

Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner, Dipl.-Ing. Martina Clanget-Hulin

Analyse der Trennbarkeit von Materialschichten hybrider Außenbauteile bei Sanierungs- und Rückbaumaßnahmen

Erstellung einer praxisnahen Datenbank für die Nachhaltigkeitsbeurteilung

Kurzbericht

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

(Aktenzeichen: SF-10.08.18.7-10.10/ II 3 – F20—10-1-066)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

1 Einleitung

Das Thema des Nachhaltigen Bauens hat sich in den letzten Jahren zunehmend im deutschen Bauwesen etabliert. Bauwerke sollen die Grundanforderungen der Nachhaltigkeit erfüllen. Zielsetzung ist die nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen durch eine lebenszyklusorientierte Planung der Bauwerke mit dauerhaften, demontage- und recyclinggerechten Bauwerken und Bauteilen.

Seit 2009 steht mit der Einführung des Deutschen Gütesiegels für Nachhaltiges Bauen ein Bewertungssystem zur Verfügung, das die Nachhaltigkeit von Gebäuden durch qualitative und quantitative Bewertung der ökologischen, ökonomischen und soziokulturellen Qualität operabel macht. Neben der quantitativen Ermittlung der Umweltwirkungen mit Hilfe einer Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040, fließt in die Zertifizierung eine Bewertung der Rückbaubarkeit, der Recycling- und Demontagefreundlichkeit über alle Lebenszyklusphasen ein. Eine einheitliche Datengrundlage zur objektiven Beurteilung der Trennbarkeit von Bauteilschichten in Abhängigkeit von Material- und Verbindungsart existiert bisher nicht.

Bei der Bauwerkserstellung und Sanierung stehen derzeit dem Ressourcenschutz steigende Anforderungen der Energieeinsparverordnung (ENEV) oder veränderte Nutzeranforderungen gegenüber, die eine Vielzahl von Rückbau- und Sanierungsmaßnahmen an der Außenhülle erfordern und meist mit einem erheblichen Energie- und Materialverbrauch verbunden sind. Typische Beispiele der energetischen Sanierung sind das Aufbringen zusätzlicher Dämmlagen oder die Sanierung bestehender Wärmedämmverbundsysteme (WDVS). Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die Umweltwirkung von Sanierungs- und Rückbaumaßnahmen hinsichtlich einer Reduzierung des Energie- und Materialverbrauchs zu untersuchen und eine Beurteilungsmethode zur objektiven Bewertung der Trennbarkeit unterschiedlicher Materialien bei Bauteilen der Außenhülle zu entwickeln. Die Bereitstellung von detaillierten Informationen für Entwurf und Zertifizierung ist von großer Relevanz, insbesondere vor dem Hintergrund des hohen Potenzials der Bestandsgebäude.

Mit dem Forschungsvorhaben wurde erstmalig die Lösbarkeit der Belegung von Außenbauteilen betrachtet. Dies ist insbesondere bei den gewählten WDVS und Flachdachabdichtungen von Bedeutung, da bei diesen Systemen fast alle Schichten untereinander verklebt sind. Zur Bewertung der Trennbarkeit von Materialschichten hybrider Außenbauteile bei Sanierungs- und Rückbaumaßnahmen wurde von dem Antragsteller die bereits erprobte Beurteilungsmethode des Forschungsvorhabens zu Instandhaltungsmaßnahmen von Innenbauteilen im Sinne der Datenkonsistenz fortgeführt.

Die Untersuchungsergebnisse sind nicht auf einen bestimmten Sektor des Bauwesens beschränkt, sondern auf verschiedene Nutzungstypologien wie Büro-, Wohnungs-, Verwaltungs- und Industriebau übertragbar.

2 Vorgehensweise

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden Energie- und Materialverbrauch infolge von Sanierungs- und Rückbaumaßnahmen während des Lebenszyklus eines Gebäudes bewertet. Hierbei wurde die Demontagefähigkeit von typischen Außenbauteilen der aktuellen Baupraxis hinsichtlich des gegenwärtigen sowie der zukünftigen Sanierungs- und Rückbaumaßnahmen beurteilt. Insgesamt wurden in einem Bauteilkatalog 30 repräsentative Außenwandbekleidungen und 14 Flachdachaufbauten sowie Sanierungsfälle und Rückbaumaßnahmen definiert.

Im Praxisversuch wurden die definierten Bauteile auf ihre Demontagefreundlichkeit untersucht. Alle Bauteile wurden hierzu gemäß den anerkannten Regeln der Technik sachgemäß erstellt und nach Fertigstellung bis auf die tragende Konstruktion zurückgebaut. Beim Rückbau wurde die Methode des selektiven Abbruchs durch materialspezifisches Entfernen der verschiedenen Bauteilschichten mit dem Ziel einer hohen Wieder- bzw. Weiterverwertung soweit wie möglich angewendet. Quantitativ erfasst wurden Energie-, Materialverbrauch sowie Zeitaufwand der zerstörungsfreien Trennung und der Maßnahmen zur Aufbereitung des Trägermaterials. Zusätzlich wurden qualitative Informationen über den Demontagevorgang (z.B. starke Staubeentwicklung) dokumentiert. Anschließend wurden die Untersuchungsergebnisse der Musterbauteile an Realprojekten verifiziert.

Für die ökologische Bewertung der ermittelten Stoffströme wurden die hinterlegten Materialkennwerte der Ökobilanzdatenbank "Ökobau.dat 2011" des Bundes herangezogen. Fehlende Materialien konnten aus anderen Datenbanken oder Environmental Product Declarations (EPD = Umwelt-Produktdeklaration) ergänzt werden. Die ermittelten Stoffströme wurden mit Hilfe der Ökobau.dat ausgewertet und analysiert. Ergänzend zu den ökologischen Aspekten wurden die Kosten aus Arbeitsaufwand und Entsorgung ermittelt. Aufbauend auf den Untersuchungsergebnissen wurde eine Methodik entwickelt, mit der eine objektive Beurteilung der Rückbaubarkeit und Recyclingfreundlichkeit verschiedener Außenwand- und Dachaufbauten zukünftig möglich sein wird.

Die Ergebnisse der Versuche sowie der Ökobilanz wurden zusammenfassend in einem Bauteilkatalog zusammengestellt. Die Vorgehensweise der Studie ist in Abbildung 1 dargestellt.

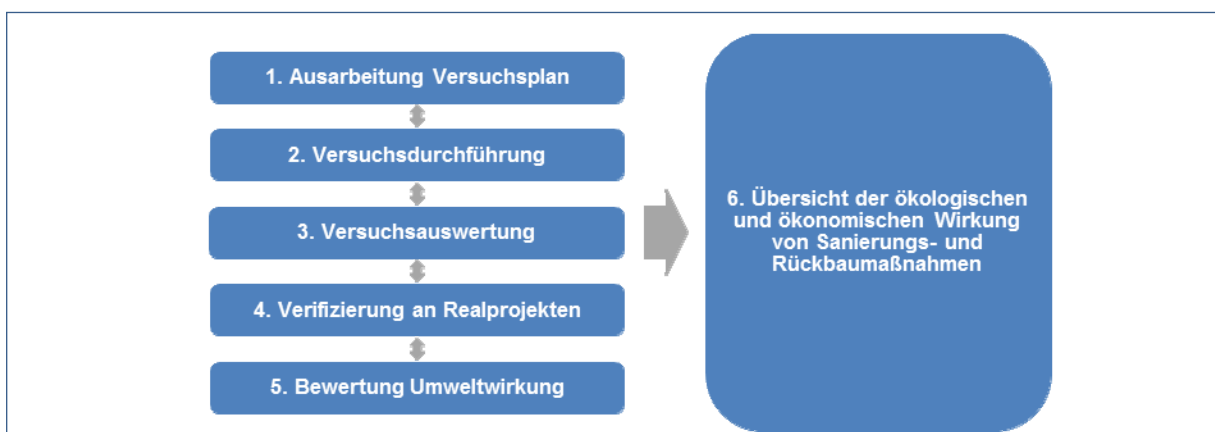


Abbildung 1: Vorgehensweise des Forschungsprojektes

3 Untersuchungsrahmen

Die Analyse der Trennbarkeit von Materialschichten hybrider Außenbauteile verzichtet auf die vollständige Betrachtung des gesamten Lebenszyklus der Bauteile und konzentriert sich auf den Rückbau von Wand- und Dachaufbauten, der während der Nutzungs- und Entsorgungsphase vollzogen wird. Bilanziert wurden die ökologischen und ökonomischen Wirkungen des Rückbaus, die Verwertung bzw. Beseitigung des Abbruchs sowie den damit verbundenen Transport. Hierbei sollte überprüft werden, inwiefern der Transport und der Energieaufwand für Werkzeuge aufgrund Geringfügigkeit zukünftig unberücksichtigt bleiben können.

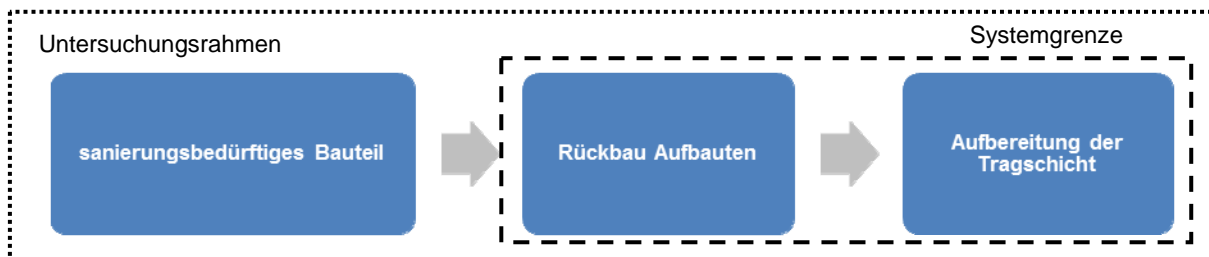


Abbildung 2: Darstellung der Systemgrenze

Bei der Festlegung des Untersuchungsrahmens wurde die Definition des Forschungsvorhabens „Analyse der Trennbarkeit von Materialschichten hybrider Innenbauteile bei Instandsetzung- und Modernisierungsmaßnahmen“ übernommen. Als Systemgrenze wurde der direkte Sanierungs- und Rückbauprozess sowie die damit verbundene notwendige Aufbereitung der Tragschicht definiert wie in Abbildung 2 dargestellt. Als deklarierte Bezugseinheit der Ergebnisse der Untersuchung wurde „1 m² instandgesetztes Bauteil“ definiert.

Für die praxisnahe Durchführung wurden Versuche im Maßstab 1:1 an Außenwänden mit den Abmessungen 2,0 m x 2,3 m (Breite x Höhe) und an Dächern mit den Abmessungen 2,3 m x 2,3 m (Breite x Länge) durchgeführt. Vereinfacht wurden im Rahmen der Versuchsdurchführung alle Dämmstoffe mit einer Dämmstoffstärke von 10 cm aufgebracht, unabhängig von der Wärmeleitgruppe des Materials. Für die vergleichende Bewertung wurden die Untersuchungsergebnisse der Sachbilanz in Abhängigkeit von den wärmetechnischen Qualitäten der Dämmstoffe und Konstruktionen angepasst. Hierzu werden Wände und Dächer so modifiziert, dass sie die Wärmeschutzanforderungen der aktuellen ENEC 2010 erfüllen. Als zusätzliche Information wird die Ausführung der Bauteile im Passivhausstandard dargestellt. Weitere technische Eigenschaften wie Feuchteschutz, Wasserdampfdiffusion, Brand-, Gesundheits- oder Schallschutz blieben bei der Bewertung unberücksichtigt.

Als Basis des Untersuchungsplans wurde ein Bauteilkatalog mit repräsentativen Außenwand- und Dachaufbauten für den Neubau und den Gebäudebestand erstellt. Bei den Außenwandaufbauten wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens drei Aufbautypologien unterschieden, und zwar Neubau (Aufbau 02), WDVS auf Altputz (Aufbau 01 + 02) und Szenario „Aufdopplung WDVS“ (Aufbau 02 + 03). Hierbei wurden die in Abbildung 3 dargestellten Tragschichten und WDVS sowie unterschiedliche Putzsysteme kombiniert.

Für die Dächer wurden die Dachaufbautypologien „Neubau“ und als energetische Sanierung „Zusatzdämmung“ ausgeführt. Abbildung 4 zeigt die verschiedenen Dachaufbauten auf Dachkonstruktionen aus Stahlbeton und Trapezblech.

In Anlehnung an die Auswahl der Wirkungskategorien der Nachhaltigkeitszertifizierung des BNB und DGNB wurden folgende Wirkungskategorien untersucht:

- Primärenergiebedarf nicht regenerierbar (in MJ)
- Primärenergiebedarf regenerierbar (in MJ)
- Abiotischer Ressourcenverbrauch (ADP) (in kg Sb-Äq.)
- Treibhauspotential (in kg CO₂-Äquivalent)
- Ozonschichtzerstörungspotential (in kg R₁₁-Äquivalent)
- Versauerungspotential (in kg SO₂-Äquivalent)
- Eutrophierungspotential (in kg PO₄-Äquivalent)
- Photochem. Oxidantienbildungspotential (in kg C₂H₄-Äquivalent)

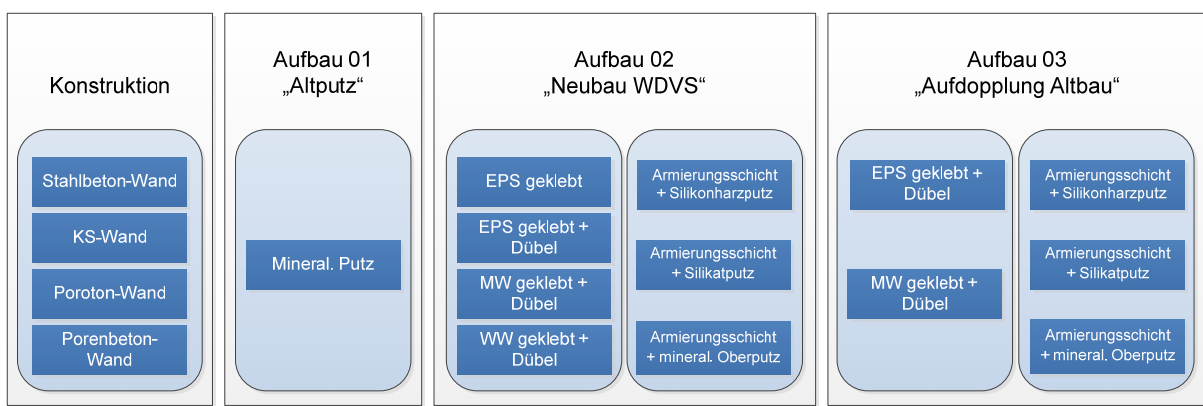


Abbildung 3: Außenwandaufbauten

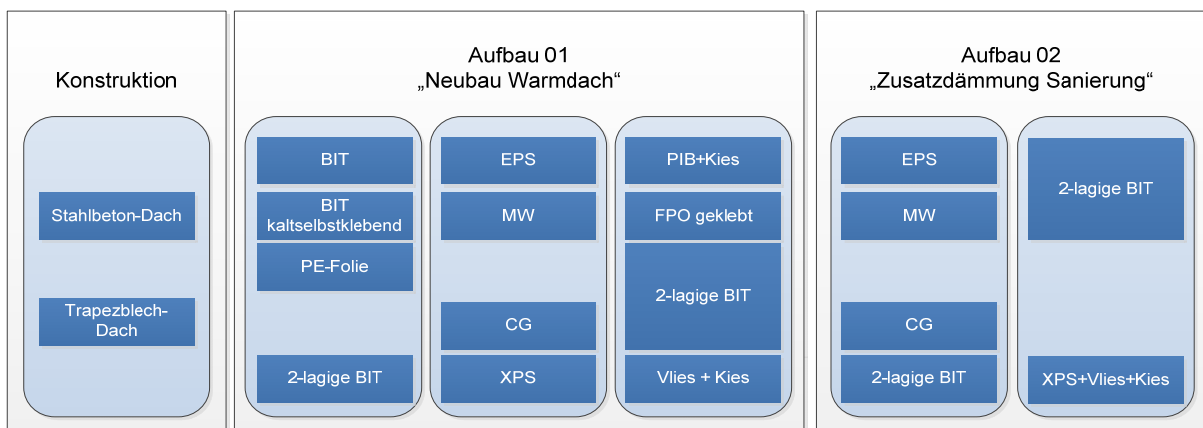


Abbildung 4: Flachdachaufbauten

4 Ergebnisse Versuchsdurchführung

Die Versuchsergebnisse wurden in Form von Versuchsprotokollen erfasst, deren Ergebnisse nach Abschluss der experimentellen Versuche auf ihre Plausibilität und Konsistenz geprüft wurden und im Folgenden zusammenfassend dargestellt werden.

Massenbilanz und Sortenreinheit

Bei der Auswertung der In- und Outputflüsse wurde für die WDVS ein mittlerer Massenverlust von ca. 8 % der eingebrachten Materialien ermittelt, wobei die höchsten Massenverluste beim Arbeitsschritt „Rückbau der Putzschicht“ mit 16 % Massenverlust der Input-Masse erreicht wurden. Bei den Flachdachaufbauten waren die Verluste wesentlich

geringer und lagen ca. bei 3 % der Input-Masse. Ein sortenreiner Rückbau der WDVS- und Flachdachaufbauten war nur bei den lose verlegten Flachdachaufbauten möglich.

Trenn- und Wiederbelegbarkeit

Mit Ausnahme von den Porenbetonwänden waren die Tragschichten aller Wand- und Dachaufbauten nach Rückbau der Aufbauten ohne weitere Vorbereitungsmaßnahmen zu belegen. Bei den Porenbetonwänden mussten umfangreiche Fehlstellen mit Ausgleichsmörtel gefüllt werden, was einen erheblichen Mehraufwand verursachte.

Hinsichtlich der Wiederbelegbarkeit nach Teilrückbau war bei allen WDVS die Putzschicht ohne störende Rückstände vom Dämmstoff abzuziehen, was eine Wiederbelegung ohne umfangreiche Vorbereitungsmaßnahmen ermöglicht. Bei den Flachdachaufbauten bot allein der Aufbau mit loser Verlegung oder des Kompaktdachs die Möglichkeit zum Austausch der Abdichtungslagen.

Arbeitsaufwand

Als mittleren Arbeitsaufwand für den Rückbau der WDVS „Neubau“ wurden ca. 17,5 min/m², beim Sanierungsaufbau auf „Altputz“ und beim „aufgedoppelten WDVS“ auf „Altsysteme“ ca. 23 - 24 min/m² bilanziert. Für den Rückbau der einlagigen Flachdachaufbauten von der Stahlbetondecke wurde ein mittlerer Zeitaufwand von 11 min/m² und für die Sanierungsszenarien 16 min/m² ermittelt. Der Rückbau der Aufbauten von den Trapezdächern erwies sich mit 3 min/m² als wesentlich kürzer.

Einfluss externer Parameter

Die Versuche an den Musterbauteilen wurden im Außenbereich der Versuchshalle bei unterschiedlichen Witterungen im Zeitraum zwischen März 2011 – April 2012 von verschiedenen Facharbeitern durchgeführt. Die Temperatur erreicht in diesem Zeitraum Minimalwerte von 2°C- 4°C und 35°C als Maximaltemperatur.

Der Verdacht der Kausalität zwischen Außentemperatur, Motivation und Arbeitsaufwand bestätigte sich bei den Wandaufbauten nicht, vielmehr war der Arbeitsaufwand abhängig von der jeweilig ausführenden Person. Bei den Flachdächern wurde für die Trennbarkeit der Bitumenabdichtungen ein direkter Zusammenhang zwischen Temperatur und Arbeitsaufwand festgestellt. Die Rückbauzeit einzelner Bitumenabdichtungen erhöhte sich in Abhängigkeit von der Temperatur auf das Neunfache.

Verifizierung an Realprojekten

Die in den Musterversuchen gewonnenen Ergebnisse konnten anhand ausgewählter Sanierungs- und Rückbaumaßnahmen bestätigt werden.

5 Ergebnisse der Ökobilanz

Ökobilanzen für den Rückbau wurden für alle drei Fälle „Musterbauteil, Bauteil nach ENEC 2009 und Passivbauweise“ erstellt. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Themen Umweltwirkung, Abscheidekriterien und Kosten kurz erläutert.

Umweltwirkungen

Die Umweltwirkung des Rückbaus der WDVS ist in starkem Maße abhängig von der Wahl des Dämmstoffes. Bei EPS und WW als Dämmstoff wirken die Gutschriften aus der thermischen Verwertung entlastend auf die Umweltwirkung des Rückbaus, insbesondere bei den Holzfaserstoffen. Bei den Flachdächern sind die Gutschriften durch die thermische Verwertung der Bitumenabdichtungen und XPS/EPS für die Umweltwirkung des Rückbaus

prägend. Mit Ausnahme des Treibhauspotenzials erzielen die Aufbauten mit der höchsten Bitumenmasse die maximalen ökologischen Gutschriften.

Umweltwirkungen „Transport und Energie Werkzeuge“

Der Einfluss der Umweltwirkung des Transportes liegt über 1% der Indikatorwerte des Trennungsprozesses und sollte bei der Ökobilanz berücksichtigt werden. Hierbei wirken die Energieaufwendungen des Transportes mit Ausnahme der Wirkungskategorie POCP verstärkend.

Die Aufwände für die Energie von Werkzeugen waren bei allen Bauteilen sehr gering und somit auch ihr Anteil an der gesamten Umweltwirkung des Rückbaus. Bei den Flachdachaufbauten liegt der Anteil aus „Energie Werkzeuge“ unter 1% der Gesamtwirkung und kann vernachlässigt werden. Bei den WDVS korreliert die Relevanz der Energie für Werkzeuge mit Indikatorwerten aus der Nachnutzung des WDVS und kann nicht grundsätzlich vernachlässigt werden.

Kosten

Die Ergebnisse der Rückbaukosten der Wand- und Dachaufbauten variieren je nach den Entsorgungskosten der Abfallfraktionen und dem Arbeitsaufwand. Beim Rückbau der WDVS streuen die Kosten zwischen ca. 8,50 €/m² (WDVS EPS Stahlbetonwand) bis zu 33,70 €/m² (WDVS auf Porenbetonwand mit Altputz). Beim Rückbau der WDVS mit EPS und WW dominieren die Rückbaukosten durch den Arbeitsaufwand. Hingegen übersteigen beim WDVS MW die Kosten der Entsorgung die Arbeitsaufwände. Kostentreiber sind hierbei die hohen Deponiekosten der Mineralwolle. Die Kosten der Flachdachaufbauten liegen zwischen 4 und 24,5 €/m². Bei EPS und CG überwiegen die Arbeitsaufwandskosten die Entsorgungskosten und bei der Mineralwolle wie beim WDVS die Deponierungskosten.

6 Gesamtbewertung

Für die praxisnahe Gesamtbewertung der Trennbarkeit ist es erforderlich, alle ermittelten Umweltwirkungen und Kosten gegenüber zustellen und abzuwägen. Hierbei wird eine Bewertungsmatrix mit verschiedenen Bedeutungsfaktoren in Anlehnung an die Bewertungsmatrix der Nachhaltigkeitszertifizierung nach DGNB/BNB verwendet. Ökologische und ökonomische Qualitäten gehen in die Bewertung gleichgewichtet ein.

Anhand der Ergebnisse der in Tabelle 1 und 2 dargestellten Gesamtbewertung wird ablesbar, dass keines der Bauteile gleichermaßen ökologische und ökonomische Anforderungen optimal erfüllt. Wie bereits die Ergebnisse der Ökobilanz zeigten, sind unter ökologischen Aspekt WDVS mit WW und Dachaufbauten mit Bitumenabdichtungen durch hohe Gutschriften aus thermischer Verwertung am vorteilhaftesten.

Hinsichtlich der ökonomischen Qualität nimmt das verklebte WDVS mit EPS auf der Stahlbetonplatte durch den extrem geringen Zeitaufwand den Spitzenplatz ein. Bei den Dachaufbauten wirkt sich die schnelle Demontierbarkeit der lose verlegten Aufbauten und der Aufbauten auf Trapezblechkonstruktion vorteilhaft auf die Kosten aus. Außenbauteile mit Mineralwolle werden trotz kürzerer Rückbauzeit auf Grund der schlechten Umweltwirkungen des EoL und der hohen Deponiekosten der Mineralwolle schlechter eingestuft.

Die Auswertung der Bauteile gemäß PH-Standard zeigte, dass sich Ausprägungen dieser Tendenzen infolge höherer Dämmstärke verstärken.

Tabelle 1: Bewertung des Rückbaus der WDVS (gemäß ENEV 2009)

Tragschicht	EPS geklebt	EPS geklebt + Dübel	MW geklebt + Dübel	WW geklebt + Dübel	EPS geklebt + Dübel auf Altputz	MW geklebt + Dübel auf Altputz	WW geklebt + Dübel auf Altputz	EPS geklebt + Dübel auf WDVS	MW geklebt + Dübel auf WDVS
Stahlbeton	gut	mittel	schlecht	gut	schlecht	schlecht	gut	schlecht	sehr schlecht
KS-Wand	mittel	mittel	schlecht	gut	schlecht	sehr schlecht		schlecht	schlecht
Poroton-Wand	mittel	mittel	schlecht	mittel	schlecht	schlecht		schlecht	schlecht
Porenbeton-Wand	sehr schlecht		schlecht	mittel	sehr schlecht	sehr schlecht			

Aufwand zur Demontage nach Bewertungsskala DGNB: ökologischen Wirkungskategorien

Tragschicht	EPS geklebt	EPS geklebt + Dübel	MW geklebt + Dübel	WW geklebt + Dübel	EPS geklebt + Dübel auf Altputz	MW geklebt + Dübel auf Altputz	WW geklebt + Dübel auf Altputz	EPS geklebt + Dübel auf WDVS	MW geklebt + Dübel auf WDVS
Stahlbeton	mittel	mittel	schlecht	sehr gut	mittel	sehr schlecht	sehr gut	schlecht	schlecht
KS-Wand	mittel	mittel	schlecht	sehr gut	mittel	sehr schlecht		schlecht	schlecht
Poroton-Wand	schlecht	schlecht	schlecht	mittel	schlecht	schlecht		schlecht	schlecht
Porenbeton-Wand	sehr schlecht		schlecht	mittel	sehr schlecht	sehr schlecht			

Aufwand zur Demontage nach Bewertungsskala DGNB: Ökonomie

Tragschicht	EPS geklebt	EPS geklebt + Dübel	MW geklebt + Dübel	WW geklebt + Dübel	EPS geklebt + Dübel auf Altputz	MW geklebt + Dübel auf Altputz	WW geklebt + Dübel auf Altputz	EPS geklebt + Dübel auf WDVS	MW geklebt + Dübel auf WDVS
Stahlbeton	sehr gut	mittel	mittel	mittel	schlecht	schlecht	mittel	schlecht	sehr schlecht
KS-Wand	mittel	mittel	schlecht	schlecht	sehr schlecht	schlecht		schlecht	schlecht
Poroton-Wand	mittel	mittel	schlecht	mittel	mittel	schlecht		schlecht	schlecht
Porenbeton-Wand	sehr schlecht		schlecht	mittel	sehr schlecht	sehr schlecht			

Tabelle 2: Bewertung des Rückbaus der FD (gemäß ENEV 2009)

Tragschicht	FD-Aufbau	Bewertung Gesamt	Ökologie	Ökonomie
Stahlbeton	Warmdach lose verlegt mit Auflast, EPS mit PIB	gut	mittel	gut
	Warmdach lose verlegt mit Auflast, MW mit PIB	schlecht	schlecht	schlecht
	Warmdach verklebt, EPS + Bitumen	schlecht	mittel	schlecht
	Warmdach verklebt, MW + Bitumen kaltselbstklebend	schlecht	schlecht	schlecht
	Warmdach verklebt, MW + Bitumen im Schweißverfahren	schlecht	mittel	schlecht
	Kompaktdach	schlecht	schlecht	schlecht
	Umkehrdach	gut	mittel	gut
	Warmdach verklebt, EPS + Kunststoffabdichtung FPO mit Vlies	mittel	schlecht	mittel
	Warmdach verklebt, MW + Kunststoffabdichtung FPO mit Vlies	schlecht	sehr schlecht	schlecht
Stahlbeton Sanierung	Warmdach verklebt, EPS mit Zusatzdämmung	gut	mittel	gut
	Warmdach verklebt, MW mit Zusatzdämmung	schlecht	mittel	sehr schlecht
	Warmdach verklebt, EPS + Bitumenabdichtung 4-lagig mit Zusatzdämmung Umkehrdach	gut	gut	mittel
	Warmdach verklebt, MW + Bitumen im Schweißverfahren mit Zusatzdämmung Umkehrdach	mittel	gut	schlecht
	Kompaktdach mit Zusatzdämmung	schlecht	mittel	schlecht
Trapezblech	Warmdach lose verlegt mechanisch befestigt, EPS mit PIB	gut	schlecht	sehr gut
	Warmdach lose verlegt mechanisch befestigt, MW mit PIB	schlecht	schlecht	mittel
	Warmdach verklebt, EPS + Bitumenabdichtung kaltselbstklebend	gut	mittel	gut
	Warmdach verklebt, MW + Bitumen kaltselbstklebend	schlecht	schlecht	schlecht
	Warmdach verklebt, MW + Bitumenabdichtung verschweißt	schlecht	mittel	schlecht
	Kompaktdach	mittel	schlecht	gut
	Warmdach verklebt, EPS + FPO mit Vlies	gut	schlecht	sehr gut
	Warmdach verklebt, MW + FPO mit Vlies	schlecht	sehr schlecht	mittel

7 Fazit

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurde erstmalig die Trennbarkeit von baupraxisüblichen Wand- und Dachaufbauten untersucht. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass eine Lösbarkeit aller Schichten bei den hybriden Außenbauteilen nicht gegeben ist, jedoch lassen sich einzelne Schichten wie beim WDVS die Putzschicht oder beim Kompaktdach die Abdichtungslage ohne großen Arbeits- und Materialaufwand austauschen. Weiterhin wurde im Rahmen der Recherche festgestellt, dass bei Sanierungsmaßnahmen der Außenbauteile weniger ein Rückbau stattfindet, sondern meist die vorhandene Bausubstanz „aufgedoppelt“ wird. Die in der vorliegenden Studie gesammelten Erkenntnisse können als Ergänzung in die vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung veröffentlichten Nutzungsdauern einfließen, z.B. in Form von Anwendungsbeispielen der Nutzungsdauern. Somit werden Hinweise gegeben, die die einheitliche Anwendung der Nutzungsdauern gemäß der tatsächlichen Baupraxis ermöglichen.

Mit der Forschungsarbeit konnte verifiziert werden, dass sich die im Rahmen der Analyse der Trennbarkeit der Innenwände entwickelte Bewertungsmethodik auf andere Bauteile übertragen lässt. Im Vergleich der Bewertungen von Innen- und Außenbauteilen wird jedoch deutlich, dass bei den Außenbauteilen weniger die In- und Outputflüsse der Rückbau- und Vorbereitungsmaßnahme an sich den entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis haben, als vielmehr die mögliche Nachnutzungsphase der Abbruchmassen. Leider war es im Rahmen dieser Forschungsarbeit nicht möglich, die ökologische Vorteilhaftigkeit der sortenreinen Trennung realistisch zu ermitteln, da bisher keine generischen Daten für das Recycling oder Downcycling von EPS, Kunststoffen oder Mineralwolle vorliegen. Die Sensitivitätsanalyse zeigte, dass hier große Potenziale für Ressourcenschutz aber auch zur Kostensenkung liegen. Prämisse der hochwertigen Weiterverarbeitung ist die sortenreine Trennbarkeit.

Der Untersuchungsrahmen erfasste alle mit dem Rückbau der Bauteilaufbauten verbunden ökologischen und ökonomischen Wirkungen, wie Rückbau- und Entsorgungskosten. Die Studie stellt Basis-Daten zur Verfügung, die einerseits in die Planung von Sanierungs- und Rückbaumaßnahmen aber auch bei der Erstellung von Umwelt-System Deklarationen (ESD) einfließen können. Basierend auf den Ergebnissen können Handlungsanweisungen und Verfahrenstechniken entwickelt werden, die aus ganzheitlicher Sicht einen optimalen Rückbau realisieren. Für Hersteller werden Benchmarks und Anhaltspunkte geliefert, welche Möglichkeiten zur Optimierung der Trennbarkeit - insbesondere bei den WDVS - bestehen. Ebenso konnten Lücken der aktuellen Entsorgungs- und Aufbereitungsverfahren, wie das werkstoffliche Recycling leicht verunreinigter EPS-Platten, aufgedeckt werden, die zukünftig durch neue Recyclingtechniken geschlossen werden sollten, um dem Ziel des Ressourcenschutzes zu folgen.

Neben der Analyse der Trennbarkeit wurde bei der Bilanzierung der Stoffflüsse festgestellt, dass entgegen der vereinfachten Annahme der Ökobilanz in der Baupraxis mit dem Abbruchprozess ein Materialverlust von insgesamt ca. 10% der Eingangsmassen verbunden ist. Es wird zu klären sein, ob und in welchem Umfang dies bei der Lebenszyklusbetrachtung von Gebäuden berücksichtigt werden soll.

Leider konnte im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nur eine kleine Auswahl der Außenbauteile exemplarisch untersucht werden. Grundsätzlich sollte die Trennbarkeit für andere Systeme und unter Berücksichtigung von Alterungsprozessen, z.B. das „Verbacken von Bitumenabdichtungen“ oder das Aushärten von Klebern beurteilt werden. Wünschenswert wäre die Integration des Qualitätsmerkmals „Trennbarkeit“ bei der Erstellung von EPDs.