wenige konkrete Massivholzkonstruktionen anwendbar, so dass in den folgenden Überlegungen nicht näher darauf eingegangen werden muss.

Das Spektrum der zu betrachtenden einschaligen Holzkonstruktionen beginnt bei einer Bauteildicke von 20 Zentimetern. Sie ergibt sich aus den Anforderungen an den baulichen Mindestwärmeschutz. Danach müssen Außenbauteile mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse von wenigstens 100 kg/m² einen Mindestwert des Wärmedurchlasswiderstandes in Höhe von 1,2 m²K/W aufweisen. Für leichtere Konstruktionen erhöht sich der Anforderungswert auf 1,75 m²K/W. Für Nadelhölzer mit einer Rohdichte von 500 kg/m³ [7] greift der niedrigere Anforderungswert erst ab einer Elementdicke von 20 Zentimetern, die einen Wärmedurchlasswiderstand von 1,54 m²K/W aufweisen.

Nach oben wird das Spektrum der am Markt zu findenden Elementdicken im Wesentlichen durch Rundstammkonstruktionen begrenzt. Einzelne Stämme erreichen durchaus noch größere Durchmesser als die hier betrachteten 40 Zentimeter. Für die bauteilspezifischen Wärmeverluste sind die maximalen Stammdurchmesser allein allerdings nicht aussagekräftig. Die U-Werte werden ebenfalls durch die relativ schmalen Auflageflächen zwischen den Balken beeinflusst. Daraus ergibt sich die praktische Obergrenze der zu betrachtenden Bauteildicken mit 40 Zentimetern, ohne hier näher auf eine genauere Herleitung der U-Werte von Rundstammkonstruktionen [8] eingehen zu müssen.

Bild 1 zeigt die erreichbaren U-Werte einschaliger Holzwände (ohne äußere und innere Bekleidung) auf der Basis unterschiedlicher Lambda-Werte im Vergleich zum Referenzwert für Außenwände gemäß EnEV 2009 in Höhe von 0,28 W/(m²K).

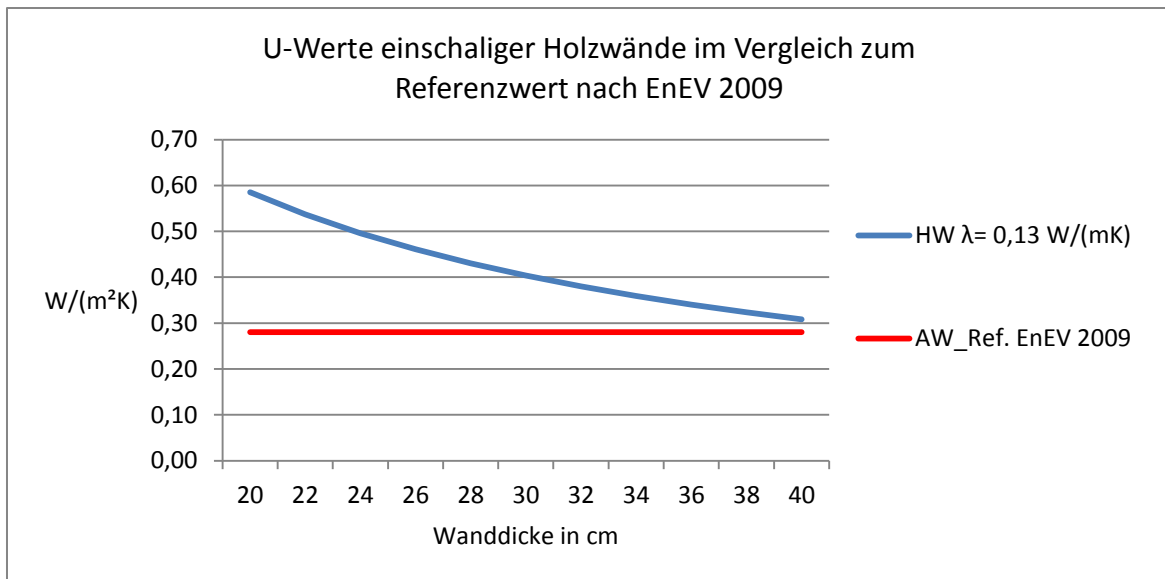


Bild 1: U-Werte einschaliger Holzwände (HW) im Vergleich zum Außenwand- Referenzwert nach EnEV 2009

Die auf der Grundlage des normativen Lambda-Wertes von Nadelhölzern ermittelten U-Werte einschaliger Massivholzbauteile überschreiten den Referenz- U-Wert für die Außenwand von neuen Gebäuden durchgehend, bei geringen Querschnitten deutlich. Dies führt allerdings nicht dazu, dass die Realisierung von Gebäuden mit einschaligen Außenbauteilen aus massivem Holz derzeit an den Anforderungen der EnEV scheitert, die in Anhang 1 ausführlich beschrieben werden. Vielmehr ermöglicht der integrale Bewertungs- und Anforderungsmechanismus der EnEV, der im Gegensatz zu Vorschriften in Teilen der Schweiz und Österreichs auf bauteilspezifische Anforderungen verzichtet, eine Kompensation der mäßigen U-Werte, indem andere Außenbauteile und/ oder die Anlagentechnik zur Wärmeversorgung in einer Weise ausgeführt werden, die die Referenzvorgaben der EnEV überschreiten. Um im Sinne der Energieeinsparung regelungswirksam zu sein, sind die von der EnEV eingeräumten Kompensationsmöglichkeiten allerdings begrenzt. Dies führt nicht nur dazu, dass die Ausgleichsmaßnahmen z.T. hohen ökonomischen Aufwand erfordern, sondern auch dazu, dass „monolithische“ Holzbauarten kaum noch als „Effizienzhaus“ in den aus der EnEV abgeleiteten Förderstufen der KfW [9] förderungsfähig sind. Beide Aspekte bringen gewichtige Marktnachteile dieser Bauarten mit sich.

Die schon kurzfristig anstehenden Anhebungen der Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden durch die geplanten Novellen der Energieeinsparverordnung (geplante EnEV 2012/13 und ggf. 2015/16), vor allem aber durch die Forderungen der EU, eines verbindlichen Neubaustandards „nahe null“ ab 2018 bzw. 2020 (s. Anhang 1], lassen eine deutliche Verschärfung der Situation erwarten. Denn mit jeder Anhebung der Anforderungen vergrößert sich nicht nur die Diskrepanz zwischen den realisierbaren und den im Referenzgebäude verankerten U-Werten, sondern es verringern sich auch die Möglichkeiten, diesen Nachteil durch energetische Aufwertung anderer Bauteile auszugleichen.

Insbesondere steht zu befürchten, dass eine zunehmend restriktive Begrenzung des hüllflächenspezifischen Transmissionswärmeverlust dazu führen wird, dass einschalige Massivholzkonstruktionen wegen ihrer Bauart bedingten Grenzen hinsichtlich erreichbarer U-Werte zukünftig nicht mehr realisiert werden können.

Mit Blick auf den Klimaschutz, der als drängendstes und vorrangiges Schutzziel der Energieeinsparverordnung benannt werden kann, wäre eine solche Entwicklung allerdings nachteilig, da auf diese Weise die Bauarten, die das größte Klimaentlastungspotential durch Speicherung von CO₂ aufweisen, aus dem Markt gedrängt würde.

3. Die Klimaentlastung durch Einsatz von Massivholzbauteilen

3.1 Ableitung und Quantifizierung der CO₂-Senkenleistung von Massivholzbauteilen

Die Wirkung und Nutzbarkeit von Holz als Kohlenstoffspeicher basieren auf den Lebens- und Kohlenstoffzyklen von Bäumen und Wäldern.

In seiner Wachstumsphase nimmt ein Baum atmosphärisches Kohlenstoffdioxid sowie Wasser auf, aus denen im Prozess der Photosynthese, angetrieben durch die Energie der Sonne, Biomasse aufgebaut wird. Das entstandene organische Material besteht bei allen Holzarten mit großer Übereinstimmung zu 50% aus Kohlenstoff (Abweichung < 2%) [10].

Der Wachstumsphase des Baumes folgt die Reifephase, die bei den verschiedenen Baumarten auch in Abhängigkeit von den Standortbedingungen in sehr unterschiedlichen Lebensaltern einsetzt. Die Reifephase ist durch einen erheblich verlangsamten Biomasseaufbau gekennzeichnet, der bis zur Altersphase gänzlich zum Erliegen kommt. Nach dem Tod des Baumes beginnt der Abbau der Biomasse, so dass der eingelagerte Kohlenstoff freigesetzt wird. Er oxidiert mit atmosphärischem Sauerstoff zu Kohlenstoffdioxid, wobei auf Grund der Molekulargewichte von Kohlenstoff und Sauerstoff aus einem Kilogramm darrtrockenen Holzes gebundenen Kohlenstoffs 3,67 kg CO₂ in die Atmosphäre entlassen werden. Bei einem Kohlenstoffanteil von 50% des Holzes kann daher jedem Kilogramm (darrtrockenen!) Holzes eine Bindung von 1,83 kg Kohlenstoffdioxids zugerechnet werden.

Die Bindung des Kohlenstoffs ist allerdings noch nicht gleichbedeutend mit einer Klimaentlastung und ein Waldsystem, das sich selbst überlassen bleibt, bildet wohl einen Speicher, nicht aber eine Senke von Kohlenstoff. Von Relevanz für eine Emissionsbilanz wird der Kohlenstoffspeicher Wald erst durch natürliche oder anthropogene Dynamisierung. Wenn der Waldbestand, z.B. durch Brandrodung oder durch Holznutzung ohne gleichwertige Wiederaufforstung reduziert wird, wirkt er als eine Emissionsquelle von Kohlenstoffdioxid. Eine Senke ergibt sich umgekehrt durch eine natürliche Erweiterung des Waldgebietes. Entsprechend fließen in die Emissionsbilanzen, die in den beteiligten Ländern in der Umsetzung der Kyoto-Vereinbarung [11] erstellt und von einem Zwischenstaatlichen Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) zusammen geführt werden, nicht die in Wäldern gebundenen CO₂-Mengen ein, sondern es wird die Quellen- oder Senkenwirkung des Waldes durch Bilanzierung seiner Kohlenstofffreisetzung und -aufnahme ermittelt. Sie ergeben sich im Wesentlichen aus den jährlichen Holzzuwächsen und den Erntemengen. Der energetischen Nutzung des geernteten Holzes sind im Rahmen dieser Betrachtungsweise somit dann keine Emissionen anzurechnen, wenn eine Regeneration des Waldes forstwirtschaftlich sichergestellt wird, wenn also jeder geerntete Baum im Wald durch nachwachsendes Material gleichwertig

ersetzt wird. Die Nachhaltigkeitsbedingung ist wesentlich, denn Holz ist zwar eine regenerative, aber keineswegs eine unbeschränkt verfügbare Ressource, Überschlüssig steht in Deutschland jährlich pro Kopf nur 1,5 Festmeter Einschlagsholz zur Verfügung [12], mit dem bei einem Heizwert von 1,5 MWh/Festmeter etwa 4,5 % des Primärenergiebedarfs von 47 MWh pro Person und Jahr gedeckt werden können [13]. Angesichts der Tatsache, dass die jährliche Erntemenge nicht nur den energetischen Bedarf abdecken, sondern auch die vielfältige Nachfrage nach einer stofflich Holznutzung bedienen muss, wird deutlich, dass die Nachhaltigkeitsbedingung alles andere als nur theoretischen Charakter hat.

Die IPCC-Methode trägt der Abhängigkeit einer Klimawirkung durch Holznutzung von der Entwicklungsdynamik des Waldes Rechnung. Sie ist allerdings in einem wesentlichen Punkt unvollständig. Denn mit der Prämisse, dass das im geernteten Holz gebundene CO₂ unmittelbar wieder freigesetzt wird, unterschlägt sie die Option, durch stoffliche Holznutzung die Kohlenstoffspeicherung des Systems Wald/Holz zu erhöhen.

Aus wissenschaftlicher Sicht ist die Wirksamkeit einer stofflichen Holznutzung zur Klimaentlastung dennoch unumstritten. Tatsächlich ist die forstwirtschaftliche Intervention, dem Wald Holz zu einer stofflichen Nutzung zu entnehmen, sogar als eine besonders wirksame Möglichkeit einzustufen, wie der in Anhang 2 erläuterte Vorschlag einer Sequestrierung von Energiehölzern verdeutlicht. Die Einbeziehung dieses Effektes steht allerdings vor großen methodischen Problemen. Vor allem scheint der Versuch einer quantitativen Erfassung des Produktspeichers analog der Waldinventur schon aufgrund seiner großen Heterogenität als ziemlich aussichtslos. Es wird daher abzuwarten sein, welche Regelungen im Rahmen eines Nachfolgeabkommen zum Kyoto-Protokoll vereinbart werden, sofern sich die Staatengemeinschaft überhaupt auf ein solches Nachfolgeabkommen einigen kann.

Die IPCC-Bilanzierungsmethode von Zu- und Abflüssen von Kohlenstoff bietet allerdings schon in der bestehenden Form einen Anknüpfungspunkt für die quantitative Bestimmung der CO₂-Senkenwirkung von Holzprodukten, die lediglich der Aufgabe der Prämisse einer unmittelbaren CO₂-Freisetzung nach der Holzernte bedarf. Denn die stoffliche Holzverwendung kann analog einer zusätzlichen CO₂-Aufnahme durch eine Walderweiterung interpretiert werden, der – im Gegensatz zur Bestandsbewirtschaftung – kein gleichzeitiger Waldverlust und damit eine Freisetzung von CO₂-Emissionen gegenüberstehen. Der Mechanismus der Kohlenstoffsénke durch Holzprodukte ist also als Funktion der Entwicklungsdynamik des Waldes zu betrachten. Bezogen auf die Holzmasse des Produktes wird eine Sequestrierung ohne gleichzeitige Freisetzung von Kohlenstoffdioxid ermöglicht, wenn die entnommene Pflanze im Wald für einen Baumsprössling Platz schafft, der ihn gleichwertig ersetzt. Dessen Kohlenstoffaufnahme in der Wachstumsphase kann somit als Senkenwirkung dem geernteten und substituierten Holz angerechnet werden.

Dies stellt eine neue Betrachtungsweise dar, denn bisher wird dieser Aspekt in Verfahren der Ökobilanzierung von Baustoffen nicht berücksichtigt:

„Die Ökobilanz zeigt zwar in der Herstellungsphase die Fähigkeit von Holz als Kohlendioxidspeicher auf, da sie zwischen fossilem und regenerierbarem Kohlenstoff aber keinen Unterschied macht, wird die Entlastungsfunktion für das Klima nicht deutlich.“ [14]

Für eine quantitative Bestimmung der Senkenwirkung von Holzprodukten sind einerseits die Dauer der Wachstumsphase und andererseits die in dieser Zeit aufgebaute Biomasse von Bedeutung.

In der waldbaulichen Praxis erfolgt die Holzernte zu einem Zeitpunkt, in dem der Massezuwachs der Bäume bereits deutlich verlangsamt ist. Somit kann die senkenrelevante Wachstumsphase aus der durchschnittlichen Umtriebszeit der für den Massivholzbau in Betracht kommenden Hölzer abgeleitet werden, konkret der im Holzhausbau fast ausschließlich zum Einsatz kommenden Nadelhölzer Tanne, Fichte, Kiefer, Douglasie und – mit geringer Marktrelevanz - Lärche.

Tabelle 1: Natürliches Höchstalter und Umtriebszeiten von Nadelhölzern, die für Massivholzbauweisen genutzt werden [16]

Botanischer Name	Deutscher Name der baulich genutzten Holzarten	Natürliches Höchstalter in Jahren (maximal)	Umtriebszeit in Jahren
<i>Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco</i>	Küsten-Douglasie	400 - 700 (1000)	60 - 100
<i>Abies alba Mill.</i>	Weiß-Tanne	500 - 600	90 - 130
<i>Larix decidua Mill.</i>	Europäische Lärche	200 - 400 (800)	100 - 140
<i>Picea abies L.</i>	Rot-Fichte	200 - 300 (600)	80 - 120
<i>Pinus silvestris L.</i>	Gemeine Kiefer	200 - 300 (600)	100 - 120

Die durchschnittlichen Umtriebszeiten der im Holzhausbau verwendeten Nadelholzarten zeigt Tabelle 1. Es ergibt sich ein Durchschnittswert von 104 Jahren, so dass unter Berücksichtigung der etwas längeren Standzeiten der wenig marktrelevanten Lärche von einem rechnerischen Durchschnittswert von 100 Jahren ausgegangen werden kann.

Als CO₂-Senkenleistung SL von Holzprodukten lässt sich daraus mit Bezug auf die Holzmasse ableiten:

$$SL_M = 1,83 \text{ [kg CO}_2\text{/kg]}/100 \text{ a} = 1,83/100 \text{ [kg* CO}_2\text{/(kg*a)]}$$

In die Bestimmung der auf das Volumen des Holzes bezogenen CO₂-Senkenleistung muss die Rohdichte des jeweiligen Holzes im darrtrockenen Zustand einfließen. Obwohl für die Nutzung als Bauholz fast ausschließlich Nadelholzarten in Betracht kommen, ist eine erhebliche Schwankungsbreite der Rohdichten anzutreffen. Die Unterschiede ergeben sich nicht nur im Verhältnis der Baumarten untereinander. Auch innerhalb der einzelnen Spezies zeigen sich u.a. standortbedingt recht erhebliche Schwankungsbreiten. Nach [17] ergeben sich die in Tabelle 2 aufgeführten Mittelwerte und Streubereiche.

Tabelle 2: Mittelwerte und Streubereiche der Darrdichten von baulich genutzten Nadelhölzern [17]

Deutscher Name baulich genutzten Holzarten	Mittelwerte der Darrdichte in kg/m ³	Streubereich der Darrdichte in kg/m ³
Küsten-Douglasie	470	360 - 630
Weiß-Tanne	370	310 - 460
Europäische Lärche	550	400 - 820
Rot-Fichte	420	280 - 610
Gemeine Kiefer	490	300 - 860

Vor dem Hintergrund der großen Streubereiche auch innerhalb einer Spezies erscheint eine Differenzierung der CO₂-Senkenleistung in Abhängigkeit von der eingesetzten Holzart nicht sinnvoll. Analog der einheitlichen Behandlung von Nadelhölzern z.B. für die normativen Angaben des λ-Wertes wird daher im Folgenden auf einen gewichteten Durchschnittswert abgehoben. Auf der Basis einer stärkeren Gewichtung der Holzarten Tanne und Fichte mit insgesamt 70 % sowie der übrigen Nadelholzarten mit jeweils 10 % ergibt sich eine durchschnittliche Rohdichte des darrtrockenen Nadelholzes in Höhe von 430 kg/m³.

Daraus resultiert folgende anrechenbare CO₂-Senkenleistung mit Bezug auf das Volumen:

$$SL_V = 1,83 \text{ [kg CO}_2\text{/kg]} * 430 \text{ [kg/m}^3\text{]} / 100 \text{ a} = 7,87 \text{ [kg CO}_2\text{/(m}^3\text{a)]}.$$

Die Bestimmung der Senkenwirkung von Holzprodukten als masse- oder volumenbezogene Jahresleistung bietet einerseits eine einfache Möglichkeit, die gewonnenen Werte den jeweilig anfallenden Holzprodukten zuzuordnen und nach Bedarf in produktspezifische Betrachtungen einzuspeisen. Sie bietet darüber hinaus einen direkten Anknüpfungspunkt für eine mögliche Berücksichtigung von flächig eingesetzten Holzelementen im Rahmen der Energieeinsparverordnung. Denn sowohl die von der EnEV gestellten Anforderungswerte an die primärenergiebezogene Energieeffizienz von Gebäuden als auch die im Energieausweis dokumentierten Energiebedarfswerte stellen als jahresbezogene Energiesummen

Leistungswerte dar. Analog zur EnEV kann die Senkenleistung durch Massivholzbauteile als CO₂- Minderungsmasse pro Jahr ausgewiesen werden.

Nach dem hier angewandten Modell, die CO₂-Senkenleistung von Holz aus der forstwirtschaftlich relevanten Hauptwachstumsphase von Nadelhölzern in nachhaltig bewirtschafteten Wäldern abzuleiten, ist der Massezuwachs an Holz und damit auch die dem verbauten Holz anzurechnende Kohlenstoffsequestrierung nach 100 Jahren erschöpft. Es ist also im System Wald/Holzprodukt ein CO₂-Speicherzustand erreicht, der im Vergleich zu dem Zeitpunkt vor Entnahme des Bauholzes um den CO₂-Speicher des verbauten Holzes erweitert ist. Da dieser Zeitrahmen die Lebenszeit von Gebäuden, wie sie üblicherweise im Rahmen der Ökobilanzierung von Gebäuden in Ansatz gebracht wird, überschreitet (im Rahmen der Zertifizierung der Nachhaltigkeit von Gebäuden wird z.B. eine Standzeit von lediglich 50 Jahren angesetzt [18]), ist eine Überbewertung der CO₂-Senkenleistung zuverlässig ausgeschlossen.

Die Tatsache, dass baulich eingesetztes Holz nach seiner Nutzungsphase eine potentielle Quelle von CO₂-Emissionen darstellt, muss hier nicht berücksichtigt werden, da das Bauholz auch nach der Nutzungsphase die gleiche klimaneutrale Qualität aufweist wie die Holzmasse von Bäumen und in gleicher Weise einer weiteren stofflichen oder einer energetischen Nutzung zugeführt werden kann.

3.2 Energiebedarfsinduzierte Klimabelastung und Klimaentlastung durch stofflichen Holzeinsatz in Außenbauteilen im Vergleich

Die Bestimmung der Senkenwirkung von Holzprodukten als masse- oder volumenbezogene Jahresleistung bietet eine einfache Möglichkeit, die gewonnenen Werte den jeweilig anfallenden Holzprodukten zuzuordnen und nach Bedarf in produktspezifische Betrachtungen einzuspeisen. Sie bietet darüber hinaus einen direkten Anknüpfungspunkt für eine mögliche Verrechnung der jährlichen Emissionsminderungen durch flächig eingesetzte Holzelemente mit den Emissionen, die auf die Wärmeversorgung von Gebäuden zurückzuführen sind.

Denn sowohl die von der EnEV gestellten Anforderungswerte an die primärenergiebezogene Energieeffizienz von Gebäuden als auch die im Energieausweis dokumentierten Energiebedarfswerte stellen als jahresbezogene Energiesummen Leistungswerte dar. Analog zu den nach EnEV ermittelten Jahres-Energiebedarfswerten kann die Senkenleistung durch Massivholzbauteile als CO₂- Minderungsmasse pro Jahr ausgewiesen werden.

Allerdings steht einer Verrechnung der jährlichen CO₂- Minderungsmassen mit den Energiebedarfswerten vor der Schwierigkeit, dass die nach EnEV ausgewiesenen und geforderten Energiebedarfswerte nicht einheitlich in ein daraus resultierendes Quantum an CO₂- Emissionen überführt werden können, da die spezifischen CO₂-Emissionen pro kWh in Abhängigkeit von den zur Wärmeversorgung eingesetzten Energieträgern sehr unterschiedlich sind. Eine interne Bilanzierung der bauteilspezifischen Energieverluste mit der CO₂-Senkenleistung analog dem aus der Wärmeschutzverordnung 1995 [19] bekannten Verfahren zur Bestimmung äquivalenter U-Werte von Fenstern, in die sowohl Wärmeverluste als auch die solaren Wärmegewinne über die Glasflächen einfließen, ist auf Grund der Disparität der Energieträger in ihrer Klimawirksamkeit nicht möglich.

Die Bilanz der Klimabelastung durch Energieverluste gegenüber einer Klimaentlastung durch die stoffliche Kohlenstoffsenke kann nur auf der Basis bestimmter Energieträger in Verbindung mit dem jeweiligen Nutzungsgrad der Wärmeerzeugung erfolgen.

Dabei kann für neue Gebäude eine Versorgung auf Basis des Energieträgers Gas in Verbindung mit einer Brennwerttechnik, entsprechend der Referenzanlagentechnik nach EnEV 2009, als die CO₂-intensivste Versorgungsalternative angesehen werden.

Dies gilt auf Grund der Tatsache, dass Versorgungskonfigurationen mit höheren Emissionen pro kWh Heizenergiebedarf, wie z.B. Wärmeversorgungslösungen auf der Basis von Kohlen und Erdöl schon jetzt im Neubaubereich kaum eine Rolle spielen. Konkret wurden im Jahre 2011 (Januar bis Oktober) 49,9 % der neuen Wohnungen mit Erdgasheizungen ausgestattet, 23 % mit Wärmepumpenanlagen, gefolgt von 15,9 % Fernwärmeversorgungen. Stromdirekt

und Ölheizungen hatten zusammen einen zu vernachlässigenden Marktanteil von 2,5 %. Sonstige Wärmeversorgungstechnologien, im Wesentlichen Holzpellet-Heizungen, wurden in 8,7 % der Wohnungen installiert [20].

Aber auch auf Grund der Anforderungen des EEWärmeG, zumindest anteilig auf erneuerbare Energieträger umzustellen, stellen Heizungsanlagen mit höheren CO₂-Emissionen als Gas-Brennwerttechnik keine realistische Option für neue Gebäude dar. Es ist vielmehr davon auszugehen, dass gesetzliche Vorgaben schon auf kurze Sicht dazu führen werden, dass auch der Marktanteil von Gasbrennwerttechnik zugunsten weniger klimabelastender Alternativen, wie Holz- und Wärmepumpenheizungen abnehmen wird. Die Analyse kann hier also, unter Ausklammerung von Nah- und Fernwärmelösungen, auf Gas-Brennwertheizungen, elektrische Wärmepumpen und Holzheizungen (im Wesentlichen Holzpelletheizungen) beschränkt werden. Die CO₂-Emissionen, die aus Deckung des Wärmebedarfs über Gas-Brennwert- und Holzheizungen resultieren, ergeben sich aus den energieträgerspezifischen CO₂-Emissionen sowie den Nutzungsgraden der Anlagen, die bei modernen Anlagen mit hinreichender Genauigkeit bestimmt werden können (Tabelle 3, S. 17).

Bei elektrisch angetriebenen Wärmepumpen ist dagegen eine einheitliche Annahme zur anlagentechnischen Effizienz und zu den sich daraus ergebenden CO₂-Emissionen nicht möglich. Die Jahresarbeitszahlen, über die das Verhältnis der im Jahresmittel bereitgestellten Wärme und dem dafür eingesetzten Strom (in kWh/kWh) ausgedrückt wird, variieren nicht nur in Abhängigkeit von der Wärmequelle, sondern auch von der Temperatur der Wärmesenke erheblich. Die niedrigsten, also ungünstigsten, Jahresarbeitszahlen erreichen Wärmepumpen, die auf Luft als Wärmequelle zurückgreifen. Im Neubaubereich wird für diese Anlagen über das Erneuerbare Energien Wärmegesetz eine Mindestarbeitszahl von 3,5 gefordert, wenn über die Wärmepumpe nicht nur die Beheizung des Gebäudes, sondern auch die Trinkwassererwärmung erfolgt, muss ein Wert von 3,3 erreicht werden. Die Trinkwarmwasserbereitung ist allerdings für die Gegenüberstellung der CO₂-Senkenleistung von Massivholzbauteilen mit den wärmebedarfsinduzierten Klimabelastungen ohne Relevanz. Somit kann im Rahmen dieser Untersuchung eine Jahresarbeitszahl von 3,5 für neu zu errichtende Gebäude als oberer Grenzwert einer Wärmeversorgung über elektrische Wärmepumpen herangezogen werden (im Folgenden als Wärmepumpe 1, WP1, bezeichnet).

Wenn die Wärmepumpe über Wärmesonden oder Flächenkollektoren auf das Erdreich als Wärmequelle zurückgreifen kann, aber auch bei Nutzung von Grundwasser als Wärmequelle, sind deutlich höhere Jahresarbeitszahlen zu erreichen. In guten geplanten und ausgeführten Systemen mit niedrigen Wärmesenkentemperaturen können in neuen Gebäuden durchaus Jahresarbeitszahlen von 5 erreicht werden [21].

Darüber hinaus sind die spezifischen CO₂-Emissionen des Energieträgers Strom in den vergangenen Jahren kontinuierlich gesunken, vor allem durch den rapide steigenden Anteil

von Strom aus regenerativen Quellen u.a. aus Solar-, Wind- und Wasserkraftanlagen. Eine Fortsetzung dieses Trends wird – kurzfristig gedämpft durch den Atomausstieg – von allen Experten erwartet.

Bezogen auf die Nutzungszeit von Wärmepumpen von etwa 20 Jahren sind die zu erwartenden Änderungen erheblich, zumal der Ausbau der regenerativen Stromerzeuger politisch forciert wird. Eine zuverlässige Bestimmung der durchschnittlichen spezifischen CO₂ Emissionen, die dem Energieträger Strom anzurechnen sind, ist dennoch kaum möglich. Die Bestimmung des unteren Grenzwertes erfolgt hier auf Basis der Annahme, dass die spezifischen CO₂ Emissionen von Strom auf einen Durchschnittswert von 480 g/kWh bezogen auf die kommenden 20 Jahren abgesenkt werden können [22]. In Verbindung mit einer JAZ von 4,8 der Elektrowärmepumpe ergeben sich spezifische CO₂-Emissionen von 100 g/kWh, die den Korridor der hier betrachteten Varianten nach unten begrenzen (im Folgenden als Wärmepumpe 2 (WP2) bezeichnet).

Die spezifischen CO₂-Emissionen der in Betracht kommenden Energieträger sowie die Annahmen zur Effizienz der eingesetzten Anlagentechniken fasst Tabelle 3 zusammen.

Tabelle 3: spezifische CO₂-Faktoren der Energieträger (inkl. Vorketten) und Anlagennutzungsgrade bzw. JAZ der Anlagentechniken zur Wärmeversorgung mit resultierenden CO₂-Emissionen pro kWh Wärmeenergie

	spez. CO ₂ -Faktor des Energieträgers	Anlagennutzungsgrad/JAZ	CO ₂ -Emissionen pro kWh Wärmeverlust
Gas-Brennwertheizung	251 g/kWh [23]	100 %	251 g/kWh
Holzheizung	29 g/kWh [23]	90 %	32 g/kWh
Elektrowärmepumpe 1	601 g/kWh [23]	3,5	172 g/kWh
Elektrowärmepumpe 2	480 g/kWh	4,8	100 g/kWh

Auf Basis der in Tabelle 1 dargelegten Werte kann die stoffliche CO₂-Senkenleistung mit den durch die Wärmeverluste hervorgerufenen jährlichen CO₂-Emissionen in der Weise verrechnet werden, dass das Kompensationspotential in Form eines Differenz-U-Wertes (ΔU) ausgewiesen wird. Dabei fließen die CO₂-Emissionen, die durch Wärmeverluste in der Heizperiode induziert sind, in Form einer bauteilspezifische Betrachtung auf der Basis des Heizperiodenbilanzverfahren nach EnEV 2007 [24] ein, in dem die Heizperiode über eine einheitliche Gradtagszahl von 66 kWh/a (einschließlich Nachtabsenkung) abgebildet wird. Die ΔU -Werte eines Massivholz-Außenbauteils mit der Dicke x (in Metern) ergeben sich aus dem Verhältnis der volumenbezogenen Senkenleistung pro Quadratmeter Bauteilfläche zu dem Produkt aus Gradtagszahl und CO₂- Emissionen, die vom eingesetzten Energieträger und der jeweiligen Anlagentechnik pro kWh Wärmeverlust abhängen:

$$\Delta U_x = SL_v * x \text{ m}^3/\text{m}^2 / (\text{Gradtagszahl} * \text{spezifische CO}_2\text{- Emission pro kWh}) [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$$

Es resultieren je Zentimeter eingesetzten Massivholzes folgende ΔU -Werte:

Gasheizung: $\Delta U = 0,005 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Wärmepumpe 1: $\Delta U = 0,007 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Wärmepumpe 2: $\Delta U = 0,012 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Holzheizung: $\Delta U = 0,041 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Um die effektiven CO_2 -Emissionen durch die Wärmeversorgung von Gebäuden mit Außenbauteilen aus massivem Holz unter Einbeziehung der Senkenleistung abzubilden, können diese ΔU -Werte von den in Bild 1 aufgezeigten U-Werten einschaliger Außenbauteile aus Massivholz subtrahiert und so zur Bildung äquivalenter U-Werte herangezogen werden. Diese ermöglichen einen Vergleich von Massivholzaußenbauteilen mit konkurrierenden Aufbauten sowie mit Referenz- oder Anforderungswerten des Ordnungsrechts hinsichtlich der effektiven Klimabelastung.

Es ergeben sich brennstoffspezifisch in Abhängigkeit von der konkreten Wanddicke der Holzwand die in Bild 2 ausgewiesenen äquivalenten U-Werte einschaliger Massivholzwände.

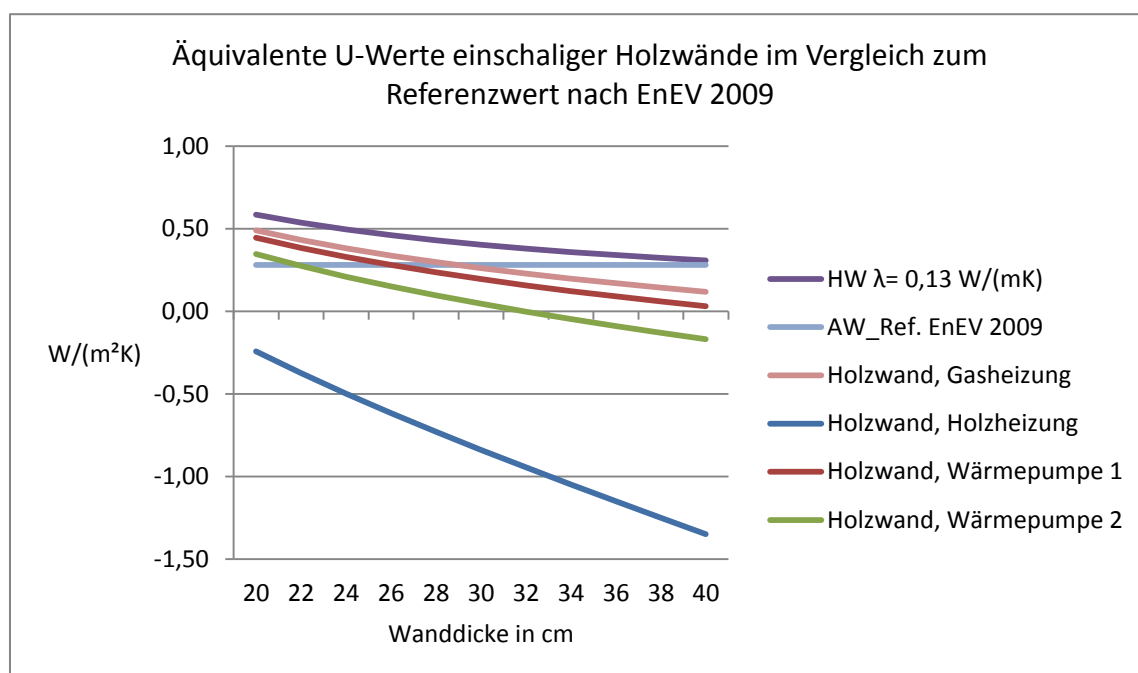


Bild 2: Äquivalente U-Werte einschaliger Holzwände im Vergleich zum Referenzwert nach EnEV 2009

Bild 2 verdeutlicht, dass die Senkenleistung des massiven Holzes erheblichen Einfluss auf die klimarelevante Gesamtbilanz der Massivholzwände hat. Während die einschaligen Wände unter ausschließlicher Betrachtung der erzielbaren U-Werte unabhängig von der Wanddicke den Referenzwert nach EnEV 2009 verfehlen, verschiebt sich das Bild bei Anrechnung der Senkenleistung signifikant. Auf der Basis des Energieträgers Gas wird ein äquivalenter U-Wert in Höhe des Referenzwertes ab einer Bauteildicke von 29 Zentimetern erreicht, bei den elektrischen Versorgungsansätzen liegt die Gleichwertigkeitsgrenze bei 26 Zentimetern (WP1) bzw. 22 Zentimetern (WP2) Bauteildicke. Mit größeren Bauteildicken stellen sich sogar Werte ein, die hinsichtlich ihrer Klimawirkung energetischen Bauteilqualitäten auf

Passivhausniveau vergleichbar sind (37,5 Zentimeter (Gasheizung), 32 Zentimeter (WP1) bzw. 26 Zentimeter (WP2)). Im Falle einer zukünftigen Wärmeversorgung mit hocheffizienten Wärmepumpen (WP2) resultiert aus einer Verrechnung der CO₂-Senkenleistung mit der wärmeinduzierten Klimabelastung ab einer Bauteildicke von 32 Zentimetern sogar eine Netto-Klimaentlastung (äquivalenter U-Wert $< 0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), die selbst durch eine Kombination eines optimalen baulichen Wärmeschutzes mit dem Einsatz erneuerbarer Brennstoffe nicht erreichbar sind.

Im Falle einer Wärmeversorgung auf Basis des regenerativen Brennstoffs Holz zeigt sich die CO₂-Senkenleistung als die dominierende Einflussgröße. Schon bei einer Bauteildicke von 20 Zentimetern ergibt sich eine Netto-Klimaentlastung. Die äquivalenten U-Werte reichen von $-0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bis zu $-1,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

3.3 Energetische versus stoffliche Holznutzung im Bauwesen

Der Kombination einer Ausführung von Außenbauteilen in massiver Holzbauweise mit einer Wärmeversorgung auf Basis von Holz konnte im voran gegangenen Kapitel ein überragendes Klimaentlastungspotential attestiert werden. Dennoch ist daraus keine Empfehlung abzuleiten, für neue Gebäude generell auf diese Kombination zurückzugreifen. Sowohl die stoffliche als auch die energetische Holznutzung im Gebäudebereich steht unter dem Vorbehalt einer nachhaltigen Produktion des Materials. Denn Holz ist zwar eine regenerative, aber keineswegs unbeschränkt verfügbare Ressource. Gemessen an der Vielzahl der möglichen Nutzungen sind die nachhaltig nachwachsenden Holzmengen sogar außerordentlich limitiert (s.o.).

Aus diesem Grunde ist der Ansatz der Energieeinsparverordnung, Holz vorbehaltlos und uneingeschränkt als erneuerbaren Energieträger einzustufen, für die die im Material gebundene chemische Energie in der Primärenergiebilanz anrechnungsfrei bleibt, außerordentlich problematisch. Die schon kurz nach Einführung der Energieeinsparverordnung gegen diesen Ansatz vorgebrachten Bedenken [25] sollten in zukünftigen Verordnungsstufen berücksichtigt werden.

Eine verschärfte Konkurrenz zwischen energetischen und stofflichen Nutzungsmöglichkeiten ist in besonderem Maße für Nadelhölzer zu erwarten, da Laubhölzer in der Regel weder für konstruktive Verwendungen im Bauwesen noch für die Produktion von Holzpellets herangezogen werden, dem zunehmend nachgefragten „modernen“ Brennstoff für den Hausbrand und für die Verstromung in Kraftwerken. Dabei ist ein großer Teil des Ausgangsmaterials aus technischer Sicht geeignet, sowohl für energetische wie für stoffliche Nutzungen aufgearbeitet zu werden. Vor diesem Hintergrund ist die Frage zu beantworten, auf welchem Wege sich durch Holznutzung im Bauwesen ein größerer Entlastungseffekt für das Klima mobilisieren lässt.

Die Klimaentlastung durch den Einsatz von Holz für die Wärmeversorgung von Gebäuden basiert auf der Verdrängung fossiler Energieträger. Durch die klimaneutrale Produktion des Brennstoffs müssen lediglich die Emissionen, die durch die Bereitstellung (Ernte, Transport etc.) entstehen, angerechnet werden. So ergeben sich die Verdrängungseffekte pro kWh Wärmebedarf aus den um diesen Betrag verminderten spezifischen Emissionswerten, die in Tabelle 3 (S. 17) als „CO₂-Emissionen pro kWh Wärme“ für die Energieträgeralternativen ausgewiesen sind.

Auch durch die stoffliche Holznutzung erfolgt eine Verdrängung von Baustoffen mit schlechterer Klimabilanz. Die prinzipiell großen Potentiale können allerdings nur im Rahmen umfangreicher Ökobilanzierungen und nur im Vergleich mit konkreten Baustoff- und Baukonstruktionsalternativen ermittelt werden. Es lassen sich daraus also keine allgemeinen Werte für die spezifischen stofflichen Verdrängungspotentiale des Baustoffs Holz gewinnen.

Die folgende Gegenüberstellung hebt also ausschließlich auf den CO₂-Senkeneffekt ab, während die stofflichen Verdrängungspotentiale hier nur insofern berücksichtigt werden, als bezogen auf die stoffliche Nutzung keine Emissionen für die Bereitstellung des Materials einfließen.

Es ergeben sich aus dem energetischen und dem stofflichen Einsatz von einem Kilogramm darrtrockenen Holzes im Bauwesen mit einem Heizwert von 5,2 kWh/kg [12] die in Bild 3 aufgezeigten CO₂-Minderungen.

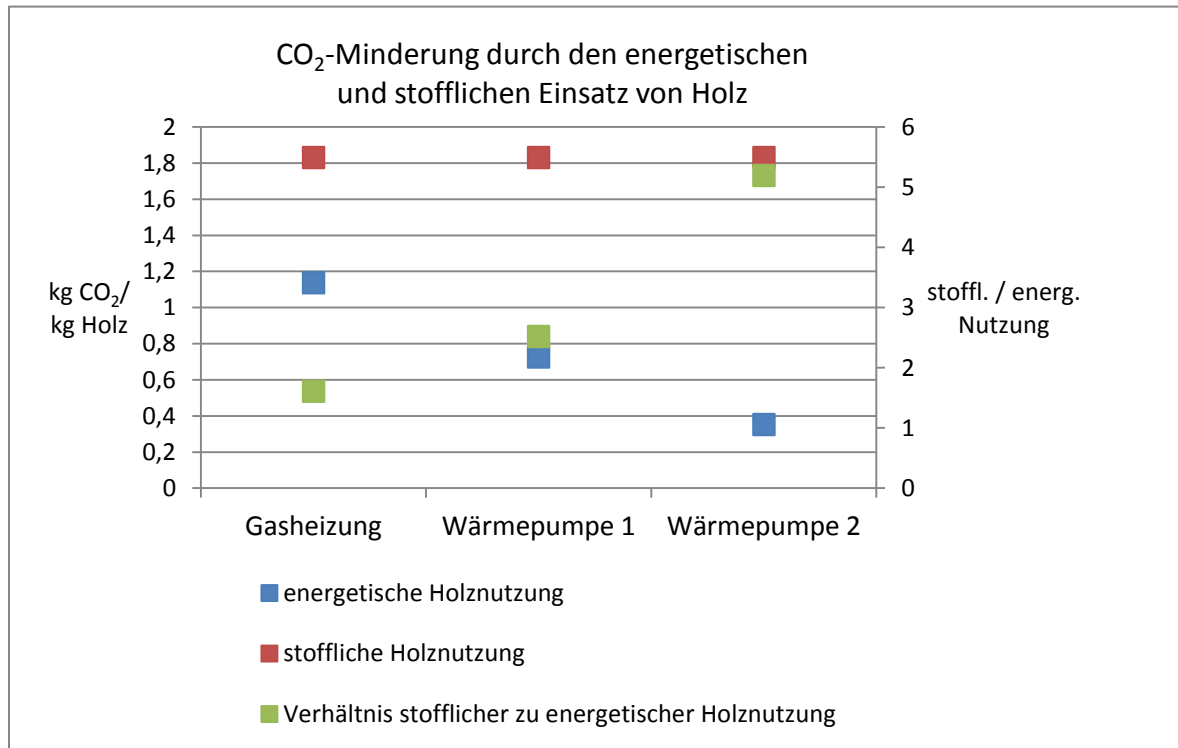


Bild 3: CO₂-Minderung durch den stofflichen und energetischen Einsatz von Holz im Bauwesen.

Bild 3 zeigt, dass sich durch den stofflichen Einsatz von Holz gegenüber einer energetischen Nutzung ein signifikant höherer Klimaentlastungseffekt mobilisieren lässt. Dies gilt selbst ohne Berücksichtigung der hohen CO₂-Minderungspotentiale durch die stofflichen Verdrängungseffekte emissionsintensiverer Baumaterialien. Schon im Verhältnis zur Substitution einer konventionellen Wärmeversorgung mit einer Gas-Brennwerttechnik durch eine energetische Holznutzung wird durch die stoffliche Verwendung des Materials eine um den Faktor 1,6 höhere Klimaentlastung bei gleichem Masseinsatz erreicht. Bei Einsatz von Wärmeversorgungstechnik mit geringeren Emissionen, wie sie schon auf Grund der Vorgaben durch die EU-Richtlinie als zukünftiger Standard angenommen werden müssen, steigt der „Entlastungshebel“ schon bei mäßigen JAZ (3,5) der Wärmepumpe auf der Basis des aktuellen spezifischen Emissionsfaktors von Strom (601 g/kWh) auf einen Wert von 2,5, um z.B. bei einer JAZ von 4,8 in Verbindung mit einem Stromemissionsfaktor von 480 g/kWh auf einen Wert von 5,2 anzusteigen.

Der immense Vorteil der stofflichen Holznutzung für eine Verringerung der CO₂-Emissionen gegenüber der energetischen, der sich in Zukunft durch Verbesserungen der Anlagentechniken weiter vergrößern wird, macht ein Umdenken mit Blick auf geeignete Anforderungen an neue Gebäude erforderlich. Für den Einsatz im Bereich von nachhaltig erstellten und klimaeffizienten neuen Gebäuden ist eine klare Präferenz der stofflichen Holznutzung gegenüber der energetischen erforderlich. Konkret sollte der energetische Einsatz auf Holzqualitäten beschränkt werden, die sich für eine stoffliche Nutzung nicht eignen, während umgekehrt Bauweisen mit hohen Holzanteilen im Sinne des Klimaschutzes erheblich forciert werden müssen, wobei auch hier eine nachhaltige Produktion des Materials sicherzustellen ist.

3.4 Die Klimaentlastung durch stoffliche Holznutzung in Plusenergiehäusern sowie unter Berücksichtigung des CO₂-Zertifikatehandels

Im Vergleich zu den zuvor betrachteten Fällen von Neubauten auf Niedrig- bzw. Niedrigstenergieniveau bekommt das Klimaentlastungspotential durch den stofflichen Einsatz von Holz im Kontext von Plusenergiehäusern eine zusätzliche Qualität. „Plusenergiehäuser“ sind zu verstehen als Gebäude, die in der Jahresbilanz mehr Energie produzieren, als für die Wärmeversorgung sowie ggf. zur Deckung des Haushaltsstrombedarfs benötigen. Im Regelfall ist bei den Produktionsmöglichkeiten von Energie an gebäudeintegrierte Photovoltaikanlagen zu denken, alternativ kommen in geeigneten Situationen auch Kleinwindanlagen zur Eigenstromproduktion in Betracht.

Wie in [26] gezeigt wurde, sind monoenergetische Plusenergiehäuser nicht nur aus ökologischer, sondern auch aus ökonomischer Sicht geeignet, sich in naher Zukunft als Neubaustandard durchsetzen zu können. Denn steigende energetische Anforderungen an Gebäude lassen sich auf diese Weise mit dem Wirtschaftlichkeitsgebot des Energieeinsparungsgesetzes [27] leichter in Einklang bringen als durch andere Versorgungskonzepte.

Um einen Gebäudestandard „Plusenergiehaus“ erreichen zu können, also einen Endenergiebedarfswert < 0 bezogen auf die für Wohngebäude relevanten Bilanzbereiche Heizwärme- und Trinkwarmwasserbedarf, ggf. auch bezogen auf den Haushaltsstrombedarf, ist die Realisierung einer hohen energetischen Gesamtqualität des Gebäudes unerlässlich. Sowohl die Kosten, die mit einer Bedarfsdeckung durch Photovoltaikstrom verbunden sind, als auch die limitierten Ressourcen geeigneter Flächen erfordern erhebliche Anstrengungen zur Optimierung auf der Bedarfsseite, also die Sicherstellung eines niedrigen Endenergiebedarfs, um eine ausgeglichene Bilanz zwischen Energiebedarf und Eigenenergieproduktion erreichen zu können.

Die verfügbaren technischen Möglichkeiten, einen hinreichend niedrigen Endenergiebedarf sicher zu stellen, sind allerdings nicht in gleichem Ausmaße wirksam. Anlagentechnischen Maßnahmen kommt in Verbindung mit einem monoenergetisch elektrischen Versorgungskonzept gegenüber baulichen Optimierungsansätzen die dominierende Bedeutung zu. Insbesondere gilt es, die exergetische Qualität von Strom für einen Nutzungsmehrwert zu mobilisieren. Neben elektrischen Wärmepumpen erfüllen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung diesen Anspruch, die mit noch besserem Verhältnis zwischen elektrischem Aufwand und thermischem Ertrag als Wärmepumpen, aber nur bezogen auf einen Anteil des Bedarfs, zur Versorgung beitragen.

Lüftungsanlagen und elektrisch angetriebene Wärmepumpen bilden also in Kooperation mit Photovoltaik- oder – in Ausnahmefällen – mit Kleinwindanlagen die tragenden Pfeiler eines stringenten Plusenergiehauskonzeptes.

Der energetischen Qualität der Außenbauteile kommt vor allem flankierende Bedeutung zu, d.h. es muss baulich sichergestellt werden, dass die benannten anlagentechnischen Komponenten sinnvoll eingesetzt können. Besondere Aufmerksamkeit gebührt der Sicherstellung einer hohen Luftdichtheit der Gebäudehülle, um Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung mit der notwendigen hohen Effizienz zu betreiben. Eine hohe Effizienz bei Wärmeversorgung über Elektrowärmepumpen ist an die Voraussetzung niedriger Systemtemperaturen gebunden, die nicht nur von großen Wärmeübergabeflächen, vorzugsweise Wand oder Fußbodenheizungen abhängt, sondern auch von einer hohen Qualität der Gebäudehüllflächen.

Sofern eine hohe energetische Gesamtqualität des Gebäudes gewährleistet ist, relativiert sich die Aussagekraft einzelner baulicher Kenngrößen grundsätzlich. Denn das Konzept „Plusenergiehaus“ impliziert, unabhängig davon, auf welche Bilanzbereiche das Unterschreiten der null bezogen wird, eine Ausgleichsmöglichkeit zwischen der Energiebedarfsmenge und der Menge an erzeugter Energie. U-Wert-Defizite einzelner Bauteile, die zu einem höheren Energiebedarf führen, können also durch entsprechend größere Photovoltaikflächen am Gebäude ausgeglichen werden.

Mit Blick auf einschalige Massivholzhäuser ist daher die Frage zu beantworten, ob die prinzipielle Kompensationsmöglichkeit auch technisch eingelöst werden kann, ob also grundsätzlich davon auszugehen ist, dass genug geeignete Dachfläche zur Verfügung steht, die U-Wert-Defizite durch zusätzlich installierte Kapazitäten von Photovoltaikanlagen zu kompensieren.

Bild 4 zeigt den Mehrbedarf an Photovoltaikfläche, der sich durch den Einsatz „monolithischer“ Massivholzaußenwände gegenüber einer Außenwand mit einem U-Wert von $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ergibt, um einen gleichen Endenergiebedarfs-Zielwert < 0 zu erreichen.

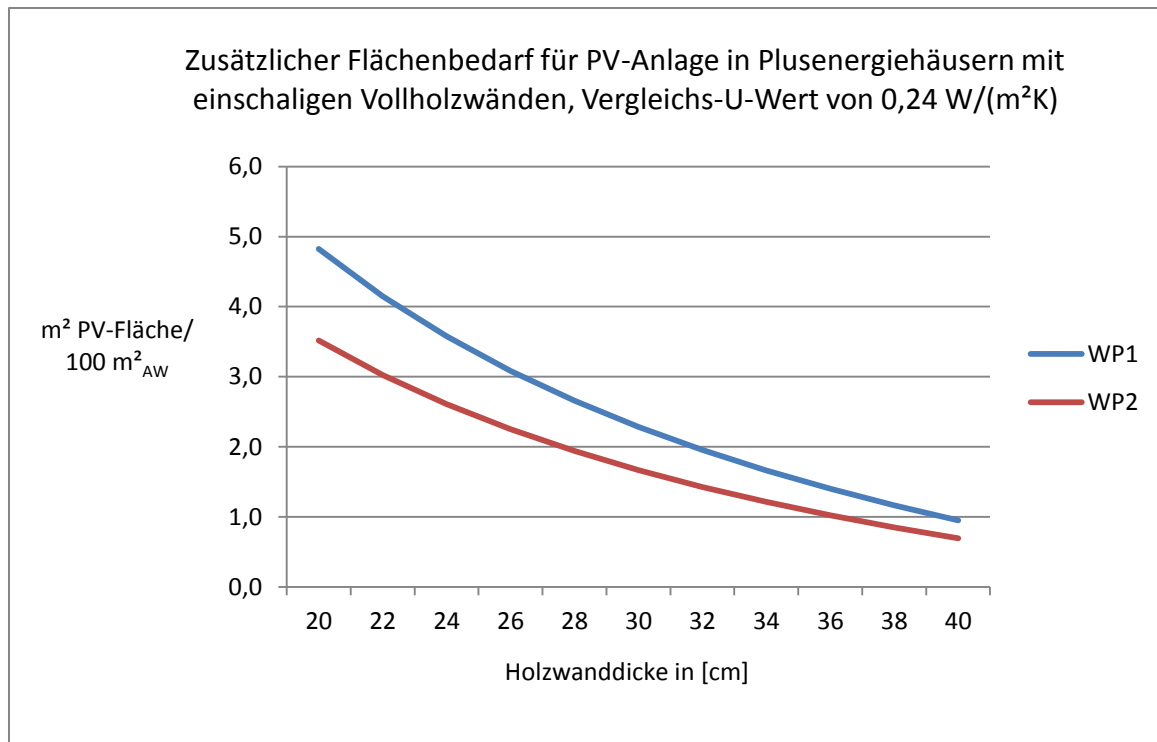


Bild 4: Zusätzlicher Flächenbedarf für PV-Anlagen in Plusenergiehäusern mit 100 Quadratmetern einschaligen Vollholzwänden gegenüber einem Vergleichsgebäude mit einem Außenwand-U-Wert von 0,24 W/(m²K)

Selbst mit einem Bauteilquerschnitt von 20 Zentimetern beträgt der zusätzliche Flächenbedarf pro 100 m² Außenwandfläche lediglich 4,8 m² im Falle der Luft/Wasser-Wärmepumpe und etwa 3,5 m² im Falle der Sole/Wasser-Wärmepumpe (bei einem Wirkungsgrad der Photovoltaikanlage von 15 % und einem Jahresertrag von 900 kWh/kWp). Mit zunehmender Bauteildicke reduziert sich der Bedarf an Ausgleichsfläche auf bis zu 1 m² (WP1) bzw. 0,7 m² (WP2), wiederum bezogen auf 100 m² Außenwandfläche.

Falls in einem Vergleichshaus mit einem Außenwand-U-Wert von 0,24 W/(m²K) in Verbindung mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe der Plusenergiehausstandard erreicht wird, besteht für das Massivholzhaus im Falle von Dachflächenknappheit ggf. die Möglichkeit, die Luft/Wasser-Wärmepumpe durch die energetisch höherwertigere Sole/Wasser-Wärmepumpe zu ersetzen. Im Falle einer solchen Substitution verringert sich der Ausgleichsbedarf. Es ergibt sich bei einem Bauteilquerschnitt von 20 Zentimetern gegenüber einer Vergleichsaußenwand mit einem U-Wert von 0,24 W/(m²K) ein Mehrbedarf von 2,6 m². Bei einem Bauteilquerschnitt von 40 Zentimetern führt die kombinierte Maßnahme „Verschlechterung des U-Werte und Verbesserung der Wärmepumpe“ sogar zu einer Überkompensation: Es werden 0,2 m² Photovoltaikfläche pro 100 m² Außenwandfläche weniger benötigt.

Ohne hier konkrete Einzelfälle bewerten zu können, wird deutlich, dass die U-Werte von einzelnen Bauteilen einen nur geringen Einfluss darauf haben, ob Häuser den Plusenergiehausstandard erreichen oder nicht. Bezogen auf die Bilanzbereiche, die nach den aktuellen Regelungen der EnEV bei Wohngebäuden betrachtet werden müssen, ist auf der

Basis einer sinnvollen baulichen Ausführung und anlagentechnischen Konfiguration (s.o.) das Erreichen eines Endenergiebedarfs-Zielwertes < 0 durch die Einbindung einer Photovoltaikanlage allemal erreichbar. Erst durch die anteilige oder vollständige Einbeziehung des Haushaltsstrombedarfs kann sich eine Knappheit an verfügbaren geeigneten Dachflächen für die Eigenstromproduktion ergeben.

Im Regelfall ist allerdings auch in diesem Falle davon auszugehen, dass die vergleichsweise hohen U-Werte monolithischer Holzbaulemente vollständig kompensiert und die Unterschreitung eines Endenergiebedarfswertes von null in der Jahresbilanz erreicht werden können.

Die Mobilisierung der CO_2 -Senkenwirkung wird in „Plusenergiehäusern“ also nicht mehr mit einem höheren Energiebedarf erkauft, da dieser durch die gebäudeintegrierte Energieerzeugung aufgefangen wird. Es verbleibt die CO_2 -Senkenwirkung als Netto-Klimaentlastung (Bild 5).

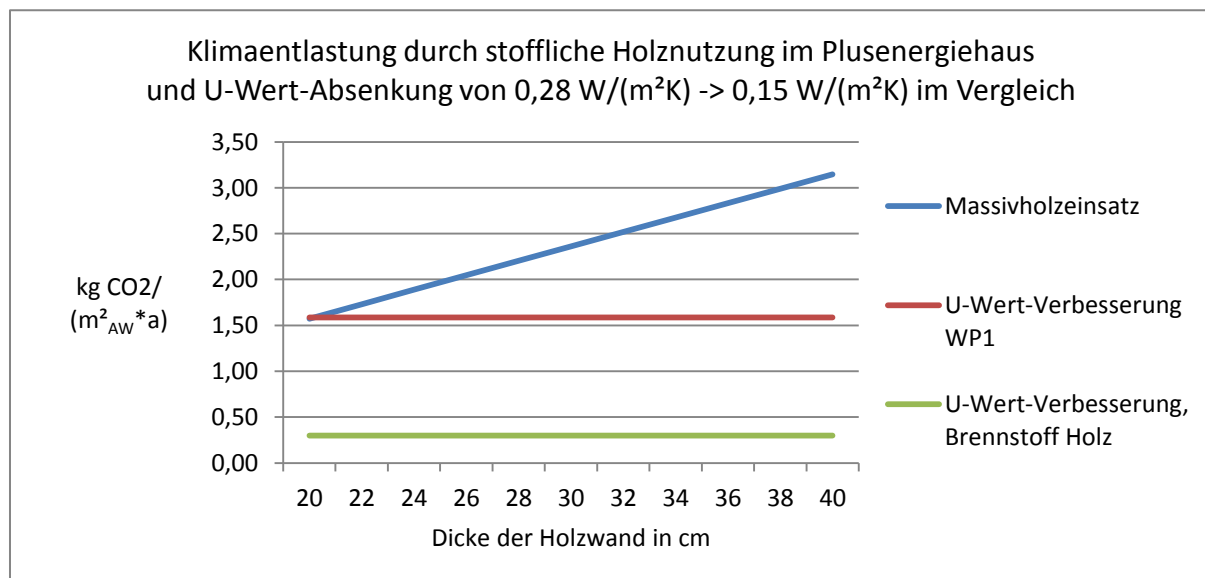


Bild 5: Klimaentlastung durch stoffliche Holznutzung im Plusenergiehaus und durch Absenkung des Außenwand-U-Wertes von $0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ auf $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ im Vergleich.

Schon bei einem minimalen Bauteilquerschnitt von 20 Zentimetern ist der Entlastungseffekt größer als durch eine energetische Aufwertung von Außenbauteilen vom Außenwand-Referenz-U-Wert von $0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ auf $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in Vergleichsgebäuden, die den Plusenergiehausstandard nicht erreichen. Das gilt für den Fall, dass im Vergleichsgebäude eine Luft/Wasser-Wärmepumpe zum Einsatz kommt, insbesondere aber dann, wenn die Wärmeversorgung über den regenerativen Brennstoff Holzpellets erfolgt. Bei Bauteilquerschnitten von 40 Zentimetern übersteigt der Entlastungseffekt der stofflichen Holznutzung den der U-Wert-Verbesserung um den Faktor 2 (WP1) bzw. 5 (Holzpellets).

Sofern in diesem Sinne ein Plusenergiehausstandard realisiert wird, sind also zusätzliche Anforderungen an eine bestimmte energetische Qualität der Außenbauteile aus den Schutzziele der Energieeinsparverordnung nicht abzuleiten.

Es muss hier aber darauf hingewiesen werden, dass eine energetische Gleichwertigkeit nicht gleichbedeutend mit einer wirtschaftlichen und bauphysikalischen Gleichwertigkeit ist. Mögliche Nachteile relativ hoher U-Werte für die thermische Behaglichkeit oder schallschutztechnische Nachteile sind aber ebenso wenig wie erhöhte Energiebezugs- und -produktionskosten für die hier zur Diskussion stehenden Klimaschutzaspekte von Relevanz.

In ähnlicher Weise wie in Plusenergiehäusern, in denen die Eigenenergieproduktion den Energieverbrauch ausgleichen kann, führt auch der Mechanismus des CO₂-Zertifikatehandels zu einer relativen Aufwertung der Klimaentlastung durch stoffliche Holznutzung gegenüber Maßnahmen zur Energieeinsparung.

Durch den in Anhang 3 beschriebenen Mechanismus des Zertifikatehandels, der in der energetischen Bilanzierung und Bewertung von Gebäuden bisher nicht beachtet wird, stellt sich nämlich in der Gesamtsicht auf die energiebedingten CO₂-Emissionen aus dem Betrieb von Gebäuden und aus der Stromerzeugung die Auslagerung der Emissionen in den Stromsektor, also die Umstellung der Wärmeversorgung auf elektrisch betriebene Wärmepumpen, als die wirksamste Maßnahme zur Emissionsminderung dar. In Verbindung mit einer solchen Strategie ergibt sich ein analoger Effekt wie bei Plusenergiehäusern: Im Gebäude selbst erschließt sich ausschließlich über die stoffliche Nutzung von Holz eine Netto- Klimaentlastung sui generis. Dagegen wirken Maßnahmen zur Energieeinsparung im Gebäude ebenso wie die Netzeinspeisung von Strom aus erneuerbaren Quellen lediglich flankierend in Form einer Entlastung des Stromsektors.

4. Vorschlag zur Berücksichtigung der CO₂-Senkenleistung in der Energieeinsparverordnung

Die vorangegangenen Analysen haben gezeigt, dass sich über die stoffliche Nutzung von Holz im Bauwesen ein erhebliches Potential durch Senkung der CO₂-Emissionen erschließen lässt. Die auf diese Weise erreichbaren Klimaentlastungen übertreffen die Emissionsreduktionen, die durch Substitution fossiler durch regenerative Brennstoffe für die Wärmeversorgung möglich sind, deutlich. In Abhängigkeit von den eingesetzten Energieträgern und Wärmeversorgungstechniken sind darüber hinaus durch stoffliche Holznutzung größere Emissionsminderungen zu erreichen als durch die Realisierung hochwertiger U-Werte durch verstärkte Dämmmaßnahmen alternativer Außenbauteile.

Unter Berücksichtigung der Interdependenzen zwischen dem Wärmebedarf von Gebäuden und dem EU-Handelssystem mit CO₂-Zertifikaten stellt sich die stoffliche Nutzung von Holz sogar - neben dem Ersatz brennstoffbasierter durch elektrische Versorgungskonzepte - als einziger wirksamer Hebel dar, in Neubauvorhaben eine Klimaentlastung sui generis bewirken zu können. Dies gilt ebenfalls für die Fälle, in denen Gebäude als Plusenergiehäuser ausgeführt werden. Die Nettoklimaentlastung, die durch die stoffliche Holznutzung in Plusenergiehäusern umgesetzt werden kann, hat besonderes Gewicht, da Plusenergiehäuser gegenüber aktuellen energetischen Neubaustandards nicht nur ökologische, sondern auch ökonomische Vorteile aufweisen und deshalb davon auszugehen ist, dass sie sich kurz- oder mittelfristig als Gebäudestandard durchsetzen werden.

Es ist aus diesen Gründen im Interesse des Klimaschutzes eine deutliche Steigerung des stofflichen Einsatzes von Holz im Bauwesen anzustreben. Das gilt auch für Holzleichtbauweisen, die schon in der Charta für Holz angesprochen wurden, auf Grund der Masseabhängigkeit der CO₂-Senkenleistung aber vor allem für Massivholzkonstruktionen.

Einer Umsetzung dieser Herausforderung stehen allerdings steigende öffentlich/rechtlich Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden entgegen, die im Wesentlichen durch die Notwendigkeit des Klimaschutzes begründet sind. Da die Bauteil-U-Werte einschaliger Massivholzkonstruktionen z.T. deutlich hinter den Werten zurückbleiben, die mit gedämmten Aufbauten erreicht werden können, besteht die Gefahr, dass sie kurz- oder mittelfristig vom Markt verschwinden werden.

Der Klimaschutz als vorrangiges Schutzziel der Energieeinsparverordnung gebietet daher, einen Mechanismus in die gesetzlichen Vorgaben aufzunehmen, der sicherstellt, dass verschärfte energetische Anforderungen an neue Gebäude den Einsatz von Massivholzbausystemen kurz- oder mittelfristig nicht schutzzielwidrig verhindern.

Dabei besteht die Hauptherausforderung in der Identifizierung geringinvasiver Maßnahmen, da die auf die Verbrauchsreduktion fossiler Energieträger fokussierten gesetzlichen Instrumente, insbesondere die EnEV und das EEWärmeG, schon jetzt in der Kritik stehen, inhaltlich zu überfrachtet zu sein, um im erforderlichen Ausmaße effektiv die Umsetzung der Schutzziele sicher stellen zu können.

Aber auch mit Blick auf eine mögliche Übertragbarkeit der Resultate auf andere Anforderungsmethoden, z.B. durch bauteilspezifische Maximal-U-Werte, wie sie einigen Regionen der Schweiz und Österreichs vorgegeben werden, sind transparente und möglichst einfache Ansätze zur Berücksichtigung der CO₂-Senkenleistung von Massivholzelementen zu entwickeln.

Diese Herausforderung führt zu wesentlichen Einschränkungen der Möglichkeiten, die CO₂-Senkenleistung durch stoffliche Holznutzung in die öffentlich-rechtlichen Anforderungen an neue Gebäude einfließen zu lassen:

1. Es können keine Ergebnisse einer umfassenden Ökobilanzierung der Holznutzung als Baumaterial in den zu erarbeitenden Vorschlag einfließen, da die EnEV und das EEWärmeG weder aktuell noch absehbar in Zukunft eine Ökobilanz von Baustoffen berücksichtigen können. Dies ist insofern bedauerlich, als mit sinkendem Energieverbrauch von Gebäuden in der Betriebsphase der Energieaufwand für Bereitstellung und Entsorgung des Baumaterials für die energetische Gesamtbilanz immer größere Bedeutung gewinnt und Holz als regenerativ verfügbares Baumaterial in einer umfänglichen Lebenszyklusanalyse allen anderen Baumaterialien weit überlegen ist [14]. Dies gilt aufgrund des geringen Bereitstellungsaufwandes, vor allem aber mit Blick auf das Ende der Nutzungsphase, da massiv eingesetztes Bauholz zum großen Teil sogar mehrfach weiteren stofflichen Verwendungen zugeführt werden kann, um anschließend als regenerativer Brennstoff für die thermische oder elektrische Energiegewinnung eingesetzt werden zu können. Diese vielfach dokumentierten Vorzüge des Einsatzes von Holz als Baumaterial können im Rahmen dieser Studie immerhin als Hintergrundinformation in der Weise einfließen, dass ggf. reduzierte Energieeinsparungen in der Betriebsphase eines Gebäudes mit Blick auf den gesamten Lebenszyklus als vertretbar angesehen werden können.
2. Als weitere Einschränkung ergibt sich aus der Systematik der oben angesprochenen gesetzlichen Regelungen, dass innen liegende Bauteile gänzlich außer Betracht bleiben müssen. Zwar ist unstrittig, dass innen liegende Bauteile, die einen hohen Masseanteil am Gesamtgebäude ausmachen, als besonders attraktive Möglichkeit der Kohlenstoffspeicherung anzusehen sind, zumal hier die Verwendung von massivem Holz nicht mit potentiell höheren Energieverlusten einhergehen. Allerdings ist eine Ausführung der Innenbauteile in Massivholz zwar ein typisches, aber weder ein konstitutives noch ein exklusives Merkmal von Massivholzbauarten, sondern in nahezu allen anderen Bauarten ebenfalls zumindest möglich. Daher kann hieraus

nicht die Notwendigkeit einer grundlegenden Abweichung von der EnEV- Methodik abgeleitet werden kann, ausschließlich die energetisch wirksamen, d.h. die Außenbauteile in Betracht zu ziehen.

Die Spielräume, die CO₂-Entlastung der Atmosphäre durch massiven Einsatz von Holz als Baumaterial in den EnEV-Anforderungen zu berücksichtigen, sind darüber hinaus insofern begrenzt, als der Klimaschutz als mittelbarer Effekt der Energieeinsparung das wohl vorrangige aber nicht das alleinige Schutzziel dieser Verordnung ist, sondern auch die Energieeinsparung selbst, da sie die Unabhängigkeit von Energieimporten erhöht und zur Versorgungssicherheit beiträgt. Zwar sind einige EU-Mitgliedsstaaten (Norwegen, Vereinigtes Königreich) bereits zu emissionsbasierten Bewertungen von Gebäuden übergegangen, und auch in der EnEV-Methodik manifestiert sich eine deutliche Priorisierung des Klimaschutzes, indem sie auf eine primärenergetische Bewertung der Gebäude abhebt, in der regenerative Brennstoffanteile anrechnungsfrei bleiben. Dennoch darf die Energieeinsparung als eigenes Schutzziel nicht außer Betracht bleiben. Im Gegenteil bedarf der aktuell ausgeprägte Fokus der EnEV auf den Klimaschutz seinerseits dringend einer Revision, denn er basiert auf der fatalen Fehleinschätzung der Attribute „regenerativ“ und „unbegrenzt verfügbar“ als gleichwertig, während tatsächlich die Gefahr besteht, dass die Reserven nachhaltig verfügbarer regenerativer Brennstoffe eher erschöpft sein könnten als die fossilen, die sie substituieren sollen [s.o.].

Die Anrechenbarkeit der regenerativen Kohlenstoffspeicherung ist aus diesen Gründen auf ein Maß zu beschränken, das einen möglichst geringen Energiebedarf sicherstellt, andererseits aber gewährleistet, dass Massivholzbauarten als wirksames Mittel zum Klimaschutz am Markt nicht nur bestehen können, sondern sogar verstärkt angereizt werden.

Um einen maximalen Mehrwert für die Klimaentlastung bei gleichzeitig möglichst geringen Zugeständnissen hinsichtlich des Energiebedarfs sicherzustellen, muss sich eine Verrechnungsmöglichkeit der stofflichen Klimaentlastung sowohl auf der baulichen wie auf der anlagentechnischen Seite am schlechtesten praxisrelevanten Fall orientieren. Dieser liegt, wie oben gezeigt, in erster Annäherung dann vor, wenn der Minimalquerschnitt des „monolithischen“ Holzbauteils mit einer Wärmeversorgung über eine Gas-Brennwertheizung kombiniert wird. Allerdings ist diese Wärmeversorgungsstrategie im Neubaubereich als Auslaufmodell anzusehen. Schon jetzt wird dieser Versorgungsansatz den Anforderungen des EEWärmeG nur deshalb gerecht, weil in diesem Fall von einer anteiligen regenerativen Deckung des Heizwärmebedarfs abgesehen wird, wenn ein definierter solarthermischer Deckungsbeitrag für die Trinkwassererwärmung gewährleistet ist. Es ist aber nicht davon auszugehen, dass diese Sonderregelung in den nächsten Entwicklungsstufen dieses Gesetzes Bestand haben kann. Vor allem aber gesteht die explizite Forderung der EU, dass spätestens ab dem 1. Januar 2021 der Wärmebedarf von Gebäuden „überwiegend aus erneuerbaren Energiequellen“ abgedeckt werden muss, einer rein fossilen Gaswärmeversorgung keine Zukunft zu.

Somit kann sich die Ermittlung einer adäquaten Beaufschlagung des Referenzwertes bei Einsatz von massiven Holzbauteilen an den wärmebedarfsinduzierten Emissionen einer (relativ) schlechten Wärmepumpe orientieren (hier WP 1). Es ergibt sich auf der Basis eines Minimalquerschnitts einer „monolithischen“ Holzwand von 20 Zentimetern:

ΔU

$$= (0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2 * 1,83 \text{ kg CO}_2/\text{kg} * 430 \text{ kg}/\text{m}^3/100 \text{ a}) / (66 \text{ kWh}/\text{a} * 1/3,5 * 0,600 \text{ kg CO}_2/\text{kWh})$$
$$= 0,14 \text{ [W}/(\text{m}^2\text{K})]$$

Dieser ΔU -Wert könnte unmittelbar in bauteilspezifische Anforderungen einfließen, wie sie u.a. in einigen Ländern/Kantonen von Österreich oder der Schweiz gestellt werden. Hier wären ggfs. sogar höhere Beaufschlagungen zu prüfen, da in beiden Ländern die spezifischen CO_2 -Emissionen des Strommixes z.T. deutlich niedriger liegen als in Deutschland. Eine Anpassung kann über einen Faktor vorgenommen werden, der sich aus dem Quotienten aus den spezifischen CO_2 -Emissionen Deutschlands und denen des jeweiligen Landes ergibt.

Das Zugeständnis erhöhter Wärmeverluste für „monolithische“ Außenbauteile aus Massivholz ist in die Anforderungen der Energieeinsparverordnung aufgrund der integralen Bewertungs- und Anforderungssystematik etwas schwieriger zu implementieren.

Eine Berücksichtigung auf der Bilanzseite des tatsächlich geplanten Gebäudes ist nicht möglich, da die Energieverlustleistung eines Gebäudes nicht unmittelbar mit stofflichen CO_2 -Senken verrechnet werden kann. Vor allem aber muss der Energieausweis nicht nur die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen dokumentieren, sondern auch einer Informationsaufgabe über den zu erwartende Energieverbrauch genügen, die durch die Verrechnung nicht energetischer Aspekte nicht beeinträchtigt werden darf.

Die CO_2 -Senkenleistung muss daher auf der Anforderungsseite des EnEV-Verfahrens Berücksichtigung finden. Dafür bietet das Referenzgebäudeverfahren, in dem der spezifische Anforderungswert an ein Gebäude aus einer Parallelrechnung des Gebäudes mit festgelegten Referenzwerten generiert wird, eine günstige Grundlage. Die Implementierung kann hier in der Form erfolgen, dass die Referenzwerte der in Massivholzbauweise ausgeführten Bauteile um einen bestimmten Betrag angehoben werden:

$$U_{\text{ref,mod}} = U_{\text{ref}} + \alpha * \Delta U_{\text{Holzbauteil}}$$

Mit

α = Anteil des Massivholzbauteils an der gesamten Bauteilfläche.

Wenn also eine Massivholzaußenwand einen Anteil von 60 % am Gesamtbauteil Außenwand eines neuen Gebäudes aufweist, ergibt sich auf Basis des aktuellen Referenzwertes für Außenwände von $0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ein modifizierter Referenz-U-Wert von $0,36 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$:

$$0,28 + 0,6 * 0,14 = 0,36 \text{ [W/(m}^2\text{K)]};$$

Der in dieser Form flächenanteilig beaufschlagte Referenz -U-Wert des Bauteils fließt sowohl in die aus der Referenz abgeleitete Hauptanforderung als auch in die Nebenanforderung ein.

Die Umsetzung könnte vorgenommen werden, indem in den Anlagen 1 und 2 zu den §§ 3 und 9 der Energieeinsparverordnung die Tabellen zur Ausführung des Referenzgebäudes um folgende Anmerkung ergänzt wird.

- Bei opaken Außenbauteilflächen mit flächigen Massivholzbaulementen von mindestens 0,2 Metern Dicke (senkrecht zum Wärmestrom) können die Referenzwerte der betroffenen Bauteilflächen um einen Wert von 0,14 W/(m²K) erhöht angesetzt werden.

Die Beaufschlagung würde für Außenwände aus Massivholz zu einem effektiven Referenz-U-Wert in Höhe von 0,42 [W/(m²K)] führen, der mit Bauteilen mit einem Querschnitt von knapp 29 Zentimetern eingehalten werden kann. Bei geringeren Bauteilquerschnitten ist wie bei den aktuellen EnEV-Anforderungen eine Kompensation der U-Wert-Defizite erforderlich, die durch - gegenüber den Referenzannahmen - höherwertigen energetischen baulichen und/oder anlagentechnischen Qualitäten geleistet werden kann. Bei größeren Bauteilquerschnitten resultiert aus der vorgeschlagenen Regelung eine „negative Kompensationsmöglichkeit“, d.h. hier würde sich ein – allerdings geringfügiger – Spielraum ergeben, von den Referenzvorgaben bei anderen Bauteilen nach unten abzuweichen.

Bild 6 zeigt die effektiven Nettoauswirkungen der vorgeschlagenen Regelung auf die jährliche CO₂-Bilanz eines Massivholzbauteils gegenüber dem Referenzwert nach EnEV 2009 für Außenwände U= 0,28 W/(m²K). Als Vergleichswerte sind zusätzlich die CO₂-Minderungseffekte ausgewiesen, die sich alternativ durch eine Verbesserung des aktuellen Außenwand-Referenz-U-Wertes auf einen Wert von 0,15 W/(m²K) (Passivhausstandard) bei Einsatz einer Luft/Wasser-Wärmepumpe (WP1) ergeben.

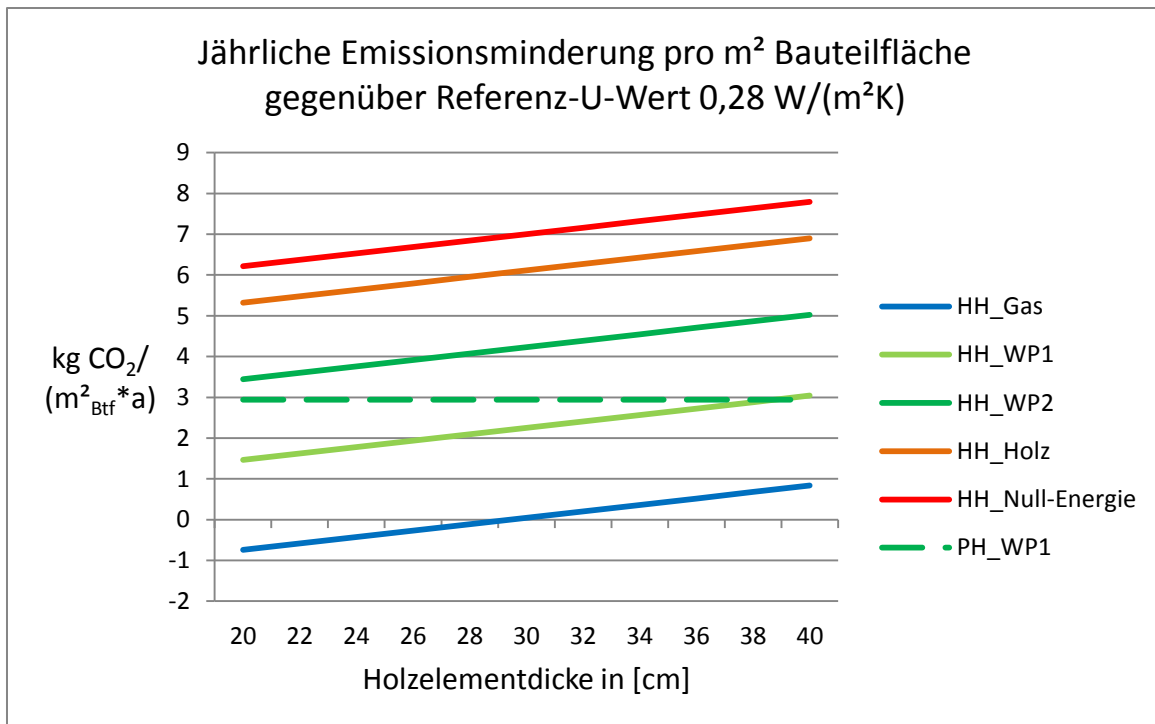


Bild 6: Jährliche Emissionsminderung durch stoffliche Holznutzung pro m² Bauteilfläche BtF bei Beaufschlagung des Referenz-U-Wert von 0,28 W/(m²K) um $\Delta U = 0,14$ W/(m²K) im Vergleich zu einer Absenkung des Bauteil- U-Wertes auf 0,15 W/(m²K) (Passivhausstandard) (WP1).

Mit der Anhebung des bauteilspezifischen Referenzwertes wird für Gebäude in Massivholzbauweise ein Mehrbedarf pro betroffenem Quadratmeter Bauteilfläche in Höhe von $0,14$ W/(m²K) * 66 kWh/a = 9,24 kWh/(m²a) zugestanden, verbunden mit zulässigen Zusatzemissionen an Kohlenstoffdioxid aus der Wärmeversorgung zwischen 0,30 kg/(m²_{BtF}a) (Energieträger Holz) und 2,32 kg/(m²_{BtF}a) (Energieträger Gas). Dem steht eine CO₂-Senkenleistung durch das massive Holzbauteil in Höhe von 7,87 kg/(m³a) bzw. 78,7 g pro cm Holzelementdicke (senkrecht zum Wärmestrom) gegenüber.

Aus Bild 6 lässt sich erkennen, dass die vorgeschlagene Beaufschlagung des bauteilspezifischen Referenzwertes trotz des damit zugestandenen höheren Energiebedarfs nicht zu Nettozusatzemissionen von Kohlenstoffdioxid führt, sondern sich durch den Einsatz von Massivholzbauteilen durchweg eine signifikante Treibhausgasentlastung bis zu annähernd 8 kg CO₂/(m²_{BtF}*a) einstellt. Lediglich bei Einsatz einer Gas-Brennwertheizung und bei einer Holzelementdicke von < 29 cm ergibt sich eine Zusatzemission von bis zu 0,75 kg CO₂/(m²a).

Sobald, wie von der EU gefordert, zumindest anteilig die Wärmeversorgung auf erneuerbaren Energieträgern basiert, ergibt sich selbst bei Massivholzelementen von 20 cm Dicke in allen Varianten eine Minderung der Klimabelastung. Für Bauteile mit hoher Massivholzmasse pro Quadratmeter und verstärkter Einbindung erneuerbarer Energien zeigen sich z.T. erhebliche Reduktionseffekte von Kohlenstoffdioxid. Bei Einsatz einer Erdwärmepumpe in Verbindung mit reduzierten spezifischen CO₂-Emissionen des Energieträgers Strom liegt die jährliche Nettoentlastung ab einer Holzelementdicke von 22

cm sogar höher als die Kombination dieser Anlagentechnik mit dem verbesserten Wärmeschutz gemäß Passivhausstandard. Im Falle einer Wärmeversorgung auf der Basis erneuerbarer Brennstoffe (insbesondere Holz) und erst recht im Falle einer vollständigen regenerativen Eigendeckung des Energiebedarfs für die Gebäudekonditionierung bei Null- oder Plusenergiehäusern werden die Potentiale zur Emissionsminderung über Energieeinsparungen übertroffen. Die Klimaentlastung einschaliger Massivholzelemente mit Querschnitten von 40 cm übersteigt die durch eine Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes von 0,28 W/(m²K) auf 0,15 W/(m²K) bei Einsatz von WP1 erreichbaren Einsparungen um annähernd 5 kg CO₂/(m²_{Btf}*a), entsprechend einem Faktor 4.

Bild 7 lässt erkennen, dass der pauschale Zuschlag von 0,14 W/(m²K) des betroffenen Referenzwertes auch auf Außenbauteile mit niedrigeren Referenzwerten, z.B. Dachflächen angewendet werden kann. Somit ist der Vorschlag ebenfalls gegenüber steigenden Anforderungen, z.B. durch eine mögliche Anhebung des Außenwandreferenzwertes nach EnEV 2015 auf 0,2 W/(m²K), robust. Im Vergleich zu der Maßnahme einer zusätzlichen Verbesserung des Bauteil- U-Wertes auf Passivhausstandard erhöht sich, unabhängig vom eingesetzten Energieträger, sogar der relative Vorteil.

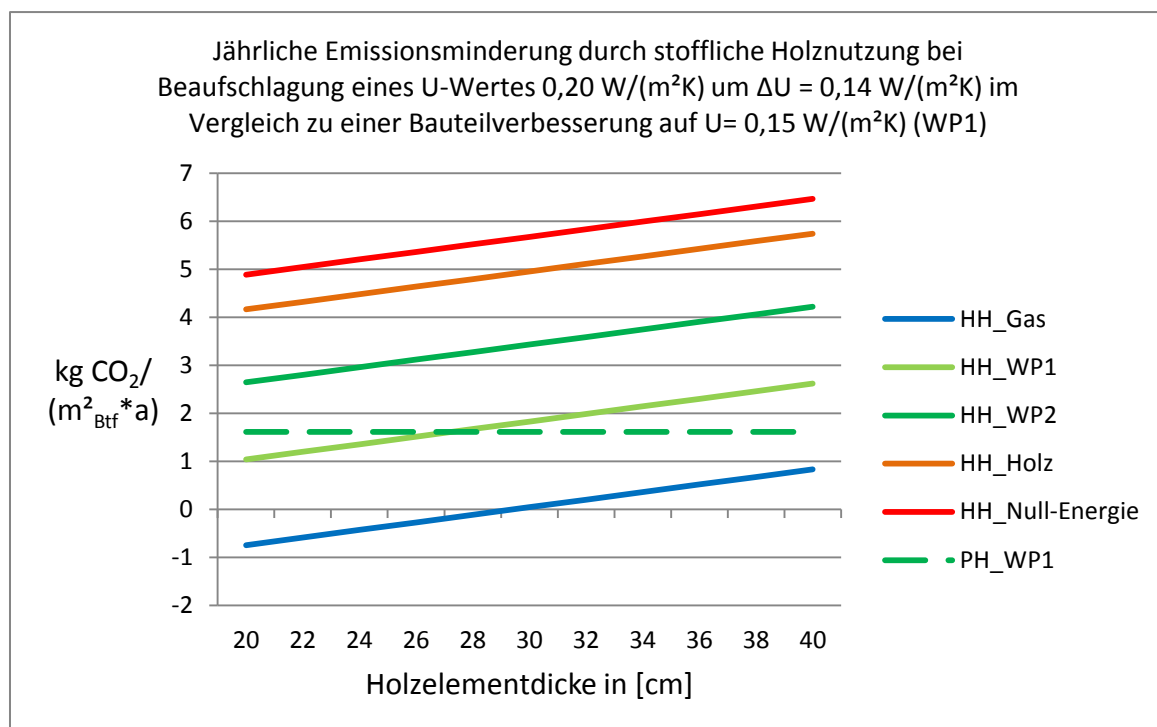


Bild 7: Jährliche Emissionsminderung durch stoffliche Holznutzung pro m² Bauteilfläche Btf bei Beaufschlagung eines U-Wertes von 0,20 W/(m²K) um $\Delta U = 0,14$ W/(m²K) im Vergleich zu einer Bauteilverbesserung auf Passivhausniveau, U=0,15 W/(m²K) (WP1).

Die Entlastung von „monolithischen“ Bauteilen aus massivem Holz durch Beaufschlagung des jeweiligen Referenz-U-Wertes um $\Delta U = 0,14$ W/(m²K) sollte ebenso an den Nachweis einer nachhaltigen Produktion des Materials gebunden werden wie im Falle einer energetischen Nutzung von Holz zur Wärmeversorgung von Gebäuden.

5. Fazit

Die Untersuchung des Klimaentlastungspotentials durch Massivholzbauarten führt zu folgendem Ergebnis:

1. Der stofflichen Nutzung von Holz in Außenbauteilen in Form von massiven flächenbildenden Elementen lässt sich eine Klimaentlastungsleistung durch Bindung von CO₂ zurechnen. Mit Bezug auf das Volumen ergibt sich folgende CO₂-Senkenleistung:
$$SL_V = 1,83 \text{ [kg CO}_2\text{/kg]} * 430 \text{ [kg/m}^3\text{]} / 100 \text{ a} = 1,83 * 4,3 \text{ [kg CO}_2\text{/(m}^3\text{a)]}$$
2. Die CO₂-Senkenleistung kann bei monolithischen Konstruktionen mit mäßigen Bauteil-U-Werten die energiebedarfsinduzierten Zusatzemissionen gegenüber der Referenzausführung nach EnEV weitgehend kompensieren. In Abhängigkeit von der Wärmeversorgungs-technik und dem eingesetzten Energieträger gelingt die Kompensation bei geringen Bauteilquerschnitten annähernd, bei hohen Bauteilquerschnitten ist z.T. eine effektive Reduktion der Emissionen möglich.
3. Je höher die energetische Qualität der Wärmeversorgung, umso stärker wirkt der Beitrag zur Klimaentlastung durch stoffliche Holznutzung. Er kann die Klimaentlastungspotentiale, die sich durch energetisch optimierte Bauweisen erreichen lassen, ggf. signifikant übersteigen.
4. Bei Plusenergiehäusern, die auch auf der Basis „monolithischer“ Außenbauteile aus Holz realisiert werden können, wirkt die stoffliche Holznutzung in der Jahresbilanz in vollem Umfang als Netto-CO₂-Senke. Dieser Aspekt hat besonderes Gewicht, da nicht nur aus ökologischen, sondern auch aus ökonomischen Gründen davon auszugehen ist, dass Plusenergiehäuser sich schon mittelfristig als Gebäudestandard am Markt etablieren werden.
5. Der Mechanismus des CO₂-Zertifikatehandels bewirkt, dass in der Gesamtsicht auf die energiebedingten CO₂-Emissionen aus dem Betrieb von Gebäuden und aus der Stromerzeugung elektrische Wärmeversorgungsstrategien brennstoffbasierten vorzuziehen sind, womit im Gebäude selbst lediglich die stoffliche Nutzung von Holz als Möglichkeit verbleibt, zusätzliche Klimaentlastungen zu mobilisieren.
6. Gegenüber der energetischen mobilisiert die stoffliche Holznutzung pro Masseinheit das weitaus größere Klimaentlastungspotential. Für den Einsatz im Bereich von nachhaltig erstellten und klimaefizienten neuen Gebäuden ist eine klare Präferenz der stofflichen Holznutzung gegenüber der energetischen erforderlich.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die stoffliche Holznutzung im Bauwesen ein erhebliches CO₂-Minderungspotential bietet, das in besonders effektiver Weise über Massivholzbauweisen erschlossen werden kann. Im Verhältnis zur Emissionsminderung durch Energieeinsparung und den Einsatz erneuerbarer Energieträger gewinnt die stoffliche CO₂-Senkenleistung zunehmend an Gewicht. Im Interesse des Klimaschutzes ist daher eine deutliche Steigerung des stofflichen Einsatzes von Holz im Bauwesen, insbesondere eine

steigende Marktdurchdringung von Massivholzkonstruktionen anzustreben. Dies gilt umso mehr, als in der vorliegenden Studie zwei wesentliche Aspekte noch nicht berücksichtigt sind: Weder die Kohlenstoffsenke durch innenliegende Bauteile aus Holz wurde angerechnet, da sie für Massivholzbauarten zwar typisch, aber nicht konstitutiv sind, noch wurde die erhebliche Klimaentlastung durch Verdrängung emissionsintensiver Baumaterialien durch den Baustoff Holz einbezogen, der zwar vielfach belegt ist, aber normativ nicht in einer Weise erfasst werden kann, dass eine mögliche Berücksichtigung in der EnEV realistisch erscheint.

Vor dem Hintergrund der Tatsache, dass etliche Massivholzbausysteme durch die anstehenden Verschärfungen von Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden akut gefährdet sind, bedarf es also dringend der Möglichkeit, die Kohlenstoff-Senkenleistung des Baustoffes Holz im Rahmen der EnEV-Nachweisführung berücksichtigen zu können.

Es wird aus diesem Grunde empfohlen, der CO₂-Senkenleistung durch stoffliche Holznutzung im Bereich energetisch relevanter Bauteile durch eine Beaufschlagung der jeweiligen Bauteil-Referenzwerte nach EnEV Rechnung zu tragen.

Konkret wird vorgeschlagen, die Tabellen zur Ausführung des Referenzgebäudes in den Anlagen 1 und 2 zu den §§ 3 und 9 der Energieeinsparverordnung um folgende Anmerkung zu ergänzen.

- Bei opaken Außenbauteilflächen mit flächigen Massivholzbauerelementen von mindestens 0,2 Metern Dicke (senkrecht zum Wärmestrom) können die Referenzwerte der betroffenen Bauteilflächen um einen Wert von 0,14 W/(m²K) erhöht angesetzt werden.

Der Vorschlag stellt trotz der zugestandenen energiebedingten Zusatzemissionen sicher, dass unter Berücksichtigung der CO₂-Senkenleistung des Materials eine Netto-Klimaentlastung durch den Einsatz von Massivholzelementen in Außenbauteilen erreicht wird. Gleichzeitig erleichtert er die Nachweisführung für „monolithische“ Massivholzbauarten nach EnEV erheblich.

Für Konstruktionen, bei denen die Massivholzelemente gedämmt werden, ergibt sich aus dem Vorschlag ein vereinfachter Zugang zu den Programmen zur Förderung energieeffizienten Bauens über die KfW, deren Förderstufen aus den EnEV-Anforderungswerten abgeleitet sind.

Literaturverzeichnis

- [1] Meinshausen, M., Meinshausen, N. et al: Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2 °C. Nature 458(7242): 1158-1162. 2009
- [2] Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 29.4.2009 (EnEV 2009). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009, Teil 1, Nr. 23, Seiten 954 - 989.
- [3] Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz - EEWärmeG) vom 7. August 2008. Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 36 (18. Aug. 2008), zuletzt geändert am 28. Juli 2011 (BGBl. I S. 1634, 1677).
- [4] Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.): Verstärkte Holznutzung – zugunsten von Klima, Lebensqualität, Innovationen und Arbeitsplätzen (Charta für Holz). Berlin 2004.
- [5] Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Energy Performance of Buildings Directive).
- [6] Otto, F. und Hauser, G.: Auswirkungen der neuen europäischen Norm EN ISO 13788 "Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren" auf Konstruktion und Holzschutz von Außenbauteilen in Holzbauart. Stuttgart 2003.
- [7] DIN EN 12524: 2000-11: Baustoffe und -produkte – Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften – tabellierte Bemessungswerte.
- [8] DIN EN ISO 6946: 2008-04: Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren.
- [9] www.kfw-foerderbank.de
- [10] Burschel, P. et al.: Die Rolle von Wald und Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt – eine Betrachtung für die Bundesrepublik Deutschland. München 1993.
- [11] Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen.
- [12] Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe: Basisdaten Bioenergie. Güstrow 2011
- [13] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: BRD-Stromerzeugung 1990 – 2011 nach Energieträgern. Stand 14.12.2011.
- [14] König, H.: Bauen mit Holz als aktiver Klimaschutz. In [15]: S. 18 -25.
- [15] Kaufmann, H. et al. (Hrsg.): Bauen mit Holz – Wege in die Zukunft. Publikation zur Ausstellung des Architektur museums der TU München. München 2011.
- [16] Schutzgemeinschaft Deutscher Wald, Landesverband NRW. www.sdw-nrw.de
- [17] Niemz, P.: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. Leinfelden-Echterdingen 1993.
- [18] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Berlin 2011.

- [19] Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung - WärmeschutzV) vom 16. August 1994. Bundesgesetzblatt Teil 1, S. 2121-2132.
- [20] AG-Energiebilanzen: Quartalsbericht Q4 2011, 23.1.2012.
- [21] Miara, M.: Wärmepumpen-Effizienz. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Stuttgart 2010.
- [22] Wagner, U.: Energiewirtschaftliche Bewertung der Wärmepumpe in der Gebäudeheizung. Studie der Technischen Universität München. München 2009.
- [23] Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme (Gemis), Version 4.6. Darmstadt 2011.
- [24] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV), Ausfertigungsdatum: 24. Juli 2007, Bundesgesetzblatt (BGBl. I S. 2684).
- [25] Diefenbach, N.: Bewertung der Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen und Biomasse-Heizsystemen. Darmstadt 2002.
- [26] Lüking, R.-M. und Hauser, G. Plusenergiehäuser - technische und ökonomische Grundlagen. Stuttgart 2012 (erscheint in Kürze).
- [27] Energieeinsparungsgesetz in der Fassung vom 1. September 2005 (BGBl. I S. 2684), das durch Artikel des Gesetzes vom 28. März 2009 geändert worden ist (BGBl. I S. 643) (EnEG).
- [28] DIN V 4108-6: 2003-06: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden. Berechnung des Jahres-Heizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs.
- [29] DIN V 4701-10: 2003-08: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung.
- [30] DIN V 18599 (2011): Energetische Bewertung von Gebäuden. Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung.
- [31] Hüttermann, A. und Metzger, J. O.: Begrünt die Wüste durch CO₂-Sequestrierung. In: Nachrichten aus der Chemie 52, November 2004. S. 1133-1138.
- [32] Lüking, R.-M. und Hauser, G.: Die thermische Konditionierung im Kontext eines zukünftigen Energieversorgungssystems. Stuttgart 2011.
- [33] Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074), zuletzt geändert durch das Gesetz vom 28. Juli 2011 (BGBl. I S. 1634; berichtigt BGBl. I S.2255).
- [34] Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung. April 2002 (BGBl. I S. 1092), zuletzt geändert durch Art. 11 G vom 28. Juli 2011 (BGBl. I S. 1634, 1677).
- [35] Strom und Gas 2009: Energiemärkte im Spannungsfeld von Politik und Wettbewerb. 54. Sondergutachten der Monopolkommission, gemäß § 62 EnWG, Bonn, 4. August 2009.
- [36] Bundesumweltamt: Emissionshandel: 9,4 Prozent weniger CO₂- Emissionen im Jahr 2009. Pressemeldung 22/2010.

ANHANG 1:

Gesetzliche Anforderungen an die energetische Qualität neuer Wohngebäude

1. EU- Richtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ [5]

Über die Richtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“, die November 2002 durch das Europäische Parlament verabschiedet wurde, macht die Europäische Union Vorgaben zur Umsetzung nationaler gesetzlicher Regelungen zur Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden Im.

Die Richtlinie legt Kriterien zur ganzheitlichen energetischen Beurteilung von Gebäuden fest. Einbezogen sind Wärmedämmung, Anlagentechnik zur Bereitstellung von Raumwärme und Trinkwarmwasser, Klimaanlage, Belüftungssysteme, Beleuchtung und Belichtung. Für Neubauten, aber auch für den Gebäudebestand werden Anforderungen gestellt, deren Einhaltung in Energieausweisen auf der Basis ganzheitlicher Energiebilanzen dokumentiert werden müssen.

Um den europäischen Zielen zur Verringerung des Treibhausgasemissionen gerecht zu werden, wurde zwischenzeitlich eine Neufassung der EU-Richtlinie erarbeitet. Sie sieht deutlich verschärfte Anforderungen vor und wertet die Energieausweise durch umfangreiche Vorgaben zur Qualitätssicherung in Verbindung erweiterten Informations- und Aushangpflichten deutlich auf.

Darüber hinaus sieht die Richtlinie vor, dass ab 2021 alle Neubauten in den Mitgliedsstaaten quasi Nullenergiehäuser („nearly zero energy buildings“) sind. Alle neuen Gebäude, die von öffentlichen Einrichtungen genutzt bzw. erworben werden, müssen diesem Standard schon ab 2019 entsprechen.

2. Energieeinsparungsgesetz (EnEG) [27]

Gesetzliche Grundlage für die Realisierung von Maßnahmen zur Energieeinsparung in Deutschland ist das Energieeinsparungsgesetz vom 22. Juli 1976, das die Bundesregierung u.a. ermächtigt, durch Rechtsverordnung Anforderungen an den Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen sowie an die technische Gebäudeausrüstung festzulegen. In der Neufassung von 2005 wurde die Bundesregierung erstmals auch ermächtigt, „Inhalte und Verwendung von Energieausweisen“ zu bestimmen. Das EnEG ist somit die Basis der Energieeinsparverordnung und der Umsetzung des Energieausweises für Gebäude. Mit einer weiteren Novellierung wurde 2009 die Grundlage für eine Verschärfung der Anforderungen nach Energieeinsparverordnung 2009 geschaffen.

3. Energieeinsparverordnung (EnEV)

Die Energieeinsparverordnung stellt die wesentliche ordnungspolitische Komponente zur Minderung des Energieverbrauchs im Gebäudebereich dar, durch die alle Forderungen der EU-Richtlinie umgesetzt werden.

Der Gültigkeitsbereich der EnEV erstreckt sich sowohl auf neu zu errichtende Gebäude als auch auf den Gebäudebestand. Wesentliches Merkmal der EnEV ist die ganzheitliche Beurteilung eines Gebäudes unter Berücksichtigung der Anlagen- und Bautechnik. Sie soll auf diese Weise die umfassende energetische Planung fördern.

Die EnEV stellt Anforderungen an die energetische Qualität neu zu errichtender Gebäude, indem sie einen maximalen Primärenergiebedarf vorgibt. Für den Gebäudebestand erhebt die EnEV neben unbedingten Nachrüstpflichten Anforderungen im Falle baulicher Veränderungen, einschließlich der Erweiterung und des Ausbaus des Gebäudes.

Die Rechengrundlage der Energieeinsparverordnung für Wohngebäude bilden die Normen DIN 4108 Teil 6 [28] sowie DIN V 4701 Teil 10 [29;], alternativ seit dem 1. Oktober 2009 die Normenreihe DIN V 18599 [30]. Mit Hilfe dieser Normen werden die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste sowie die passiven Solarenergiegewinne und internen Wärmequellen bilanziert. Daraus ergibt sich der Heizwärmebedarf. Für den Wärmebedarf für Trinkwarmwasser werden feste Quadratmeterwerte normativ vorgegeben, 12,5 kWh/(m²a) nach DIN 4108 Teil 6 bezogen auf die Nutzfläche A_N , nach DIN V 18599 bezogen auf die Wohnfläche 12 kWh/(m²a) für Einfamilienhäuser und 16 kWh/(m²a) für Mehrfamilienhäuser.

Auf der Basis der baulichen Gebäudebilanzierung wird die Anlagentechnik für Bereitstellung von Raumwärme und Trinkwarmwasserbereitung in die Berechnung der Energieeinsparverordnung einbezogen, so dass für ein Gebäude über den Heizwärmebedarf hinaus auch der Heizenergiebedarf und der Primärenergiebedarf ausgewiesen werden, der im Falle neuer Gebäude mit dem vorgegebenen maximalen Primärenergiebedarf verglichen wird.

Diese Bilanz erfolgt unter einheitlichen Randbedingungen und berücksichtigt beispielsweise nicht das Nutzerverhalten, unterschiedliche Wohnungsbelegung, Schwankungen des Außenklimas etc. Daher kann dieser rechnerisch ermittelte Bedarfswert vom konkreten Verbrauch mehr oder weniger deutlich abweichen. Er gibt aber zuverlässig Auskunft über die energetische Qualität des Wohnraums und bietet daher eine für den Nutzer entscheidende Information.

Seit der Einführung der Energieeinsparverordnung im Jahre 2002 wurde sie in den Jahren 2004, 2007 und zuletzt zum 1. Oktober 2009 novelliert.

3.1 Anforderungen der EnEV 2009 an neue Wohngebäude

Für den Fall der Errichtung neuer Wohn- und Nichtwohngebäude wurde durch die enEV-Novelle 2009 die Obergrenze für den zulässigen Jahres-Primärenergiebedarf gegenüber der vorhergehenden Verordnungsstufe um durchschnittlich 30 % gesenkt. Die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz wurden um durchschnittlich 15 % verschärft.

Neben der Verschärfung der Anforderungen wurde durch die Novellierung der EnEV 2009 der Vollzug gestärkt sowie die schrittweise Außerbetriebnahme elektrischer Speicherheizsysteme geregelt.

Neu eingeführt wurde die Möglichkeit der Anrechenbarkeit von Strom aus erneuerbaren Energien. Danach darf bei neu zu errichtenden Gebäuden bei den Berechnungen zum Energieausweis Strom aus erneuerbaren Energien angerechnet werden, sofern er in unmittelbaren Zusammenhang mit dem Gebäude erzeugt und vorrangig im Gebäude selbst genutzt wird.

Darüber hinaus wurden die normativen Grundlagen für die Berechnung des Energiebedarfs von Wohngebäuden erweitert. Als normative Grundlage der Berechnungen können der Normenkomplex DIN 4108-6 und DIN V 4701-10 bzw. alternativ DIN V 18599 herangezogen werden.

Gleichzeitig wurde für Wohngebäude ein neues Anforderungsmodell eingeführt. Die Vorgabe einer Referenzbautechnik in Verbindung mit einer Referenzanlagentechnik führt zu einem Referenzgebäude aus dem der maximal zulässige Jahres-Primärenergiebedarf eines Gebäudes resultiert.

Die Formulierung der Anforderungen über das Referenzgebäude-Verfahren geschieht wie folgt: Unter Zugrundelegung der geplanten Gebäudegeometrie (Gebäudevolumen und Hüllfläche), der geplanten Gebäudeausrichtung und der Fenstergrößen wird die Gebäudehülle mit einer bestimmten Ausführung des baulichen Wärmeschutzes und mit einer bestimmten vorgegebenen Anlagentechnik ausgestattet. Berechnet man den Jahres-Primärenergiebedarf dieses Gebäudes, so resultiert aus der Parallelrechnung mit der Referenzausstattung der gebäudespezifische Anforderungswert, der maximal zulässige Jahres-Primärenergiebedarf. Dieser zulässige Jahres-Primärenergiebedarf ist nun von dem tatsächlich zu errichtenden Gebäude mit der tatsächlich geplanten baulichen Ausführung und der tatsächlich geplanten Anlagentechnik einzuhalten bzw. zu unterschreiten. Die bauliche Ausführung des Referenzgebäudes „Wohngebäude“ ist in Tabelle 4 aufgeführt. Eine grafische Darstellung aller wesentlichen Komponenten des Referenzgebäudes – auch die anlagentechnischen Elemente – zeigt Bild 8.

Tabelle 4: Bauliche Ausführung des Referenzgebäudes „Wohngebäude“ gemäß EnEV 2009

Zeile	Bauteil/System	Referenzausführung bzw. Wert (Maßeinheit)
1.1	Außenwand, Geschossdecke gegen Außenluft	$U = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
1.2	Außenwand gegen Erdreich, Bodenplatte, Wände und Decken zu unbeheizten Räumen (außer solche nach Zeile 1.1)	$U = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
1.3	Dach, oberste Geschossdecke, Wände zu Abseiten	$U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
1.4	Fenster, Fenstertüren	$U_w = 1,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})^1$; $g = 0,60$
1.5	Dachflächenfenster	$U = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$; $g = 0,60$
1.6	Lichtkuppeln	$U = 2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$; $g = 0,64$
1.7	Außentüren	$U = 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
2	Wärmebrückenzuschlag (Bauteile nach 1.1 bis 1.7)	$\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
3	Luftdichtheit der Gebäudehülle	Bei Berechnung nach <ul style="list-style-type: none"> • DIN V 4108-6:2003-06: mit Dichtheitsprüfung • DIN V 18599-2: 2007-02: nach Kategorie I

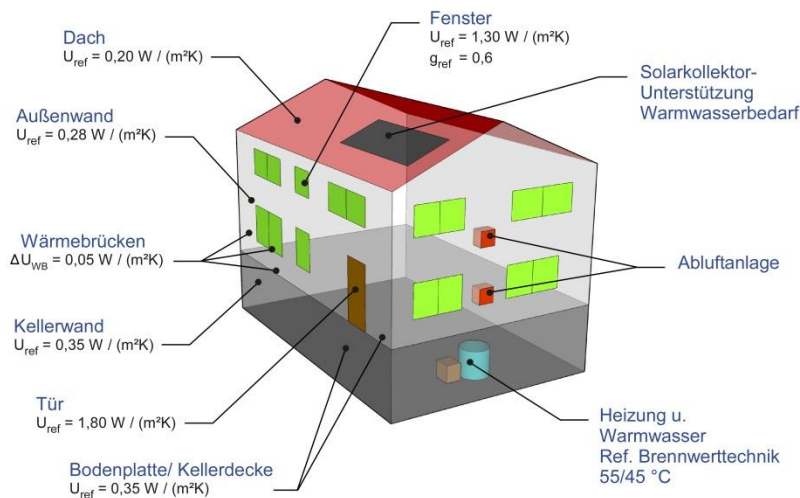


Bild 8: Referenzausführung für Wohngebäude gemäß EnEV 2009 (schematische Darstellung der wesentlichen Komponenten).

Zusätzlich zu den Anforderungen an den Jahres-Primärenergiebedarf wird der spezifische Transmissionswärmeverlust H'_T begrenzt. Diese Größe, die eine Mindestqualität des baulichen Wärmeschutzes sicherstellen soll, wird abhängig von Gebäudetyp und -größe vorgegeben (s. Tabelle 5).

Tabelle 5: Höchstwerte des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlusts gemäß EnEV 2009

Zeile	Gebäudetyp		Höchstwert des spezifischen Transmissionswärmeverlusts
1	Freistehendes Wohngebäude	Mit $A_N \leq 350\text{m}^2$	$H'_T = 0,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
		mit $A_N > 350\text{m}^2$	$H'_T = 0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
2	Einseitig angebautes Wohngebäude (z.B. Reihenendhaus)		$H'_T = 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
3	alle anderen Wohngebäude (z.B. Reihemittelhaus)		$H'_T = 0,65 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
4	Erweiterungen und Ausbauten von Wohngebäuden gemäß § 9 Abs. 5		$H'_T = 0,65 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Mit der im Jahre anstehenden Novelle der Energieeinsparverordnung (2012 oder 2013) ist eine methodische Änderung bei der Formulierung der Nebenanforderung zu erwarten, da sich die bestehende Regelung als zu wenig flexibel erwiesen hat, vor allem eine energetische nicht gerechtfertigte Steuerungswirkung in Richtung relativ geringer Fensterflächen entfaltet. In ähnlicher Weise, wie es schon aus den aktuellen Förderprogrammen der KfW bekannt ist, wird der hüllflächenspezifische Transmissionswärmeverlust in Zukunft aus der Referenzausführung abgeleitet werden. Die Nebenanforderung wird dann durch prozentuale Beaufschlagung aus dem Wert abgeleitet, den die Parallelrechnung des Gebäudes mit der Referenzausführung als hüllflächenspezifischen Transmissionswärmeverlust ergibt:

$$H'T_{\max} = x * H'T_{\text{ref}}, \text{ mit } x > 1$$

ANHANG 2: Klimaentlastung durch CO₂- Speicherung

1. Kohlenstoffabscheidung und Lagerung in der Energiewirtschaft

Die Kohlenstoffspeicherung ist neben der Vermeidung von Emissionen klimarelevanter Gase als mögliches Mittel zur Entlastung der Atmosphäre wissenschaftlich unumstritten. Dennoch spielt diese Möglichkeit derzeit weder im öffentlichen Diskurs noch als technische Anwendung eine große Rolle, so dass hier näher darauf eingegangen werden muss.

Eine Möglichkeit, durch Kohlenstoffspeicherung ein entscheidender Beitrag zum Klimaschutz leisten zu können, wird in der „CCS-Technologie“ (carbon capture and storage = Kohlenstoffabscheidung und Lagerung) gesehen, die aktuell mit erheblichem finanziellem Aufwand vorangetrieben wird. Im Fokus stehen insbesondere die kohlenstoffreichen Rauchgase aus Kohlekraftwerken, denen CO₂ entzogen werden soll, um es zu verdichten und in flüssiger Form unterirdisch, in natürlich oder durch Rohstoffgewinnung entstandenen Hohlräumen, einzulagern. Dieses Verfahren ist höchst umstritten. Einerseits birgt die CCS-Technologie erhebliche Unsicherheiten und Risiken. Fraglich ist z.B., ob das flüssige Kohlenstoffdioxid überhaupt dauerhaft sicher in den unterirdischen Lagern untergebracht ist. Leckagen können nach derzeitigem Kenntnisstand ebenso wenig ausgeschlossen werden wie unkontrollierte chemische Reaktionen des CO₂ mit umgebenden Gasen, Flüssigkeiten und Feststoffen. Mögliche Undichtigkeiten der Transportpipelines sind ebenfalls eine Gefahrenquelle. Andererseits wird der Wirkungsgrad der Kraftwerke durch die erforderlichen Prozessschritte der CO₂- Abscheidung und Einlagerung deutlich reduziert mit dem Effekt, dass bezogen auf die produzierte Energiemenge zunächst sogar eine erhöhte Menge an CO₂ anfällt. Unter Berücksichtigung der Tatsachen, dass das CO₂ ohnehin nur unvollständig abgeschieden werden kann und zudem davon auszugehen muss, dass jährlich zumindest eine geringe Menge des Gases aus dem Depot entweicht, kann der CCS-Technologie im Zusammenhang mit dem Betrieb von Kohlekraftwerken eine nachhaltige CO₂-Senkenwirkung nicht attestiert werden. Sie führt lediglich zu einer zeitlichen Verschiebung des Zeitpunktes der CO₂-Entlassung in die Atmosphäre, dies aber um den Preis eines Gesamtanstiegs der Emissionen. Die Anwendung von CCS auf die Rauchgase fossiler Kraftwerke ist daher kein geeignetes Mittel zur Klimaentlastung, selbst wenn der erreichbare Zeitaufschub immerhin der Bekämpfung des akuten CO₂-Anstiegs dient.

Eine effektive Entlastung der Atmosphäre selbst bei unvermeidlichen Leckagen verspricht die CCS-Technologie lediglich in Kombination mit erneuerbaren Brennstoffen. Denn in diesem Fall entsteht bei der Verbrennung lediglich so viel CO₂, wie zum Aufbau der thermisch genutzten Biomasse während des Pflanzenwachstums aufgenommen wurde. Es handelt sich also um atmosphärisches CO₂, das über den Umweg der Photosynthese und der Verbrennung in abgeschlossene Depots verbracht wird. Auf kurze Sicht stehen Kostengründe

der Umsetzung dieser Möglichkeit entgegen, da der hohe Investitionsaufwand – wenn überhaupt – nur bei Großkraftwerken vertretbar ist, in denen allerdings fast ausschließlich fossile Brennstoffe zum Einsatz kommen. Auf mittlere Sicht ist die Anwendung der CCS-Technologie auf erneuerbare Brennstoffen darauf angewiesen, dass die geeigneten Lagerstätten, die nur in begrenztem Umfang zur Verfügung stehen, nicht zuvor durch Kohlenstoffdioxid fossilen Ursprungs erschöpft sind.

2. Kohlenstoffbindung und Lagerung ohne energetische Nutzung

Ein anderer technologischer Ansatz zur Nutzung von regenerativ gewonnener Biomasse zur Schaffung einer effektiven CO₂-Senke ermöglicht die Umgehung ihrer energetischen Verwertung. So können schnell wachsende, sogenannte „Energiehölzer“ angebaut werden, um sie nach der Ernte dem Stoffkreislauf zu entziehen, indem sie in unterirdischen Hohlräumen, zum Beispiel in ausgedienten Stollen des Kohlebergbaus, dauerhaft eingelagert werden. Neben der Vermeidung der zuvor angesprochenen Wirkungsgradverluste in der Stromgewinnung und vor allem der Gefahren, die mit dem Transport und der Lagerung flüssigen Kohlenstoffdioxids verbunden sind, verspricht dieses Konzept bedeutende Kostenvorteile sowie in Abhängigkeit von der Zugänglichkeit der Lagerstätten auch höhere Speicherdichten gegenüber der Rauchgasabscheidung. [31]

Diese bisher ebenfalls nicht zur Umsetzung gebrachte Möglichkeit des CCS überlässt den Arbeitsanteil des „carbon capture“ annähernd vollständig der natürlichen Photosynthese, lediglich der Anbau- und Ernteaufwand sowie die Einlagerung des Materials muss technisch bewältigt werden.

Diese Methode, Holz zur langfristigen Speicherung und von Kohlenstoff zur Klimaentlastung heranzuziehen, stellt eine interessante Alternative zur großtechnischen Anwendung von CCS in Form flüssigen Kohlenstoffs dar. Gleichzeitig aber zieht dieser Lösungsansatz unmittelbar die Frage nach sich, warum nicht in verstärktem Maße die Kohlenstoffspeicherung mit einer stofflichen Nutzung kombiniert wird. Ohne zusätzlichen Bedarf an Anbauflächen für die Energiehölzer bietet Holz aus konventioneller Waldwirtschaft insbesondere durch massiven Einsatz im Bauwesen eine dauerhafte, verrottungsfreie Lagermöglichkeit in Verbindung mit einer risikofreien Speicherung von Kohlenstoff und einer langwährenden Entlastung der Atmosphäre. Dies erfolgt allein in Form einer hochwertigen Nutzung des Materials, ohne jeglichen Zusatzaufwand und mit geringstem Energieeinsatz. Dabei kann eine Nutzungszeit von vielen hundert Jahren erreicht werden. Aber selbst wenn das Gebäude nach 50 oder 100 Jahren zurückgebaut wird, steht das Material für andere langfristige stoffliche Nutzungen zur Verfügung, ebenso für eine etwaige Einlagerung untertage oder für eine thermische Verwertung.

ANHANG 3: Wärmeversorgungsstrategien und CO₂-Zertifikatehandel

(weitgehend entnommen aus [32])

Die Wärmeversorgung von Gebäuden ist vom Handel mit CO₂-Zertifikaten nicht unmittelbar betroffen. Der Zertifikatehandel findet daher in der Regel keinen Eingang in die Entwicklung von Szenarien und Strategien zur Verbesserung der Wärmeversorgung von Gebäuden, so dass die tatsächlich bestehenden mittelbaren Interdependenzen zumeist unberücksichtigt bleiben. Das kann unerwünschte Folgen gravierenden Ausmaßes haben, weshalb im Folgenden auf das EU-Handelssystem mit Emissionsrechten näher eingegangen werden soll.

Beim Handel mit Emissionsrechten oder Verschmutzungsrechten handelt es sich um ein ökonomisches Instrument zur Verringerung von Treibhausgasemissionen. Den Emittenten von Treibhausgasen werden Verschmutzungsrechte eingeräumt, indem ihnen Emissionszertifikate ausgehändigt oder über eine Börse zum Erwerb angeboten werden. Dabei wird die Anzahl der Zertifikate politisch festgelegt. Sie wird so kalkuliert, dass sich eine begrenzende Wirkung im politisch gewünschten Ausmaß ergibt, die Emissionsrechte sind gegenüber dem Status quo der Emissionssituation verknappt. Der Emittent kann dieser Verknappung begegnen, indem er die Emissionen seines Unternehmens reduziert oder von Wettbewerbern im Emissionshandel zusätzliche Verschmutzungsrechte erwirbt. Er wird – und darauf basiert die Pointe des Systems – die wirtschaftlich sinnvollere dieser beiden Möglichkeiten wählen, genau wie es seine Wettbewerber tun. Dabei wird die konkrete Entscheidung je nach Ausgangslage sehr unterschiedlich ausfallen: Bei dem einen ist die notwendige Minderung klimawirksamer Gase durch Investitionen in seinem Betrieb sehr günstig zu realisieren, bei dem anderen stellt sich ein Erwerb von Zertifikaten als die preiswertere Option dar. Auf diese Weise erschließen sich über marktwirtschaftliche Mechanismen die wirtschaftlich günstigsten Möglichkeiten, in Emissionsreduktionen zu investieren. Die Politik muss lediglich den Verminderungskorridor vorgeben und keine konkreten Vorgaben für bestimmte Branchen und Techniken formulieren.

Die Erschließung besonders kostengünstiger Reduktionspotentiale ist wiederum wesentliche Voraussetzung, um ambitionierte Verminderungsziele verfolgen zu können, ohne die betroffenen Industriebereiche zu sehr zu belasten und Wettbewerbsverzerrungen zu riskieren.

Das Europäische Emissionshandelssystem ETS ist am 1. Januar 2005 in Kraft getreten, zunächst in Form einer Pilotphase (2005 bis 2007), aus der Erkenntnisse zur Gestaltung der Handelsphasen II (2008-2012) und III (2013- 2020) gewonnen wurden.

Am europäischen Emissionshandel sind neben den EU- Mitgliedsstaaten auch die EWR-Staaten Liechtenstein, Island und Norwegen beteiligt.

Der Handel betrifft etwa 50 % der europäischen Treibhausgasemissionen bzw. deren Emittenten. Betroffen sind mehrere Industriebranchen sowie die Stromerzeugung aus Kraftwerken ab einer Brennstoffleistung von 20 Megawatt.

Mit der Phase III werden einige grundlegende Veränderungen des Handelssystems wirksam. So wird die Vergabe der Zertifikate nicht mehr national, sondern von der Europäischen Kommission vorgenommen werden. Der Handel wird sowohl hinsichtlich der betroffenen Industrieunternehmen als auch hinsichtlich des Spektrums der klimarelevanten Gase ausgeweitet. Die Verschmutzungsrechte sollen um jährlich 1,74 % abgesenkt werden, so dass im Jahre 2020 mit einer zugestandenen Gesamtemission von 1,72 Milliarden Tonnen der Ausstoß gegenüber dem Jahr 2005 auf 79 % reduziert wird. Gleichzeitig soll schrittweise der Anteil der über Versteigerungen in den Markt gebrachten Zertifikate von 20 % auf 70 % angehoben werden. Kraftwerke werden allerdings bereits ab 2013 von Gratiszuteilungen ausgenommen bleiben.

Eine wesentliche Änderung betrifft die Vergabe von Gratiszertifikaten für Industrieunternehmen. Maßstab für die Zuteilung sind in Zukunft nicht mehr die bisherigen Emissionen der Anlage, sondern die beste verfügbare Technologie.

Ausnahmeregelungen gelten für energieintensive und am Export orientierte Branchen sowie für Kraftwerke mit hohem Kohlestromanteil, die bis 2019 weiterhin von Gratiszuteilungen profitieren sollen. Gratiszuteilungen für die CO₂-Sequestrierung sind indes nicht vorgesehen.

Der Energiebedarf von Gebäuden ist nicht in den Handel von Emissionsrechten einbezogen, was wohl auch mit Blick auf die geplanten Erweiterungen der Regelungen für die nächsten Handelsperioden Bestand haben wird. Auf absehbare Zeit bleibt somit die Absenkung des Energiebedarfs und die Verringerung der CO₂-Emissionen durch die Nutzung von Gebäuden Angelegenheit des Ordnungsrechts, das in Deutschland auf der Basis der EPBD durch die Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) Anwendung findet.

Trotz oder gerade wegen der Ausklammerung des Gebäudesektors aus dem Handel mit Emissionsrechten, gibt es weitreichende Interdependenzen. Am deutlichsten wird dies, wenn man sich konkret die mit der EnEV 2009 eingeführte Vorgabe zur schrittweisen Außerbetriebnahme elektrischer Speicherheizsysteme anschaut. Diese Systeme stellen sich in der Rechenmethodik der EnEV als äußerst ineffiziente Systeme zur Wärmebereitstellung dar, da die gewünschte Wärmedienstleistung mit den hohen Primärenergieverlusten durch die Umwandlung der fossilen Energieträger in den Kraftwerken in Strom (etwa 60 % Verluste) belastet ist. In der EnEV- Methodik werden diese Verluste durch einen Primärenergiefaktor von derzeit 2,6 abgebildet, d.h. ein Aufwand von 2,6 Einheiten Primärenergie für eine Einheit Endenergie unterstellt. Würde die gleiche Dienstleistung durch Verbrennung des Energieträgers im Gebäude erbracht, ergäbe sich eine deutlich effizientere Nutzung des Energieträgers, der primärenergetische Aufwand wäre – unter Berücksichtigung der anlagentechnischen Verluste vor Ort – lediglich etwa halb so hoch. Die

Außerbetriebnahme elektrischer Speicherheizsysteme gilt insofern zu Recht als eine der wirksamsten Maßnahmen, den Primärenergieverbrauch in Gebäuden abzusenken.

In dem (unbeabsichtigten) Zusammenspiel mit dem Handel von Emissionsrechten stellt sich die Situation indes grundsätzlich anders dar. Denn der durch die Außerbetriebnahme von Speicherheizsystemen eingesparte Strom führt keineswegs zu einer Verringerung des CO₂-Ausstoßes thermischer Kraftwerke. Die durch den verringerten Stromabsatz frei gewordenen Verschmutzungsrechte reduzieren lediglich die Preise der Zertifikate. Dies führt zu einer Entlastung des Stromproduzenten von dem Druck, seine Produktion in Richtung einer Verringerung der CO₂-Emissionen zu optimieren, oder es ermöglicht ihm, diese Entlastungswirkung durch Verkauf der Verschmutzungsrechte an anderer Stelle zur Verfügung zu stellen.

Unter der Voraussetzung, dass die marktwirtschaftlichen Mechanismen, die über den Zertifikatehandel mobilisiert werden sollen, grundsätzlich als funktionsfähig angenommen werden, d.h. dass über den Preis der Zertifikate im Zusammenwirken mit den politisch zugestandenen Budgets an Emissionsrechten tatsächlich die Grenzkosten definiert werden, um in Maßnahmen zur Reduktion von CO₂ zu investieren, führen Nachfragereduktionen oder sogar frei werdende Rechte durch Stromeinsparungen lediglich zu einer Verschiebung der Grenzkosten nach unten und nicht zu einer Absenkung der Gesamtemissionen.

Doch die ausbleibende Entlastungswirkung der Außerbetriebnahme elektrischer Speicherheizsysteme auf die Menge der CO₂-Emissionen macht nur die Hälfte des Problems aus. Denn die Nachfrage nach der Wärmedienstleistung im Gebäude besteht weiterhin, es muss daher ein neues Heizsystem im Gebäude zum Einsatz kommen. Unterstellt man für den Ersatz der alten Stromheizung ein klassisches Heizsystem auf der Basis fossiler Energieträger, z.B. eine Gaszentralheizung, entstehen vor Ort Emissionen, die mit Blick auf den Handel mit Verschmutzungsrechten ohne Relevanz sind. Die sich vor Ort ergebenden Emissionen führen in vollem Umfang zu einer Erhöhung der Gesamtemissionen. Bezogen auf das Gebäude, das durch die Außerbetriebnahme des elektrischen Speicherheizsystems hinsichtlich des CO₂-Ausstoßes um etwa 50 % verbessert werden sollte, resultiert stattdessen effektiv eine Verschlechterung nahezu um den gleichen Betrag.

Doch es kommt noch schlimmer: Denn ähnlich unerwünschte Effekte ergeben sich auch bei Anlagen zur Wärmeversorgung, die auf der Basis der KWK im elektrischen Leistungsbereich < 20 MW arbeiten und auf Grund ihrer höheren exergetischen Effizienz gegenüber klassischen Heizungssystemen zur Klimaentlastung beitragen sollen. Denn der aus KWK eingespeiste Strom ist ebenso wenig relevant für den Emissionshandel wie die Stromeinsparung durch Austausch der Speicherheizung. Vielmehr wirkt er wie diese als Nachfragesenke und entlastet den vom Emissionshandel betroffenen Kraftwerkpark vom CO₂-Optimierungsdruck. Vor Ort ergibt sich gegenüber der üblichen Gaszentralheizung wiederum eine effektive Anhebung der CO₂-Emissionen in der Gesamtbilanz und zwar um den

Quotienten aus dem Nutzungsgrad der Gaszentralheizung (vereinfacht = 1) und dem thermischen Wirkungsgrad des KWK- Aggregats. Je höher die Stromkennzahl des Aggregats ist und je besser es somit auch technisch zu bewerten ist, umso größer ist die effektive Verschlechterung der Gesamtbilanz hinsichtlich der CO₂-Emissionen.

Eine sich nach EnEV- Kriterien nahezu optimal darstellende Substitution von elektrischen Speicherheizsystemen durch eine vollständige Versorgung z.B. eines Mehrfamilienhauses durch Wärme aus dezentraler Kraftwärmekopplung kann somit effektiv nahezu eine Verdopplung der Treibhausgasemissionen bezogen auf die thermische Dienstleistung zur Folge haben.

Damit ist die Liste der unerwünschten Schnittstellenverluste der technischen Lösungsansätze zum Klimaschutz und dem EU- Emissionshandelssystem allerdings noch nicht vollständig. Denn der oben geschilderte Effekt der Verpuffung des CO₂- Minderungsbeitrags durch Stromproduktion aus KWK < 20 MW gilt natürlich ebenfalls für neue Anlagentechniken zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen, die unter die Förderung des Erneuerbare- Energien- Gesetz (EEG) [33] fallen. Aus diesem Grund besteht die Gefahr, dass sich die Effekte zur Reduktion der energiebedingten Treibhausgase aus den beiden Instrumentarien EEG und Zertifikatehandel prinzipiell aufheben.

Die mangelhafte Abstimmung bzw. Verzahnung, wenn nicht gar Inkompatibilität der Instrumente Zertifikatehandel und EEG hat entsprechend zahlreiche Forderungen hervorgerufen, eines der beiden Instrumente aufzugeben. Vehement hat sich z.B. die Monopolkommission sowohl gegen das EEG als auch gegen das Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG) [34] ausgesprochen:

„Aus ordnungspolitischer Sicht ist zu bemerken, dass das Erneuerbare- Energien- Gesetz und das Kraft- Wärme- Kopplungsgesetz im Kern keine geeigneten Instrumente zur Erfüllung ihrer hochgesteckten Ziele sind. Vor dem Hintergrund des europäischen Emissionshandels sind sie nach Auffassung der Monopolkommission sogar redundant. Im CO₂- Zertifikatehandel legt die Europäische Union die Obergrenze für CO₂- Emissionen global fest und überlässt es ansonsten den Emittenten zu entscheiden, an welcher Stelle und mit welcher Technologie sie notwendige Vermeidungsmaßnahmen realisieren wollen.

Hierbei gilt zum einen, dass die Gesamtemissionsmenge auch durch den Einsatz einer emissionsvermeidenden Technologie an einer Stelle nicht reduziert wird, wenn der Staat diese Reduktion nicht durch eine Begrenzung der Zertifikate verordnet. Substituiert der Betreiber eines Kohlekraftwerks nun seine Erzeugungsleistung durch EEGStrom, so kann er seine werthaltigen CO₂-Zertifikate anschließend an Nutzer in der Europäischen Union verkaufen, die an anderer Stelle für wieder genau dasselbe Maß an CO₂- Ausstoß sorgen wie einst das inzwischen gedrosselte oder abgeschaltete Kohlekraftwerk. Die Emission entfällt nicht, sie wird nur verlagert.

Das Erneuerbare- Energien- Gesetz und das Kraft- Wärme- Kopplungsgesetz leisten daher keinen Beitrag zur Reduktion des europäischen CO₂- Ausstoßes.“ [35]

Umgekehrt wird von Befürwortern des EEG und des KWKG der Zertifikatehandel scharf kritisiert und die Aufgabe dieses Instrumentes gefordert. Eine solche Forderung ist angesichts der Tatsache, dass sich die EU inzwischen dezidiert auf ein europaweites Handelssystem mit Treibhausgaszertifikaten festgelegt hat, sicher obsolet. Andererseits ist mit Blick auf die immensen Erfolge des EEG hinsichtlich der erreichten Deckungsanteile und Kostendegressionen ein Verzicht auf dieses Instrument nicht zu rechtfertigen, im Gegensatz zum KWKG, da die über dieses Gesetz verfolgte Effizienzsteigerung in der Nutzung fossiler Energieträger aus thermodynamischer Sicht nur in Ausnahmefällen Erfolg verspricht.

Die unerwünschten Kompensationseffekte von EEG und Zertifikatehandel können gemildert werden, indem die Ausbauprognosen für die erneuerbaren Energien in der Festlegung des Korridors für die schrittweise Verknappung der Zertifikate Berücksichtigung finden. Das grundsätzliche Problem ist dadurch allerdings nicht behoben. So sind im vorgesehenen Korridor zur Absenkung der Treibhausgasemissionen durch den Zertifikatehandel bis 2020 lediglich vorsichtige Prognosen zu den Beiträgen aus erneuerbaren Energiequellen eingeflossen. Schon jetzt ist abzusehen, dass in der EU der prognostizierte Ausbau der erneuerbaren Energien deutlich übertroffen werden wird. Effekte der Verminderung der Stromnachfrage, die insbesondere in der Industrie durch Wirtschaftskrisen resultieren, sind ebenfalls nicht hinreichend berücksichtigt. Z.B. ist der Rückgang des Netto-Stromverbrauchs in 2009 gegenüber dem Vorjahr in Höhe von etwa 5 % fast ausschließlich der Verringerung der industriellen Produktion durch die Wirtschaftskrise geschuldet. So sanken in der Eisen- und Stahlindustrie CO₂-Emissionen durch Produktionsminderung um etwa 25 % [36]. Insgesamt erbrachte die Wirtschaftskrise einem Minderungseffekt an CO₂-Emissionen, der über den Zertifikatehandel innerhalb von mehreren Jahren mobilisiert werden sollte. Ein zusätzlicher Investitionsdruck in Effizienzmaßnahmen ergab sich durch den Emissionshandel in dieser Zeit nahezu nicht, was sich im niedrigen Preis für handelbare Zertifikaten in Höhe von 13 €/to widerspiegelt, wobei Deutschland eher als Verkäufer denn als Käufer fungierte [36]. Erforderlich wäre dagegen eine deutliche Erhöhung der Zertifikatepreise, vor allem um die dringend notwendige Umstellung der Stromerzeugung auf Brennstoffe mit geringer Klimarelevanz zu beschleunigen, konkret um den Nachteil höherer Brennstoffkosten des Energieträgers Gas gegenüber Stein- und Braunkohle zu kompensieren.

Vor dem Hintergrund des bestehenden Handelssystems mit Verschmutzungsrechten, auf das sich die Mitgliedsstaaten der EU festgelegt haben, müssen daher die Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in Gebäuden und die Absenkung der Treibhausgasemissionen grundsätzlich überdacht werden. Der oben dargestellte Mechanismus des Handelssystems bietet dafür unmittelbar einen Handlungsansatz. Denn ebenso wie eine Absenkung des Stromverbrauchs durch Effizienzmaßnahmen vor Ort keinen Einfluss auf die gesamte Emissionsbilanz des handelsrelevanten Kraftwerkparks hat, so

bewirkt umgekehrt eine Anhebung des Stromverbrauchs keine Steigerung der Treibhausgasemissionen durch Stromerzeugung. Durch die Substitution von verbrennungsbasierten Wärmeerzeugern in Gebäuden durch elektrische Heizungssysteme lassen sich also mit hoher Effektivität die klimaschädliche Emissionen (um den Preis der Verteuerung der Emissionszertifikate) absenken.