

## ***Analyse der Trennbarkeit von Materialschichten hybrider Innenbauteile bei Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen – 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- 09.4 / II 2 – F20-09-1-076)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

### **1 Einleitung**

Zukünftig sind mit der Einführung des Deutschen Gütesiegels für nachhaltiges Bauen sämtliche Umweltwirkungen einer Baukonstruktion über alle Lebenszyklusphasen quantitativ mit Hilfe einer Ökobilanz zu bestimmen. Dies bedeutet, dass auch alle Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen in die Gebäudebewertung einfließen müssen.

Die Anforderungen an moderne Gebäude steigen zusehends, wodurch Modernisierungs- und Instandsetzungsmaßnahmen immer häufiger erforderlich werden. Es besteht daher ein gesellschaftliches Interesse, die Umweltwirkungen aus derartigen Maßnahmen zu reduzieren bzw. die entsprechenden Prozesse zu optimieren. Die enorme Bedeutung der Nachhaltigkeitsbeurteilung von Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen wird auch durch die im nationalen Nachhaltigkeitszertifikat zu bewertenden Kriterien "Instandhaltungsfreundlichkeit des Baukörpers" und "Rückbaubarkeit, Recyclingfreundlichkeit" belegt. Eine objektive Bewertung durch den Zertifizierer ist bislang aufgrund fehlender wissenschaftlicher Untersuchungen auf diesem Gebiet noch nicht möglich.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die Umweltwirkung von Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen bei Büro- und Wohngebäuden im Hinblick auf eine Reduzierung des Energie- und Materialverbrauchs zu untersuchen und eine Beurteilungsmethode zur Bewertung der Trennbarkeit unterschiedlicher Materialien bei Innenbauteilen (Wand, Decke, Boden) zu entwickeln. Derartige Bauelemente stellen den überwiegenden Materialeinsatz sowohl bei der Bauwerkserstellung, als auch bei Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen im Gebäudebestand dar und können daher als repräsentativ für die zu untersuchende Problematik angesehen werden.

Die Betrachtung des bei Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen erforderlichen Energie- und Materialverbrauchs zeigt, dass die Trennbarkeit der verwendeten Materialien

und somit der recyclinggerechte Rückbau und der ressourcenschonende Einbau von Materialien ein wichtiges Kriterium bei der Nachhaltigkeitsbeurteilung sind. Die wichtigsten Einflussfaktoren sind dabei die Art der Verbindung zwischen den Materialien, die Zugänglichkeit der zu trennenden Materialien sowie die Demontagetechnik. Die Art der Verbindung der Materialschichten ist von besonderem Interesse, da diese maßgeblich bestimmt, in welcher Menge technisch noch einwandfreie Materialschichten ebenfalls ausgetauscht werden müssen, da diese von der primär auszutauschenden Materialschicht nicht mehr oder nur noch mit erheblichem Aufwand getrennt werden können. In diesen Fällen ist es notwendig, nach dem Entfernen des auszutauschenden Materials bzw. Produkts (z.B. Tapete, Fliese) die Tragschicht (z.B. Putz, Estrich) neu aufzubereiten, bevor ein neues Material aufgebracht werden kann. Hierdurch werden zusätzliche Stoffströme erzeugt, welche unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten zu optimieren sind. Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollen Empfehlungen hergeleitet werden, die es dem Planer von Gebäuden erlauben, rückbau- und recyclingfreundliche Bauwerke zu entwerfen, die im Rahmen der Nachhaltigkeitszertifizierung positiv bewertet werden können.

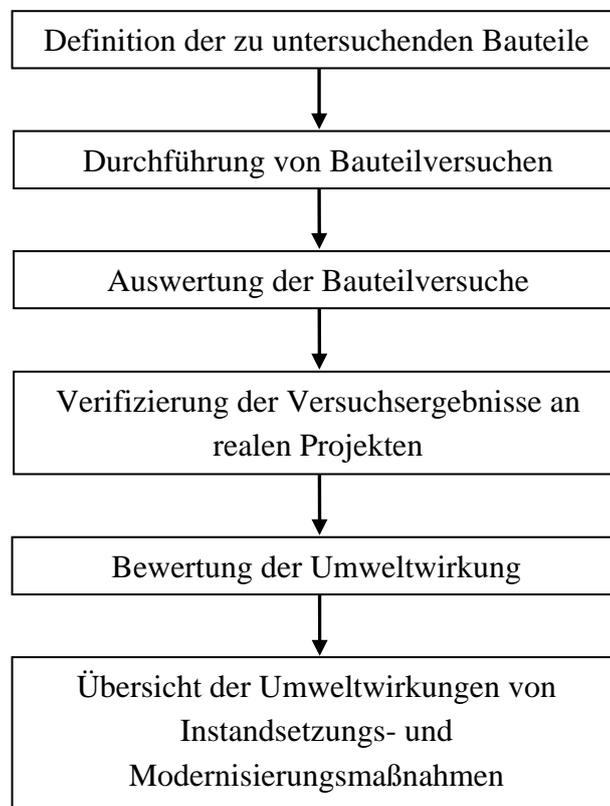
Durch die Ergebnisse des Forschungsprojekts kann der Energie- und Materialverbrauch bei Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen von Gebäuden im Sinne des Nachhaltigkeitsgedankens optimiert werden. Die im Rahmen des Forschungsprojekts erstellte Bewertungsmethodik macht eine objektive Beurteilung der Instandhaltungsfreundlichkeit, Rückbaubarkeit und Recyclingfreundlichkeit im Rahmen der Zertifizierung überhaupt erst möglich. Weiterhin können Entwicklungspotentiale für die deutsche Bauwirtschaft in den Bereichen des Innenausbaus aufgezeigt werden. Die Hersteller entsprechender Produkte erhalten Hinweise, welche Probleme beim Rückbau auftreten können und sind dadurch in der Lage, durch Weiterentwicklungen neue Wettbewerbsvorteile zu generieren.

Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen sind nicht auf einen bestimmten Teil des Bauwesens beschränkt. Im Büro-, Wohnungs- oder Verwaltungsbau werden derartige Maßnahmen mit vergleichbaren Mitteln durchgeführt. Damit sind die Ergebnisse des Forschungsprojekts auf alle genannten Bereiche des Bauwesens übertragbar.

## **2 Vorgehensweise**

Ansatz für das Forschungsprojekt ist die Beurteilung des Energie- und Materialverbrauchs infolge von Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen während des Lebenszyklus eines Gebäudes. Dazu wird der Energie- und Materialverbrauch vom sanierungsbedürftigen Bauteil über den Rückbau bis zur Herstellung der fertigen Tragschicht für das Aufbringen der neuen Bekleidung untersucht. Die Ökobilanz der Herstellung der einzelnen Beläge und Bekleidungen wird nicht betrachtet, da die Herstellung nicht im Systemrahmen der Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen beinhaltet ist, wenngleich dort erhebliche Unterschiede zu erwarten wären. Im Rahmen der Versuchsreihe werden 28 repräsentative Wand- und 16 repräsentative Fußbodenaufbauten sowie die zugehörigen

Instandsetzungsmaßnahmen definiert. Die entsprechenden Wand- und Bodensysteme werden als Bauteilversuch errichtet und unter kontrollierten Bedingungen zurückgebaut. Der dabei entstehende Energie- und Materialverbrauch wird erfasst und dokumentiert. Für die ökologische Bewertung der ermittelten Stoffströme werden die hinterlegten Materialkennwerte der Ökobilanzdatenbank "Ökobau.dat" des Bundes herangezogen. Fehlende Materialien können aus anderen Datenbanken (z.B. GABI, ecoinvent) oder EPD's ergänzt werden. Die ermittelten Stoffströme werden mit Hilfe der "Ökobau.dat" ausgewertet und analysiert. Aufbauend auf den Untersuchungsergebnissen wird eine Methodik entwickelt, mit der eine objektive Beurteilung der Rückbaubarkeit und Recyclingfreundlichkeit verschiedener Wand- und Bodensysteme möglich ist. Darüber hinaus erlauben die Ergebnisse eine Quantifizierung der bei Modernisierungsmaßnahmen entstehenden Umweltwirkungen, welche die Informationslücken in bestehenden Bauteilverzeichnissen füllen können. Die Vorgehensweise ist in Bild 1 zusammengefasst.

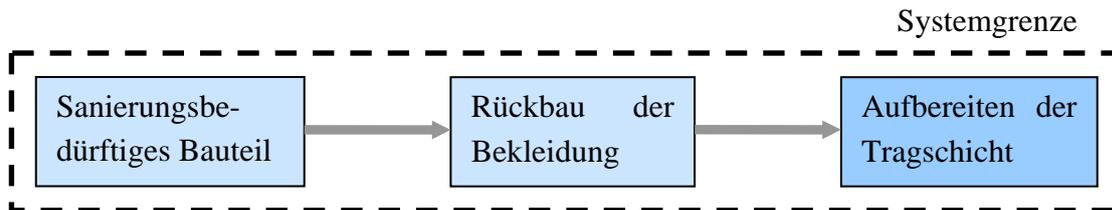


**Bild 1: Vorgehensweise innerhalb des Forschungsprojektes**

### **3 Untersuchungsrahmen**

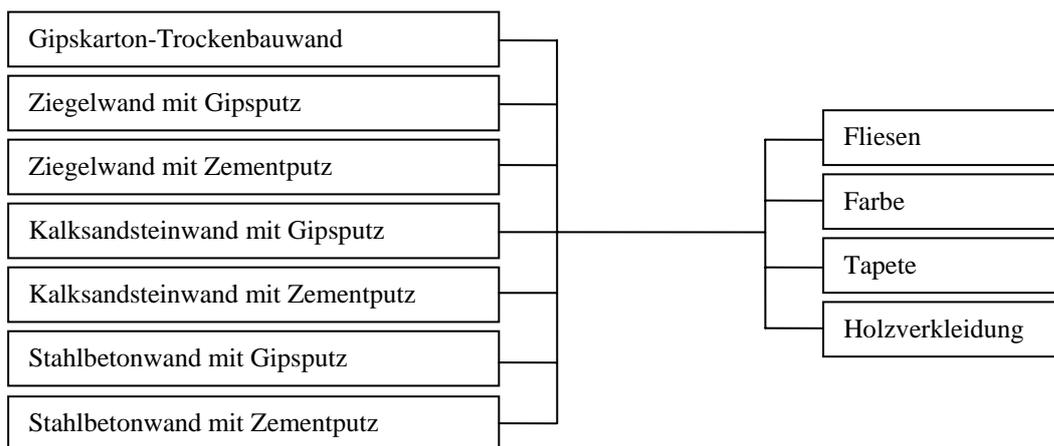
Als Untersuchungsrahmen ist die Bewertung der Umweltwirkung von Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen bei Büro- und Wohngebäuden im Hinblick auf eine Reduzierung des Energie- und Materialverbrauchs vorgesehen. Dazu wird der Energie- und

Materialverbrauch vom sanierungsbedürftigen Bauteil über den Rückbau bis zur Herstellung der fertigen Tragschicht für das Aufbringen der neuen Bekleidung betrachtet.



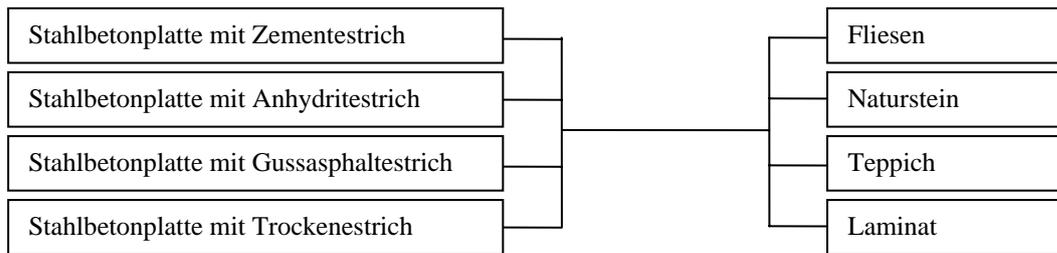
**Bild 2: Darstellung der Systemgrenze**

Die Systemgrenze der Betrachtung umfasst, wie in Bild 2 dargestellt, den reinen Instandsetzungsprozess einer sanierungsbedürftigen Wandbekleidung oder eines Bodenbelags. Dieser setzt sich aus dem Rückbau der auszutauschenden Schicht und dem notwendigen Aufbereiten der Tragschicht zusammen. Eine Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus der Bekleidungen, insbesondere die Herstellung der Beläge, ist im Rahmen dieser Arbeit nicht erforderlich. Ebenfalls nicht betrachtet wird die Tragstruktur der Wände und Böden, die die Grundlage der aufgetragenen Beläge und Bekleidungen bildet, soweit diese im Rahmen der Instandsetzungsarbeiten erhalten bleibt.



**Bild 3: Wandaufbauten und Wandverkleidungen**

Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Bilanzierung von Instandsetzungsmaßnahmen zu ermöglichen, werden der Studie als funktionelle Einheit „m<sup>2</sup> instandgesetztes Bauteil“ zugrunde gelegt. Für die praxisnahe Durchführung werden Versuche im Maßstab 1:1 an Wänden mit den Abmessungen 2,0 m x 2,5 m (Breite x Höhe) und Fußböden mit den Abmessungen 2,0 m x 2,0 m (Breite x Länge) durchgeführt. Diese Abmessungen sind notwendig, um bei Wandbauteilen auch das Arbeiten über Kopf sowie in Bodennähe simulieren zu können. Durch die unterschiedlichen Arbeitspositionen sind differenzierte Auswirkungen auf die Qualität der Trennbarkeit und ein praxisnaher Durchschnittswert bei Energie- und Personalaufwand zu erwarten. Im Rahmen der Versuchsreihe wurden die in Bild 3 und Bild 4 dargestellten Tragkonstruktionen und Bekleidungen miteinander kombiniert.



**Bild 4: Fußbodenaufbauten und Beläge**

Als Untersuchungskriterien wurden dabei die wissenschaftlich und normativ anerkannten Kriterien der Hauptkriteriengruppe „Ökologische Qualität“ des „Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen“ herangezogen:

- Primärenergiebedarf nicht regenerierbar (in MJ)
- Primärenergiebedarf regenerierbar (in MJ)
- Abiotischer Ressourcenverbrauch (in kg Sb-Äquivalent)
- Treibhauspotential (in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent)
- Ozonschichtzerstörungspotential (in kg R<sub>11</sub>-Äquivalent)
- Versauerungspotential (in kg SO<sub>2</sub>-Äquivalent)
- Eutrophierungspotential (in kg PO<sub>4</sub>-Äquivalent)
- Photochem. Oxidantienbildungspotential (in kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-Äquivalent)

Auf die Darstellung und Interpretation weiterer Kriterien, wie z. B. Humantoxizität, wurde aufgrund der eingeschränkten Akzeptanz in der Fachöffentlichkeit und einer bisher nur lückenhaft vorliegenden Datengrundlage verzichtet. Die Modellierung der einzelnen Prozesse und Teilprodukte innerhalb der Umweltbewertung erfolgt mit Hilfe der „Ökobau.dat“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Die dort vorhandenen Datensätze werden regelmäßig gepflegt und gewährleisten eine hohe Datengenauigkeit und -aktualität.

#### 4 Ergebnisse und Empfehlungen

Für eine möglichst praxisnahe Bewertung der Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen ist es erforderlich, alle ermittelten Aufwendungen gegenüberzustellen und gegeneinander abzuwägen. Eine derartige Abschätzung wird anhand einer Methodik, angelehnt an das System der Bedeutungsfaktoren aus den DGNB-Steckbriefen für Büro- und Verwaltungsbauten Version 2009 [DGNB e.V. (Hrsg.)], durchgeführt. Diese Bedeutungsfaktoren geben eine Wichtung der einzelnen Umweltwirkungen untereinander vor, zu der im Rahmen dieser Arbeit noch der Stundenaufwand des ausführenden Fachpersonals im Sinne von Kostenanteilen hinzugefügt wird.

**Tabelle 1: Bewertung von Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen bei Wandbekleidungen**

Tragschicht	Wandbekleidung neu	Fliese	Tapete	Farbe	Holzverkleidung
	Wandbekleidung alt				
Gipskarton Leichtbauwand	Fliese	mittel	mittel	mittel	mittel
	Tapete	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
	Farbe	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
	Holzverkleidung	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Ziegelmauerwerk mit Zementputz	Fliese	sehr schlecht	sehr schlecht	sehr schlecht	sehr schlecht
	Tapete	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
	Farbe	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
	Holzverkleidung	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Ziegelmauerwerk mit Gipsputz	Fliese	sehr gut	gut	gut	sehr gut
	Tapete	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
	Farbe	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
	Holzverkleidung	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
KS-Mauerwerk mit Kalkzementputz	Fliese	sehr schlecht	sehr schlecht	sehr schlecht	sehr schlecht
	Tapete	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
	Farbe	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
	Holzverkleidung	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
KS-Mauerwerk mit Gipsputz	Fliese	sehr gut	gut	gut	sehr gut
	Tapete	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
	Farbe	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
	Holzverkleidung	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Stahlbetonwand mit Kalkzementputz	Fliese	schlecht	sehr schlecht	sehr schlecht	schlecht
	Tapete	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
	Farbe	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
	Holzverkleidung	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Stahlbetonwand mit Gipsputz	Fliese	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
	Tapete	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
	Farbe	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
	Holzverkleidung	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut

In Tabelle 1 wird deutlich, dass die Demontage von Fliesen erheblich größere Auswirkungen aufweist als die verschiedenen anderen Wandbekleidungen. Es wird darauf hingewiesen, dass im Rahmen der Versuchsreihe der Zementputz bei der Demontage von Fliesen vollständig entfernt werden musste, was erhebliche Auswirkungen in allen maßgebenden Bereichen mit sich bringt. Ähnlich verhält es sich mit dem notwendigen Austausch der Gipskartonplatten nach dem Entfernen von Fliesen, wobei der Aufwand hier etwas geringer bleibt. Farbe und Tapete als Wandbekleidung verhalten sich relativ ähnlich und haben im Vergleich zu Fliesen und Holzbekleidung nur sehr geringe Umweltwirkungen. Das Abnehmen einer Holzbekleidung von einer Wand kann durch die Verbrennung von Bekleidung und Unterkonstruktion einen negativen Ressourcenverbrauch bewirken, was sich somit positiv in der Ökobilanz auswirkt. Des Weiteren kann eine sorgfältig abgenommene Holzverkleidung je nach Alter und Aussehen auch wiederverwendet werden, was zu einer Verlängerung der Lebensdauer und damit zu einem weiteren positiven Einfluss auf die Ökobilanz führt.

Die Verifizierung der Ergebnisse an verschiedenen Realobjekten zeigte bei der Demontage von Fliesen, dass das vollständige Entfernen von Zementputz nicht zwingend erforderlich sein muss, weshalb an dieser Stelle weitere Untersuchungen angeraten werden, die möglichst in naher Zukunft durchgeführt werden sollten.

Die verwendeten Bodenbeläge wurden für die Untersuchung vollflächig mit dem jeweiligen Untergrund verklebt und mussten nahezu alle mit einem Elektrostripper gelöst werden. Laminat und textile Bodenbeläge werden in dieser vollflächigen Verklebung nur noch selten verlegt, jedoch können Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen durchaus auch solche geklebten Beläge betreffen. Bei der Bewertung der Bodenbeläge ergibt sich im Vergleich zu den Wandbelägen ein etwas differenzierteres Bild (siehe Tabelle 2), wobei sich auch hier der jeweilige Komplettaustausch des Trockenstrichs nach der Demontage von Fliesen, Laminat und Natursteinbelag auf das Ergebnis auswirkt.

**Tabelle 2: Bewertung von Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen an Bodenbelägen**

Tragschicht	Bodenbelag neu	Fliese	Laminat	Textiler Bodenbelag	Natursteinwerk
	Bodenbelag alt				
Zementestrich	Fliese	mittel	mittel	mittel	mittel
	Vollfl. gekl. Laminat	mittel	mittel	mittel	mittel
	Vollfl. gekl. Teppich	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
	Natursteinwerk	gut	gut	gut	gut
Anhydritestrich	Fliese	mittel	mittel	mittel	mittel
	Vollfl. gekl. Laminat	gut	gut	gut	gut
	Vollfl. gekl. Teppich	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
	Natursteinwerk	gut	gut	gut	gut
Gussasphaltestrich	Fliese	mittel	mittel	mittel	mittel
	Vollfl. gekl. Laminat	gut	gut	gut	gut
	Vollfl. gekl. Teppich	gut	gut	gut	gut
	Natursteinwerk	gut	gut	gut	gut
Trockenestrich	Fliese	schlecht	mittel	mittel	schlecht
	Vollfl. gekl. Laminat	schlecht	mittel	mittel	schlecht
	Vollfl. gekl. Teppich	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
	Natursteinwerk	schlecht	mittel	mittel	schlecht

Die in dieser Arbeit erstmalig durchgeführten Untersuchungen zur Trennbarkeit unterschiedlicher Materialschichten in Verbundbauteilen zeigen deutlich, dass die bisherige Herangehensweise, bei der von einer vollständigen Lösbarkeit einzelner Schichten ausgegangen wird, nicht für alle Wand- bzw. Bodenbeläge dem Stand der Technik entspricht. Sämtliche geklebten bzw. nass-in-nass verlegten Verbindungen bedürfen einer genaueren Betrachtung, wofür mit dieser Arbeit ein erster Grundstein gelegt wurde.

Durch die Forschungsergebnisse konnte eine Bewertungsmethode gefunden werden, mit deren Hilfe auf objektiver Grundlage entschieden werden kann, welche Wand- und Fußbodenaufbauten eine nachhaltige Instandsetzung bzw. eine nachhaltige Modernisierung durch eine Reduzierung des Energie- und Materialverbrauchs ermöglichen. Die Methodik kann bereits in der Planungsphase für ein Gebäude zur Anwendung kommen und dazu

beitragen, die Umweltwirkungen über den Lebenszyklus zu reduzieren. Dem Zertifizierer werden durch die Forschungsergebnisse Informationen geliefert, wie Demontageprozesse in der Nachhaltigkeitszertifizierung zu bewerten sind. Zusätzlich wird eine Ergänzung für die bestehenden ökologischen Bauteilverzeichnisse um die Umweltwirkung von Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen bereitgestellt, was zur Kostenreduzierung für die Erstellung eines Zertifikats beiträgt.

Es wird darauf hingewiesen, dass im Rahmen des Forschungsprojekts nur einzelne Produkte (Beläge und Bekleidungen) auf üblichen Wand- bzw. Fußbodenkonstruktionen untersucht werden konnten, so dass zwar ein sehr praxisnahes, aber noch kein für alle Produktgruppen allgemeingültiges Ergebnis erzielt werden konnte. Weitere Vergleichsuntersuchungen einzelner Beläge sollten in Zukunft, eventuell von Herstellerseite, durchgeführt werden.

Des Weiteren ist es unabdingbar, das Alterungsverhalten und den Verlauf der Haftfestigkeit einzelner Schichten näher zu untersuchen. Derzeit liegen noch keine Ergebnisse über die Lösbarkeit von „älteren“ Schichten vor. Dem aktuellen Forschungsprojekt lag die Annahme zugrunde, dass sich einzelne Beläge nach vollständigem Abtrocknen nicht mehr weiter mit der darunterliegenden Schicht verbinden. Eine alterungsbedingte Erhöhung oder Verminderung der Haftfestigkeit musste als Annahme ausgeschlossen werden.