Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik
Lehrstuhl Altlasten
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Spyra

Fachgruppe Bauliches Recycling
Dr.-Ing. Angelika Mettke

Brandenburgische Technische Universität

Schlussbericht zum Forschungsvorhaben

„Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“

gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung
(FKZ 0339972)

Projektträger: Forschungszentrum Jülich GmbH, Außenstelle Berlin

Teil 2: Wieder- und Weiterverwendung großformatiger Betonbauteile

Projektleitung: Dr.-Ing. Angelika Mettke

Autor/Innen: Dipl.-Ing. Sören Heyn
Dr.-Ing. Angelika Mettke
Dipl.-Ing. Cynthia Thomas

Cottbus, 31.01.2008

Weitere Bearbeiter/Innen im Projekt
(unterschiedlich vertraglich gebundene
und zeitliche Mitarbeit):

Dipl.-Ing. Stefan Asmus (M.A.)
Dipl.-Ing. Ricarda Hänsel
Dipl.-Ing. Doris Lausch
Dipl.-Ing. (FH) Alexander Weigelt
Dipl.-Ing. Isabelle Müller
Dipl.-Kauffr. Ewa Malys
Cand.-Arch. Jorge Alvaro-Gonzales
Cand.-Ing. Stephan Marks
Cand. Arch. Ubbo Busboom
Cand. Arch. Eva-Katharina Rupp
Cand. Ing. Mathias Britze

Technische Mitarbeiter/In:

Dipl.-Übers. Evgeny Ivanov
Gero Woydich
Daniela Zalon

In Kooperation mit
Vertretern mehrerer Architektur-/ Planungs- und Ingenieurbüros, Wohnungsunternehmen, Kommunen, Instituten und Verbänden

BTU Cottbus
Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik
Lehrstuhl Altlasten
Fachgruppe Bauliches Recycling
Dr.-Ing. Angelika Mettke

Siemens-Halske-Ring 8
03046 Cottbus
Telefon: 0355 / 69 22 70
Telefax: 0355 / 69 31 71
Email: mettke@tu-cottbus.de
URL: www.tu-cottbus.de/altlasten

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 1

1 Grundlegendes zur Wiederverwendung 7

1.1 Begriffserläuterungen 7

1.2 Rechtliche Aspekte der Wiederverwendung 8

1.2.1 Bedeutung des KrW-/AbfG 8

1.2.2 Bauordnungen der Länder 10

1.2.3 Bauproduktengesetz 12

1.2.4 Transportrechtliche Bestimmungen 13

1.2.5 Europäische Richtlinien 14

1.2.6 Fazit - Rechtliche Voraussetzungen für die Wiederverwendung 14

1.3 Nachnutzungsmöglichkeiten gebrauchter Betonbauteile 15

2 Wiederverwendungseignung / Qualitätsmerkmale rückgebauter Betonelemente 17

2.1 Entscheidungsfindung zur Wiederverwendungseignung 17

2.2 Nullstufe – Voruntersuchung (Demontierbarkeit) 21

2.3 Entscheidungsstufe 1 – Eignungsprüfung 21

2.3.1 Untersuchungsumfang 23

2.3.2 Visuelle Begutachtung 23

2.3.2.1 Bauzustandseinschätzung 23

2.3.2.2 Rissaufnahmen 24

2.3.3 Baustoffliche und –technische Untersuchungen 27

2.3.3.3 Betondruckfestigkeit 27

2.3.3.4 Karbonatisierungstiefe 32

2.3.3.5 Betondeckung 38

2.3.3.6 Untersuchungen zur Tragfähigkeit 48

2.3.3.7 Permeabilität, totale Porosität, Wassereindringtiefe 64

2.3.4 Bauphysikalische Untersuchungen 65

2.3.4.1 Schallschutz 66

2.3.4.2 Wärmeschutz 70

2.3.4.3 Brandschutz / Feuerwiderstand 75

2.3.5 Fazit - Eignungsprüfung (Entscheidungsstufe 1) 81

2.4 Entscheidungsstufe 2 - Hauptprüfung 82

2.4.1 Bauzustandsstufenbewertung vor der Demontage 82

2.4.2 Bauzustandsstufenbewertung nach der Demontage 83

2.4.2.4 Schäden an Deckenplatten (Fallbeispiel Gebäudetyp WBS 70) 84
2.4.2.5 Schäden an Innenwänden (Fallbeispiel Gebäudetyp WBS 70)..... 84
2.4.2.6 Schäden an Außenwänden (Fallbeispiel Gebäudetyp WBS 70) 85
2.4.3 Fazit - Hauptprüfung (Entscheidungsstufe 2)..... 85

2.5 Entscheidungsstufe 3 - Zusatzprüfung.....86
2.5.1 Bauzustandsstufenbewertung nach Umschlag, Transport und Zwischenlagerung 86
2.5.2 Fazit - Zusatzprüfung (Entscheidungsstufe 3)..... 87

2.6 Konsequenzen für die Wiederverwendung.....89

3 Aufarbeitung von Altbetonelementen..... 89

3.1 Typische Schadensbilder.....90
3.1.1 Typische Schadensbilder durch Demontage- und TUL-Prozesse 90
3.1.1.1 Schadensbilder an Deckenplatten 90
3.1.1.2 Schadensbilder an Innenwänden..... 92
3.1.1.3 Schadensbilder an Außenwänden 93
3.1.1.4 Schadensbilder an Innenwandrahmen 94
3.1.1.5 Schadensbilder an Stützen 95

3.2 Bewertung und Ableitung vorbeugender Maßnahmen zur Verminderung von Beschädigungen an Betonelementen durch Demontage- und TUL-Prozesse.....95

3.3 Maßnahmen zur Instandsetzung der Betonelemente 98
3.3.1 Generelles..... 98
3.3.2 Einzelmaßnahmen zur Instandsetzung der Betonbauteile..... 102
3.3.3 Bauakustische Verbesserungen..... 105
3.3.4 Verbessernde Maßnahmen des Wärmeschutzes 107

3.4 Fazit - Aufarbeitungsmethoden 109

4 Transport, Umschlag, Lagerung gebrauchter Bauteile..... 109

4.1 Allgemeine Anforderungen und Hinweise.....109

4.2 Allgemeines zum Transport der Altbetonbauteile 112
4.2.1 Verkehrsträger Straße 112
4.2.2 Verkehrsträger Schiene..... 115
4.2.3 Verkehrsträger Wasser..... 116

5 Grundgedanken zur Ausführung der Bauteilremontage..... 118

5.1 Planung von Wohnhäusern unter Verwendung von Altbetonbauteilen - Prinzipielles 118

5.2 Baustelleneinrichtung, Arbeitskräfte- und Geräteeinsatz.....119

5.3 Abwicklung der TUL-Prozesse.....120

5.4 Remontagetechnologie 121
5.4.1 Vorschlag einer Remontagevorschrift für sekundäre Wandbauteile 123
5.4.2 Vorschlag einer Remontagevorschrift für sekundäre Deckenelemente 124

5.5 Fazit zur Remontage 124

6 Wiederverwendung in der Praxis 126

6.1 Wiederverwendung von gebrauchten Betonbauteilen im Wohnungsbau 126
6.1.1 Remontage eines Wohngebäudes – am Fallbeispiel „Haus Pieper“ 127
6.1.1.1 Vorbemerkung 127
6.1.1.2 Wiederverwendungseignung des Elementesortimentes 129
6.1.1.3 Bauablauf 130
6.1.1.4 Kostenschätzung 133
6.1.1.5 Fazit - Projekt 134
6.1.2 Entwurf eines Doppelhauses 135
6.1.3 Wiederneubauten in Brielow 137
6.1.4 Weitere Beispiele für Wohnbauten aus Altbetonbauteilen 139
6.1.5 Weitere Entwürfe zu Wiederneubauten im Wohnbereich 141
6.1.5.1 Einfamilienhaus / Generationenhaus 142
6.1.5.2 Shell-Haus-Konstruktionen 145
6.1.5.3 Doppelhaus 146
6.1.5.4 Reihenhaus 146

6.2 Einsatz sekundärer Bauteile im Gesellschafts- und Mehrzweckbau 147
6.2.1 Vereinshaus Sportverein 1911 Gröditz e.V. 147
6.2.1.5 Nennenswertes 147
6.2.1.6 Planung und Bauvorbereitung 148
6.2.2 Vereinshaus VFC Plauen e.V. 149
6.2.3 Vereinshaus Kolkwitzer Sportverein 1896 e.V. 151
6.2.4 Bürogebäude 153
6.2.5 Gästehaus mit Café 154
6.2.6 Pavillon 156
6.2.7 Bürgerhaus 158
6.2.8 Carports 158
6.2.9 Garagen 159
6.2.10 Swimmingpool 160

6.3 Einsatz sekundärer Betonelemente zur Freiraum- und Wohnumfeldgestaltung 162
6.3.1 Freizeitpark Gröditz 162
6.3.2 Freitanzfläche Sportverein Wacker 09 e.V. Ströbitz 165
6.3.3 Kletterfelsen und Boulderwände 166
6.3.4 Weitere Fallbeispiele 166

6.4 Einsatz sekundärer Bauteile im Landwirtschaftsbau und im Rahmen von Umweltschutzmaßnahmen 168
6.4.1 Einsatz bei Umweltschutzmaßnahmen 168
6.4.1.7 Einsatz im Deichbau 168
6.4.1.8 Regenwasserauffangbecken 170
6.4.2 Einsatz im Landwirtschaftsbau 170
6.5 Fazit - Praxisbeispiele 172
7 Ökonomische Bewertung 173
7.1 Kosten - Demontage 174
7.2 Kosten – Stoffliche Aufbreitung 178
7.3 Kosten – Bauzustandsuntersuchung der Elemente 178
7.4 Kosten –Aufarbeitung / Instandsetzung der Elemente 179
7.5 Kosten - Transport 181
7.6 Kosten – Remontage sekundärer Bauteile 185
7.7 Kosten, Preise –Bauteilneuherstellung, Montage und konventionelle Bauweisen 187
7.8 Kostenvergleich – Wiederneubau / konventioneller Neubau 189
7.9 Kostenvergleiche von Fallbeispielen 198
7.9.1 Einfamilienhaus / Generationenhaus 198
7.9.2 Vereinshaus Kolkwitz 201
7.9.3 Bürogebäude 202
7.10 Gesamtwirtschaftliche Betrachtung 206
8 Ökologische Relevanz 210
8.1 Allgemeine Aussagen 210
8.2 Materialbilanz der Bauelemente - Rohbaukonstruktion 214
8.3 Energetische Betrachtung 215
8.3.1 Primärenergie der sekundären Bauelemente 215
8.3.2 Aufarbeitung 216
8.3.3 Demontage / Abbruch 216
8.3.4 Stoffliche Aufbereitung - Materialrecycling 217
8.3.5 Transportaufwendungen 218
8.3.6 Zusammenfassung und Vergleich der Energieaufwendungen 219
8.4 Emissionsbetrachtung 223

8.4.1 Herstellung von Betonbauteilen ... 224
8.4.2 Demontage/ Abbruch ... 225
8.4.3 Stoffliche Aufbereitung ... 226
8.4.4 Transporte ... 227
8.4.5 Zusammenfassung ... 228

8.5 Fazit – Ökologische Relevanz ... 233

9 Fazit - Wiederverwendung ... 234

Abkürzungsverzeichnis ... 243

Abbildungsverzeichnis ... 245

Tabellenverzeichnis ... 251

Literaturverzeichnis ... 255

Gesetz-, Normen- und Richtlinienverzeichnis ... 261

1 Grundlegendes zur Wiederverwendung

1.1 Begriffserläuterungen

Der sorgfältige, krangeführte Rückbau von industriell errichteten Wohn- und Gesellschaftsbauten bietet neben der Anpassung der Gebäude an die städtebauliche Struktur sowie den Abbau von Wohnungsüberhängen die Chance, die dabei zurückgewonnenen Bauelemente höchstwertig, nämlich in ihrer originären Form und Gestalt, nachzunutzen. Diese Zielstellung ist das Hauptanliegen bzw. der Forschungsschwerpunkt des Projektes gewesen.

Folgende Begriffe sind in diesem Zusammenhang von Bedeutung:

Recycling

„Recycling ist das Rückführen von Produkten und Stoffen in einen dem natürlichen Prozess ähnelnden Kreislauf mit dem Ziel, Sekundärwerkstoffe, -materialien und -produkte erneut zu verwerten und/oder zu verwenden.“[1] Dieser Kreislauf ist in der Abb. 1 schematisch dargestellt (vgl. auch Abb. 2).

Remontage/Wiedermontage

Die Remontage entspricht dem wiederholten Vorgang einer Montage. Sie beinhaltet das erneute Zusammenfügen von gebrauchten, wiederverwendungsfähigen Bauelementen mit oder ohne Aufarbeitung[2] zu Bauwerksteilen, Bauwerken und baulichen Anlagen. Eine Kombination mit neuen Bauelementen und/oder monolithischen Konstruktionen sowie anderen Werkstoffen ist möglich.[3]

Wiederverwendung (Produktrecycling; Up-Cycling)

„…ist der wiederholte Gebrauch eines Produktes für den gleichen oder ähnlichen Verwendungszweck, für den es ursprünglich hergestellt wurde. So handelt es sich um eine Wiederverwendung, wenn Bauelemente durch Demontage/ krangeführten Rückbau zurückgewonnen werden, um sie entweder in der bestehenden oder in veränderter Form/Geometrie wiederholt einzusetzen.“[4]

Weiterverwendung (Produktrecycling)

„...ist die Verwendung von gebrauchten Bauteilen für einen anderen (sekundären) Verwendungszweck, z.B. Wände aus Wohnbauten zur Herstellung einer Lärmschutzwand, zur Böschungssicherung, im Wegebau, als verlorene Schalung usw.“[5] (vgl. Abb. 3)

Wiederverwertung (Material- bzw. Stoffrecycling)

„… ist der erneute Einsatz von Bauabfällen in einem gleichartigen Produktionsprozess.“[6] Dazu gehört z.B. die Aufbereitung von Bauschutt in RC-Anlagen zu RC-Material.

Weiterverwertung (Materialrecycling)

„… ist der Einsatz von gebrauchten Materialien in einem von diesem noch nicht durchlaufenen Produktionsprozess. Zur Weiterverwertung zählen Maßnahmen im Erd-, Tief- und Verkehrsbau, wenn Aushubmassen wieder als Verfüllstoffe eingesetzt werden.“[7]

---

[1] Mettke, A. (Hrsg.): Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendungen, S. 2.
[2] Aufarbeitungen an Stahlbetonfertigteilen werden unterteilt in Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen.
[3] Mettke, A./Thomas, C.: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, 1999, S. 11 ff.
[4] Ebenda, S. 11 ff.
[5] Mettke, A. (Hrsg.): Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendungen, S. 6.
[6] Mettke, A./Thomas, C.: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, 1999, S. 11 ff.
[7] ebenda.

1.2 Rechtliche Aspekte der Wiederverwendung

Um der Thematik der „Rechtlichen Aspekte für die Wiederverwendung“ gerecht zu werden, ist es erforderlich in den diesbezüglich geltenden Gesetzen/ Verordnungen auch den Faktor Demontage/ Rückbau zu berücksichtigen. In Deutschland ist neben dem KrW-/AbfG[8] für den Rückbau von Gebäuden für die Wiederverwendung von Altbetonelementen das ganze Spektrum des Umweltrechts, des Baurechts und des Strafgesetzbuches relevant. Zum Umweltrecht gehören insbesondere das Bodenschutzgesetz, das Naturschutzgesetz, das Wasserhaushaltsgesetz und daneben das Investitionserleichterungsgesetz. Im Baurecht kommen das Baugesetzbuch (BauGB), die Landesbauordnungen (z.B. für Brandenburg: Brandenburgische Bauordnung [BbgBO], für Sachsen: Sächsische Bauordnung [SächsBO]) sowie das Bauproduktengesetz zum Tragen.

Dass es sich bei den zur Wiederverwendung vorgesehenen Altbetonelementen nicht um Abfälle im Sinne des KrW-/AbfG handelt, ist dem Gutachten „Rechtliche Betrachtung von Rückbauprojekten sowie zum Transport, Neueinsatz und Export von gebrauchten Betonfertigteilen“, Teil 1-2[9] und dem Aufsatz „Rechtliche Aspekte der Wiederverwendung“[10] entnehmbar. Ein kurzer Abriss zur Thematik wird in diesem Abschnitt gegeben.

1.2.1 Bedeutung des KrW-/AbfG

Mit Inkrafttreten des Kreislaufwirtschaft- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) 1996 wurden neue rechtliche Rahmenbedingungen zur Schließung von Stoffkreisläufen erlassen[11]. Demnach sind Stoffe und Produkte auf Basis eines konsequenten Stoffmanagements möglichst lange in möglichst kleinen Kreisläufen zu führen, um die eingesetzten Material- und Energieressourcen weitestgehend auszuschöpfen.

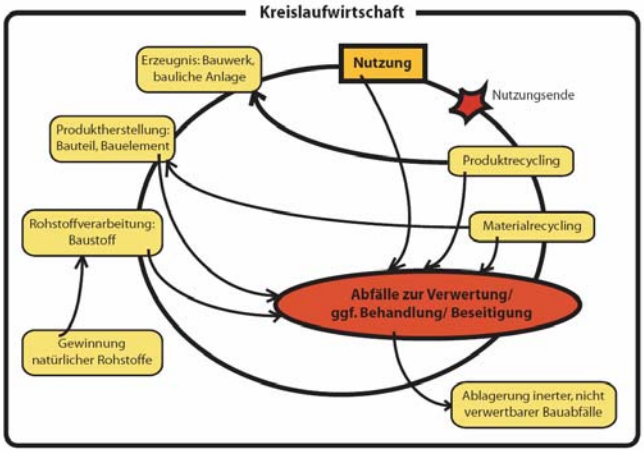


Abb. 1 : Darstellung der angestrebten Kreislaufführung in der Baubranche[12]

[8] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen vom 27.09.1994 (BGBl. I S. 1460, 1468; zuletzt geändert Juli 2007.
[9] Leitzke, C.: Rechtliche Betrachtung von Rückbauprojekten, Gutachten, i.A. der FG Bauliches Recycling, Potsdam, 2001.
[10] Ehlers, B: Rechtliche Aspekte der Wiederverwendung, Hammermann & Ehlers, Cottbus, März 2006.
[11] Das KrW-/AbfG wird durch eine ganze Reihe von Rechtsverordnungen wie z.B. Abfallverzeichnisverordnung ergänzt.
[12] Mettke, A./Thomas, C.: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, 1999, S. 14, überarbeitet.

Die Grundsätze und Grundpflichten der Kreislaufwirtschaft sind in den §§ 4, 5 festgeschrieben. Demzufolge sind „Abfälle…

1. In erster Linie zu vermeiden, insbesondere durch die Verminderung ihrer Menge und Schädlichkeit,
2. in zweiter Linie
    a. stofflich zu verwerten oder
    b. zur Gewinnung von Energie zu nutzen (energetische Verwertung)“[13].

Eine Wieder- oder Weiterverwendung rückgebauter Bauteile führt in jeden Fall zu einer Vermeidung bzw. Verminderung von Abfällen.

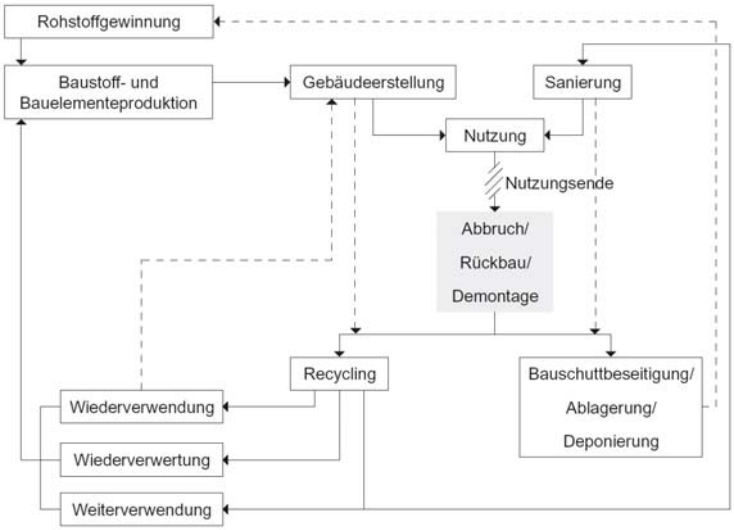


Abb. 2 : Lebenszyklus eines Baustoffes/Bauelementes[14]

Der Rückbau von industriell errichteter Gebäudesubstanz stellt – wie in Teil 1 mehrfach dokumentiert - eine Alternative zum Abbruch im klassischen Sinne dar.

Entsprechend dem KrW-/AbfG sind Betonfertigteile zumindest dann kein Abfall, wenn sie als Bauteile wieder verwendet werden. Dies setzt allerdings voraus, dass für diese Bauteile ein Markt vorhanden ist oder geschaffen werden kann. Außerdem müssen sie eine gewisse Qualität, nämlich die üblicher Bauteile, aufweisen. Dass dies der Fall ist, wird in Abschn. 2 belegt. Insofern handelt es sich bei den durch Rückbau anfallenden Betonfertigteilen nicht um Abfälle sondern um Produkte und damit Wirtschaftsgut. [15] Abfall ist nur, was im Anhang I (zum KrW-/AbfG) aufgeführt ist und von dem sich der Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss.[16]

Das KrW-/AbfG regelt demnach im Weiteren die Pflichten/Überwachungen/Transporte für diejenigen Baumassen, die entsorgt resp. verwertet werden.[17]

[13] KrW-/AbfG § 4 Abs. 1.
[14] Mettke, A. (Hrsg.): Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendungen, S. 2.
[15] Leitzke, C.: Rechtliche Betrachtung von Rückbauprojekten, Gutachten, i.A. der FG Bauliches Recycling, Potsdam, 2001.
[16] § 3 Abs. 1 KrW/AbfG.
[17] näheres s. Mettke, A. (Hrsg.): Rahmentechnologie – Rückbau-/ Demontagevorhaben Plattenbauten – am Beispiel der Typenserie P2, Cottbus, 2004, S. 20 ff.

1.2.2 Bauordnungen der Länder

Da die Verwendung der Bauteile vor allem den Anforderungen zur Bausicherheit genügen muss, sind in erster Linie die Bauordnungen der Länder maßgeblich. Diese enthalten hinsichtlich der Verwendung von Bauprodukten weitgehend übereinstimmende Regelungen.[18] Stellvertretend sei an dieser Stelle auf § 14 BbgBO[19] eingegangen. Danach gilt:

„(1) Bauprodukte dürfen für die Errichtung, Änderung, Instandsetzung und Instandhaltung baulicher Anlagen nur verwendet werden, wenn sie für den Verwendungszweck

1. von den nach Absatz 2 bekannt gemachten technischen Regeln nicht oder nicht wesentlich abweichen (geregelte Bauprodukte) oder nach Absatz 3 zulässig sind und wenn sie aufgrund des Übereinstimmungsnachweises nach § 19 das Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) tragen oder

2. nach den Vorschriften

   a) des Bauproduktengesetzes,

   b) zur Umsetzung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte (Bauproduktenrichtlinie) vom 21. Dezember 1988 (ABl. EG Nr. L 40 S. 12) durch andere Mitgliedstaaten der Europäischen Union und andere Vertragsstaaten des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum oder

   c) zur Umsetzung sonstiger Richtlinien der Europäischen Gemeinschaften, soweit diese die wesentlichen Anforderungen nach § 5 Abs. 1 des Bauproduktengesetzes berücksichtigen

in den Verkehr gebracht und gehandelt werden dürfen, insbesondere das Zeichen der Europäischen Union (CE-Zeichen) tragen und dieses Zeichen die nach Absatz 7 Nr. 1 festgelegten Klassen- und Leistungsstufen ausweist. Sonstige Bauprodukte, die von allgemein anerkannten Regeln der Technik nicht abweichen, dürfen auch verwendet werden, wenn diese Regeln nicht nach Absatz 2 bekannt gemacht sind. Sonstige Bauprodukte, die von allgemein anerkannten Regeln der Technik abweichen, bedürfen keines Nachweises ihrer Verwendbarkeit nach Absatz 3; § 60 Abs. 1 bleibt unberührt.

(2) Das Deutsche Institut für Bautechnik macht im Einvernehmen mit der obersten Bauaufsichtsbehörde für Bauprodukte, für die nicht nur die Vorschriften nach Absatz 1 Satz 1 Nr. 2 maßgebend sind, in der Bauregelliste[20] A die technischen Regeln bekannt, die zur Erfüllung der in diesem Gesetz und in Vorschriften aufgrund dieses. Gesetzes an bauliche Anlagen gestellten Anforderungen erforderlich sind.

(3) Bauprodukte, für die technische Regeln in der Bauregelliste A nach Absatz 2 bekannt gemacht worden sind und die von diesen wesentlich abweichen oder für die es Technische Baubestimmungen nach § 3 Abs. 3 oder allgemein anerkannte Regeln der Technik nicht gibt (nicht geregelte Bauprodukte), bedürfen

- einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (§ 15),
- eines allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses (§ 16) oder

[18] vgl.: Deutsches Institut für Bautechnik, Bauregelliste, S. 2; Schlotter; Schroeder-Printzen; Koppitz: BbgBO, vor § 14, Rdn .2.
[19] BbgBO vom 16. Juli 2003, zuletzt geändert 28.06.2006.
[20] www.fm.rlp.de/Bauen/Baurecht_und_Bautechnik/ aufgerufen am 27.12.2007; www.dibt.de/70htm aufgerufen am 27.12.2007.

- einer Zustimmung im Einzelfall (§ 17).

Ausgenommen sind Bauprodukte, die für die Erfüllung der Anforderungen dieses Gesetzes oder aufgrund dieses Gesetzes nur eine untergeordnete Bedeutung haben und die das Deutsche Institut für Bautechnik im Einvernehmen mit der obersten Bauaufsichtsbehörde in einer Bauregelliste C öffentlich bekannt gemacht hat. ….."[21]

Damit lassen sich die Bauprodukte wie folgt unterteilen:[22]

a) geregelte Bauprodukte (Bauregelliste A Teil 1)

Es handelt sich hierbei um solche Bauprodukte, für die es allgemein anerkannte Regeln der Technik gibt, die in der Bauregelliste bekannt gemacht worden sind und die von diesen nicht wesentlich abweichen.

b) nicht geregelte Bauprodukte (Bauregelliste A Teil 2)

Diese Bauprodukte weichen wesentlich von den in der Bauregelliste A, Teil 1 bekannt gemachten technischen Regeln ab. Hinsichtlich der geregelten Bauprodukte ist zu differenzieren, ob und inwieweit hierfür ein Verwendbarkeitsnachweis erforderlich ist.

c) nicht geregelte Bauarten (Bauregelliste A Teil 3)

d) Verkehrsfähige und frei handelbare Bauprodukte (Bauregelliste B, Teil 1 und 2)

Es handelt sich hierbei um Bauprodukte, die nach Vorschriften der EU-Mitgliedsstaaten und der Vertragsstaaten des Abkommens über den europäischen Wirtschaftsraum in Verkehr gebracht und gehandelt werden dürfen. Dies wird durch das CE-Zeichen nachgewiesen.

e) Sonstige Bauprodukte (Bauregelliste C)

Enthält Bauprodukte, für die es weder Technische Bestimmungen noch allgemein anerkannte Regeln der Technik gibt und die für die Erfüllung bauordnungsrechtlicher Anforderungen nur untergeordnet von Bedeutung sind.

Im Hinblick auf die Wiederverwendung gebrauchter Betonteile gilt Folgendes:[23]

1. Nicht von vornherein wird ausgeschlossen, dass rückgebaute Betonfertigteile auch als geregelte Bauprodukte (nach § 20 Abs. 1 Nr. 1 BgbBO) zugelassen werden können. Das betrifft v.a. Deckenplatten und ehemals tragende Innenwände, da sie sich der Ziffer 1.6.1 der Bauregelliste grundsätzlich zuordnen lassen. Das erforderliche Übereinstimmungszertifikat setzt jedoch die Übereinstimmung mit den maßgebenden technischen regeln, eine Eigenkontrolle sowie Fremdüberwachung voraus.

    - Die Übereinstimmung mit den maßgebenden technischen Regeln ist für Deckenplatten mehrerer Gebäudetypen (vgl. Abschn. 2.3.3) auf der Basis aktueller DIN-Vorschriften geprüft worden. Inwieweit die ermittelten Ergebnisse ausreichend repräs-

[21] § 14 BbgBO.
[22] vgl. Leitzke, C.: Rechtliche Betrachtung von Rückbauprojekten, Gutachten, i.A. der FG Bauliches Recycling, Potsdam, 2001.
[23] angelehnt an: abenda, 2001.

sentativ sind und ob sie ohne weiteres auf das sämtliche Deckensortiment übertragbar sind, bleibt noch zu klären.

- Hinsichtlich der Fremdüberwachung ist die hierfür notwendige Fachkenntnis nachzuweisen. Geklärt ist noch nicht, ob die Zertifizierungs- und Überwachungsstellen nach § 28 BgbBO und den anderen vergleichbaren Vorschriften der Länder diese aufweisen. Insoweit ist zunächst davon auszugehen, dass Überwachungsstellen weiterer Ausbildung bedürfen.
- Die Eigenkontrolle oder sog. werkseigene Produktionskontrolle setzt bereits besondere Maßnahmen auf der Rückbau-Baustelle voraus (vgl. eigene Vorarbeiten: Entscheidungsstufen zur Wiederverwendung, Abschn. 2), die bisher nicht verbindlich geregelt sind. Insoweit empfiehlt sich eine Ergänzung der Anlage 0.3 der Bauregelliste A, um eine Produktionskontrolle für rückgebaute Bauteile auf der Baustelle zu standardisieren.

2. Hinsichtlich der anderen hauptsächlich anfallenden Betonfertigteile beim Rückbau (v.a. Außenwände, Dachkassettenplatten) können noch keine abschließenden Aussagen gemacht werden. Hier sind weitergehende Forschungen erforderlich.
3. Ansonsten kommt für die übrigen Betonfertigteile der Nachweis der Verwendbarkeit im Einzelfall (nach § 23 BgbBO) in Betracht.
4. Teilweise entfällt eine Nachweispflicht, wenn sich die gebrauchten Betonelemente bei entsprechender Zwecksetzung im Sinne der Ziffer 4.1 der Bauregelliste C einordnen lassen.

Die Überprüfung, ob die gebrauchten Betonelemente den technischen Regeln der Bauregelliste entsprechen, ist also eine technische Frage. Deshalb wäre es wichtig, alle diesbezüglich durchgeführten Untersuchungen (eigene Untersuchungsergebnisse, Untersuchungsergebnisse des IEMB, des Iff-Weimar etc.) zusammenzufassen, um zu prüfen, ob es möglich ist, auf gleichartig produzierte Altbetonfertigteile und deren Tragverhalten/ Sicherheit zu schließen. Selbst die hier durchaus denkbare Übereinstimmung mit den in der Bauregelliste A genannten Vorschriften müsste nochmals im Wege eines Übereinstimmungsnachweises nachgewiesen werden.

1.2.3 Bauproduktengesetz

Die Vorschriften dieses Gesetzes regeln das Inverkehrbringen von Bauprodukten und den freien Warenverkehr mit Bauprodukten von und in die Mitgliedstaaten der Europäischen Union. Öffentlichrechtliche Vorschriften, die Anforderungen an die Verwendung von Bauprodukten stellen, bleiben unberührt.

Entsprechend § 2 BauPG gilt:

Bauprodukte sind

1. Baustoffe, Bauteile und. Anlagen, die hergestellt werden, um dauerhaft in bauliche Anlagen eingebaut zu werden,
2. aus Baustoffen und Bauteilen vorgefertigte bauliche Anlagen, die hergestellt werden, um mit dem Erdboden verbunden zu werden, wie Fertighäuser, Fertiggaragen und Silos.

§ 3 Anwendungsbereich: Die Vorschriften dieses Gesetzes gelten für Bauprodukte, für die

1. die Kommission der Europäischen Gemeinschaften die Fundstellen der harmonisierten oder anerkannten Normen im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften veröffentlicht hat,
2. Leitlinien für die europäische technische Zulassung erarbeitet sind,
3. europäische technische Zulassungen, ohne dass Leitlinien erarbeitet sind, nach § 5 Abs. 4 Satz 2 in Verbindung mit § 6 Abs. 4 Satz 2 erteilt werden können,
4. die wesentlichen Anforderungen nach § 5 Abs. 1 nur eine untergeordnete Bedeutung haben und die die Kommission der Europäischen Gemeinschaften in einer Liste erfasst hat.

Seitens der BbgBO wird ein Bauprodukt als solches anerkannt, wenn es den Anforderungen des Bauproduktengesetzes entspricht. Allerdings ist der Aufwand für die Zertifizierung, den Nachweis der Brauchbarkeit und der Konformität für Altbetonelemente sehr hoch, es sei denn, die gebrauchten Deckenelemente, Innen- und Außenwände würden in der Bauregelliste bekannt gemacht. Eine Erleichterung im Hinblick auf ein vereinfachtes Zertifikat ist mit dem Bauproduktegesetz nicht gegeben.

1.2.4 Transportrechtliche Bestimmungen

Für den Transport der Altbetonelemente gelten in erster Linie die Vorschriften der Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) in der Fassung des Inkrafttretens vom 01.08.2006 (vgl. BGBl.I S. 569). Ihre letzte Änderung erfolgte durch die Sechzehnte Verordnung zur Änderung der Straßenverkehrs-Ordnung vom 11. Mai 2006 (Bundesgesetzblatt Jahrgang 2006 Teil I Nr. 23 S. 1160, ausgegeben am 15. Mai 2006). In ihr sind alle relevanten Bestimmungen bzgl. des Straßenverkehrs geregelt, so auch Abmaße von LkWs, deren Auslastung, max. Zulast etc. Diese Thematik wird im Kapitel 7.1.2 Verkehrsträger und Transportmittel/Einzelvarianten ausführlicher betrachtet.

Fernerhin gilt das Güterkraftverkehrsgesetz (GüKG) vom 22 Juni 1998. Danach ist der Transport gewerblicher Güter für Fachfirmen (entspr. Speditionen) erlaubnispflichtig. Die Landesregierung oder die von ihr ermächtigte Stelle bestimmt die Behörde, die für die Erteilung von Gemeinschaftslizenzen nach der Verordnung (EWG) Nr. 881/92 des Rates vom 26. März 1992 über den Zugang zum Güterkraftverkehrsmarkt in der Gemeinschaft für Beförderungen aus oder nach einem Mitgliedstaat oder durch einen oder mehrere Mitgliedstaaten (ABl. EG Nr. L 95 S. 1) zuständig ist (Lizenzbehörde). Örtlich zuständig ist die Lizenzbehörde, in deren Zuständigkeitsbereich das Unternehmen des Antragstellers seinen Sitz hat.

1.2.5 Europäische Richtlinien

Die Einteilung in Abfall gemäß dem KrW-/AbfG entspricht dem Abfallrecht der Europäischen Gemeinschaft und dem Recht der internationalen Abfallverbringung. Der Abfallbegriff des § 3 KrW-/AbfG wurde an das Recht der Europäischen Gemeinschaft angepasst. Folglich können die rückgebauten Betonfertigteile auch nach europäischem Abfallrecht nicht als Abfälle angesehen werden[24], sofern sie als Bauteile einsetzbar sind. Nicht zuletzt entscheidet deren Qualität darüber.

In einem Strategiepapier zur Weiterentwicklung der nachhaltigen Ressourcennutzung empfiehlt die EU-Kommission im Dezember 2005 dem Europäischen Rat:

„...Um die genannten Ziele zu erreichen und damit ein hohes Umweltschutzniveau zu gewährleisten, wird die Modernisierung des bestehenden rechtlichen Rahmens vorgeschlagen, d.h. die Einführung von Lebenszyklusanalysen in den politischen Prozess sowie die Klarstellung, Vereinfachung und Straffung des EU-Abfallrechts. Dies wird zur Lösung der derzeitigen Probleme bei der Umsetzung beitragen und die EU in entscheidender Weise auf die Entwicklung zur ökonomisch und ökologisch effizienten Recyclinggesellschaft ausrichten. Das derzeitige Niveau des ökologischen Selbstanspruchs wird gewahrt und gesteigert, gleichzeitig werden die Grundlagen für nachhaltiges Wachstum geschaffen.

Dazu ist eine Kombination von Maßnahmen notwendig, wodurch Abfallvermeidung, -recycling und Wiederverwendung so gefördert werden, dass die kumulierten Auswirkungen über den gesamten Lebenszyklus von Ressourcen in optimaler Weise verringert werden...“

Hier wird deutlich, dass der gesamte Prozess des Umgangs mit RC-Baustoffen einer permanenten Entwicklung unterworfen ist.

Es kann von den Grundtatbeständen ausgegangen werden:

- EU-Recht vor nationalem Recht;
- Förderung des Recycling.

1.2.6 Fazit - Rechtliche Voraussetzungen für die Wiederverwendung

Es gibt gegenwärtig keine allgemein anerkannten Regeln der Technik für den Einsatz von Gebraucht- bzw. RC-Betonelementen.

Deshalb bedürfen sie

- einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung,
- eines allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses oder
- einer Zustimmung im Einzelfall.

Der Genehmigungsaufwand für eine Wiederverwendung in Deutschland ist unter Umständen außerordentlich zeitintensiv. Einige Bauherren hat dies dazu veranlasst, von ihrem geplanten Vorhaben wieder Abstand zu nehmen. Deshalb ist es dringend erforderlich, die vorhandenen Untersuchungser-

[24] Leitzke, C.: Rechtliche Betrachtung von Rückbauprojekten, Gutachten, i.A. der FG Bauliches Recycling, Potsdam, 2001.

gebnisse zu bündeln, um gemeinsam mit den verantwortlichen Akteuren eine Prüfnorm zu erarbeiten. Diese DIN sollte die Festlegung von Prüfkriterien, -umfang und einer Prüfsystematik beinhalten, die für die Beurteilung gebrauchter Betonelemente unter Berücksichtigung der Anforderungen in der Sekundärnutzung heranzuziehen sind. Im Ergebnis soll also eine Prüfnorm vorliegen, die ein einheitliches Vorgehen bei der Begutachtung demontierter Betonfertigteile vorgibt. Des Weiteren soll so eine Zertifizierung der Elemente für den sekundären Einsatz ermöglicht werden (Übereinstimmungs-, Verwendungsnachweis) (vgl. Abschn. 1.2.2). Somit wird der Grundstein für den Qualitätsnachweis gelegt, der zum Durchbruch des Produktrecyclings auf dem Bausektor beitragen wird.
Ein Vorstoß in diese Richtung hat es bereits 2001 seitens des Sächsischen Staatsministeriums des Innern gegeben, in dem die „Richtlinie für den Bauteilkreislauf von Fertigteilen aus Beton, Stahl- und Spannbeton“ als Technische Baubestimmung bauaufsichtlich eingeführt werden sollte. Der Entwurf ist jedoch nicht über die Notifikation hinausgekommen. Eigene Aktivitäten konnten im Rahmen dieser Forschungsarbeit nicht zum Abschluss gebracht werden. Insofern sind hier weitere Forschungen unabdingbar.

1.3 Nachnutzungsmöglichkeiten gebrauchter Betonbauteile[25]

Rückgebaute Betonelemente können entweder als Bauteil[26] in Gänze ggf. aufgearbeitet oder in RC-Anlagen aufbereitet als Sekundärrohstoff[27] resp. Recyclat nachgenutzt werden. Beide Kreislaufvarianten entsprechen dem übergeordneten Ziel der Nachhaltigkeitspolitik, natürliche Ressourcen zu schonen.

Dem Produktrecycling kommt dabei jedoch eine herausragende Bedeutung zu, weil Wertschöpfung erhalten bleibt und somit die eingesetzten Stoffe (Materialien und Energie) weitgehend oder vollständig ausnutzbar sind. Weitere Energieeinsparungen ergeben sich aus der Substitution für neu herzustellende Betonbauteile.[28] Außerdem trägt das Bauteilrecycling dem Vermeidungsgedanken von Bauabfällen gemäß §4 (1) Satz 1 KrW-/AbfG Rechnung (höchste Priorität). D.h. der Entstehung von Bauabfall wird vorgebeugt (vgl. Abschn. 1.2.1) und Energie- sowie Stoffflüsse werden reduziert.

Rückgebaute Betonelemente sind in vielfältigen Bereichen einsetzbar wie bspw.

- im Hausbau[29] (Einfamilien-, Doppel-, Reihen-, Ketten-, Mehrfamilien-, Ferienhäuser),
- im Mehrzweckbau (Pavillons, Garagen, Bunker),
- zur Landschafts- und Parkgestaltung sowie im Wohnumfeld (Treppen, Begrenzungselemente, gestalterische Elemente),
- für Maßnahmen im Umweltschutz (Lärmschutzwände, Deichbau),
- im Landwirtschaftsbau (Silos, Platzbefestigung) etc. (vgl. Abb. 3).

---

[25] Mettke, A.: Nachnutzungsmöglichkeiten gebrauchter Betonbauteile in Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt, BTU Cottbus, 2005, S 127 ff..
[26] entspricht einem Produktrecycling durch Wieder- und Weiterverwendung.
[27] entspricht einem Materialrecycling durch Wieder- und Weiterverwertung.
[28] vgl. Mettke, Angelika; Thomas, Cynthia: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, in Handbuch Umweltwissenschaften, 2002, S.91 ff..
[29] Neben der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus wirken maßgeblich an dieser Entwicklung das iff Weimar e.V., das IEMB e.V. an der TU Berlin sowie Architekturbüros mit. Zu nennen sind u.a.: Architekturbüro Prof. Wolf Rüdiger Eisentraut, Berlin; PGM Planungsgruppe Mitte GmbH, Dipl.-Arch. Norbert Sprinz, Gotha; wbk 21 Berlin, Dipl.-Arch. David Seidl.

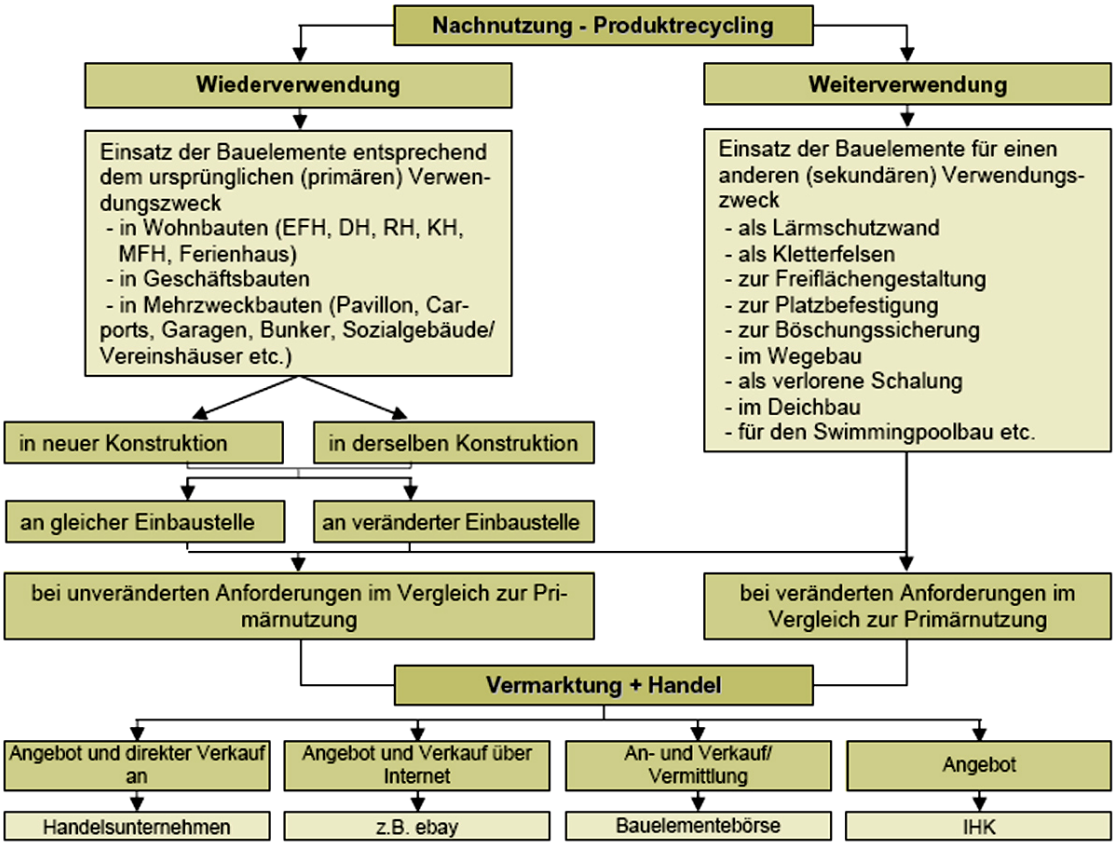


Abb. 3 : Denkbare Einsatzbereiche zur Nachnutzung gebrauchter Betonelemente mit der Möglichkeit der Vermarktung [METTKE]

2 Wiederverwendungseignung / Qualitätsmerkmale rückgebauter Betonelemente

2.1 Entscheidungsfindung zur Wiederverwendungseignung

Bei der Bewertung zur Wiederverwendungseignung (Produktrecycling) handelt es sich um einen mehrstufigen Entscheidungsprozess, der eine bestimmte Reihenfolge in seiner Abarbeitung erfordert (s. Abb. 4)[30].

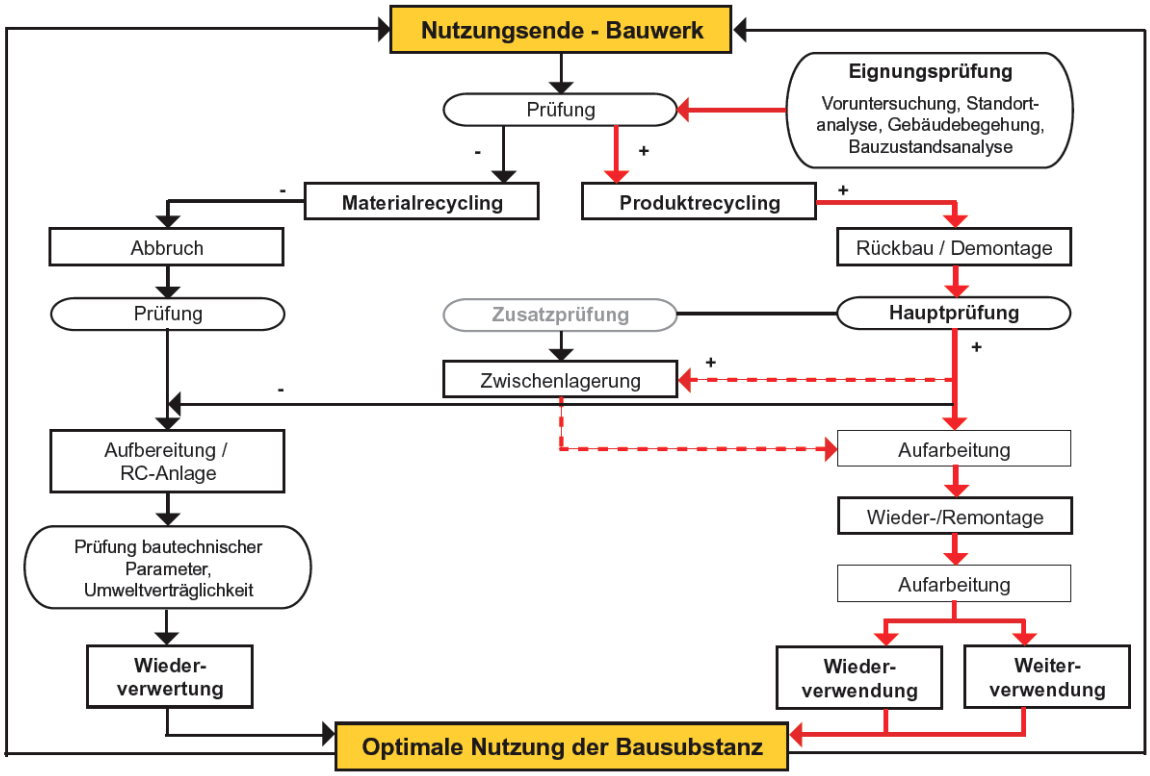


Abb. 4 : Möglichkeiten zur optimalen Nachnutzung von Gebäuden und baulichen Anlagen

Die Bewertung der Wiederverwendungseignung von Betonelementen ist durch eine grundsätzliche Vorgehensweise gekennzeichnet, um die Entscheidungsfindung hinsichtlich der qualitativen Eigenschaften, statischen sowie technologischen Kriterien des Wiedereinsatzes der untersuchten Bauteile eindeutig abzusichern. Diese grundsätzliche Vorgehensweise beruht auf einem mehrstufigen Problemlösungsprozess. Dieser erfordert eine bestimmte Reihenfolge in seiner Abarbeitung: [31]

1. Nullstufe als vorgeschaltete Stufe - **Voruntersuchung**

Die Beurteilungskomplexe Zugänglichkeit und Demontierbarkeit stehen hier im Mittelpunkt der Betrachtungen. Im Rahmen einer Objekt- und Funktionsanalyse sind, unter Einbeziehung aller verfügba-

[30] Mettke, A.: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, 1995, S. 153 ff.
[31] ebenda, S. 154 ff.

ren Projektierungsunterlagen, Fakten zur Historie sowie typische Konstruktionsmerkmale des betreffenden Gebäudes zu bewerten. Zusätzlich sollen die vorhandenen örtlichen Verhältnisse durch eine Objektbegehung überprüft werden, um eventuelle Abweichungen von den theoretischen Voruntersuchungen festzustellen und entsprechend zu dokumentieren.

Entscheidungsstufe 1 - **Eignungsprüfung**

Hierbei sollen vor der eigentlichen Demontage die betreffenden Betonfertigteile hinsichtlich ihrer Wiederverwendungseignung bewertet werden. Aufbauend auf den Ergebnissen einer visuellen Begutachtung wird empfohlen, Prüfkriterien festzulegen (vgl. Abschn. 1.2.6), mit deren Hilfe die Gebrauchseigenschaften formuliert und eine etwaige sekundäre Nutzungsdauer prognostiziert werden können. Zudem ist möglichst auch die Beschaffenheit der Anschlagpunkte zu dokumentieren. Der Zustand der ursprünglichen Tragösen sowie evtl. erforderlich werdende alternative Anschlagvarianten sind nicht nur für den Demontageprozess maßgebend, sondern betreffen gleichzeitig den Remontage- resp. Wiedermontageprozess.

Entscheidungsstufe 2 - **Hauptprüfung**

Diese Entscheidungsstufe trägt den Einflüssen der Demontage Rechnung. Zurückgewonnene Platten sind iterativ auf eventuelle Kanten-, Verbindungsmittel-, Tragösenbeschädigungen, Deformierungen und Rissbildungen zu kontrollieren. Es hängt vom jeweiligen Schadensbild der demontierten Elemente ab, ob ggf. Prüfkriterien der Entscheidungsstufe 1 (vgl. u.a. Abschn. 2.3.3) entweder wiederholt oder erweiternd abgearbeitet werden müssen.

Entscheidungsstufe 3: **Zusatzprüfung**

Eine Zusatzprüfung wird notwendig, wenn wiederverwendungsfähige Betonfertigteile unsachgemäß gelagert oder die Dauer der Zwischenlagerung so lange war, dass Verschleißerscheinungen aufgetreten sind. Im Sinne einer ordnungsgemäßen Remontagevorbereitung sind dann an den betreffenden Elementen weitere Analysen des physischen Zustandes der Fertigteile zur Bewertung der Belastbarkeit und Benutzbarkeit notwendig.
Eine zusammenfassende Übersicht der Entscheidungsstufen zur Wiederverwendungseignung von sekundären Betonbauteilen gibt Tab. 1.

Tab. 1: Entscheidungsstufen[32]

UNTERSUCHUNGEN	im eingebauten Zustand; vor der Demontage:	1. *Nullstufe (als vorgeschaltete Stufe)*: Voruntersuchung Feststellen der Demontierbarkeit des Gebäudes (Zugänglichkeit, Konstruktionstyp etc.)
		2. *Entscheidungsstufe I*: Eignungsprüfung Beurteilung des Bauzustandes der Betonelemente (visuelle und bauteildiagnostische Analyse); vorläufige Bewertung der Wiederverwendungsfähigkeit; entsprechende Kennzeichnung der Betonelemente wird empfohlen
	im ausgebauten Zustand; nach der Demontage:	3. *Entscheidungsstufe II*: Hauptprüfung Erfassung evtl. Beschädigungen und/oder Schäden infolge des Demontageprozesses (Risse, Kantenabbrüche, Verbindungsmittel, Tragösen etc.); vorläufige Bewertung der Wiederverwendungsfähigkeit, wenn Transport der Bauelemente zur Remontagebaustelle erforderlich wird, ansonsten endgültige Bewertung der Wiederverwendungsfähigkeit, wenn De- gleich Remontagebaustelle ist (Idealfall); endgültige Bewertung jeweils unmittelbar vor der Remontage
		4. *Entscheidungsstufe III*: Zusatzprüfung Erfassung evtl. Schäden und/oder Beschädigungen infolge weiterer TUL-Prozesse und/oder längerer Zwischenlagerung der Betonbauteile vor der sekundären Verwendung; endgültige Bewertung der Wiederverwendungsfähigkeit

Nur wenn die ersten drei beschriebenen Entscheidungsstufen mit einem positiven Ergebnis abschließen, ist einer Wiederverwendung der untersuchten Bauteile aus technisch-technologischer Sicht zuzustimmen.

Folglich lassen sich vier Grundbedingungen (GB) der Wiederverwendungseignung formulieren:

1. GB	Gewährleistung der Zugänglichkeit und der Demontierbarkeit,
2. GB	Nachweis ausreichender Restgebrauchseigenschaften und Prognose der Restnutzungsdauer,
3.GB	Gewährleistung der Standsicherheit während des Demontagevorganges und danach,
4.GB	Sicherung der Remontierbarkeit.

Abb. 5 : Grundbedingungen der Wiederverwendungseignung[33]

In Abb. 6 werden Bewertungs- und Prüfkriterien zu allgemeinen bauwerksdiagnostischen Untersuchungen aufgezeigt, über welche die Gebrauchseigenschaften von Stahlbetonelementen definiert werden können.

[32] Mettke, A.: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, 1995, S. 154 ff.
[33] ebenda, S. 161.

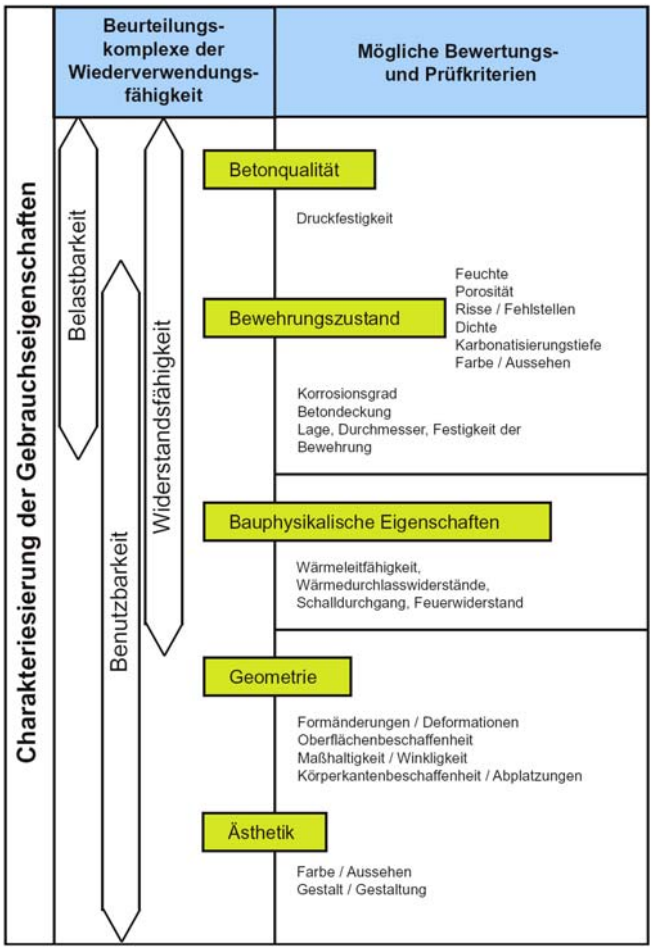


Abb. 6 : Untersuchungsprogramm Bauzustand Betonelemente [34]

Die Dauerhaftigkeit von gebrauchten Bauteilen aus Stahlbeton ist für die Beurteilung der Wiederverwendungseignung von entscheidender Bedeutung, da diese die Zeit des weiteren Einsatzes der Elemente bestimmt. Dauerhaftigkeit von Beton bedeutet, ein befriedigendes uneingeschränkt funktionsfähiges Verhalten eines Bauwerkes hinsichtlich der Tragfähigkeit, der Gebrauchsfähigkeit und seiner Ästhetik während der angestrebten Nutzungsdauer.

Im Rahmen eigener Forschungsvorhaben[35] sind eine Vielzahl von Untersuchungen zur Tragfähig- und Dauerhaftigkeit der Betonfertigteile durchgeführt worden (vgl. Abschn. 2.3.1 ff.). Dazu zählen[36]:

- Bestimmung der Betonqualität und des Bewehrungszustandes anhand der Prüfkriterien Druckfestigkeit, Porosität, Risse/Fehlstellen, Karbonatisierungstiefe, Betondeckung, Lage/Durchmesser/ Anzahl Bewehrung, Stahlspannung,
- Bewertung der bauphysikalischen Parameter anhand der Überprüfungen zum Wärmedurchlasswiderstand, Luft- und Trittschallschutz sowie Feuerwiderstand,
- Feststellung der Geometrie anhand der Maßhaltigkeit/Winkligkeit der Betonfertigteile zumeist im ausgebauten Zustand,
- Beurteilung der Ästhetik nach Augenschein (äußere Beschaffenheit, Farbe).

[34] Mettke, A.: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, 1995, S. 117.
[35] v.a. im Rahmen des vom BMBF geförderten Forschungsprojektes „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“ (Laufzeit: 01.04.2000 – 28.02.2007).
[36] Mettke, A.: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, 1995, S. 115 ff.

Die rechnerischen Nachweise zur Trag- und Nutzungsfähigkeit an verschiedenen Deckenplatten der Bauserien P2, WBS 70, PN 36-NO und tragenden Innenwänden des P2-Gebäudetyps wurden teilweise durch zusätzliche Belastungsversuche, sowohl im eingebauten als auch im ausgebauten Zustand, ergänzt (s. Abschn. 2.3.3.4). Des Weiteren sind die rechnerischen Nachweise zum Schallschutz und zum Feuerwiderstand um messtechnische Daten im Rahmen von Versuchen vervollkommnet worden (s. Abschn. 2.3.4).

2.2 Nullstufe – Voruntersuchung (Demontierbarkeit)

Im Zuge der Voruntersuchung wird durch die Recherche und Auswertung von Projektierungsunterlagen sowie der Eruierung der vorhandenen Standortbedingungen die Rückbaufähigkeit resp. Demontierbarkeit des Gebäudes untersucht. Durch die Untersuchungen der Fachgruppe Bauliches Recycling konnte der Nachweis erbracht werden, dass die in industrieller Bauweise gefertigten Gebäude – a priori nicht demontabel errichtet - grundsätzlich demontierbar / rückbaufähig sind (vgl. Abschn. 4, Teil 1). Dies ermöglicht, Altbetonelemente zur sekundären Nutzung zu gewinnen. D.h. damit steht ein riesiges Potenzial an baulichen Ressourcen zur Verfügung. Unter dem Ansatz, dass 30 Betonelemente oder rd. 60 t Beton pro Wohneinheit (WE) verbaut sind und der Annahme, dass 350.000 in Plattenbauweise errichtete WE rückgebaut werden, beträgt dies etwa den Anfall von 10,5 Mio. Betonelemente oder 21 Mio. t Bauschutt. Bei einer angesetzten Wiederverwendungsquote in Höhe von 42 – 66,5 % (s. Abschn. 4.11.2.4, Teil 1) würde dies einer Abfallentstehung in Höhe von 8 – 14 Mio. t entgegen wirken. Für den Demontageprozess wurde durch METTKE eine Rahmentechnologie Rückbau-/Demontagevorhaben Plattenbauten – am Beispiel der Typenserie P2[37] als Handlungshilfe entwickelt und veröffentlicht (vgl. auch Abschn. 4, Teil 1). Die Ergebnisse sind auf andere Typenserien des Plattenbaus übertragbar.

Neben der Demontierbarkeit ist die Entfrachtung des Gebäudes und der Bauteile von Schadstoffen für den weiteren Einsatz wieder verwendbarer Betonelemente von großer Bedeutung (s. Abschn. 3 und 4, Teil 1).

2.3 Entscheidungsstufe 1 – Eignungsprüfung

Im Rahmen der **Eignungsprüfung** (Entscheidungsstufe 1, vgl. Abb. 4) wurden in Vorortbegehungen umfangreiche Untersuchungen zum Bauzustand der Elemente vorgenommen. Diese umfassten – wie zuvor unter Abschn. 2.1 erläutert - neben den visuellen Begutachtungen baustoffliche und –technische Analysen und das bauphysikalische Verhalten der Bauteile.

- **Visuelle Begutachtung**

Die erste Grundlage zur Definition der Gebrauchseigenschaften der wiederzuverwendenden Elemente liefert die visuelle Bauzustandsabschätzung im eingebauten Zustand.

[37] Mettke, A. (Hrsg.): Rahmentechnologie Rückbau-/Demontagevorhaben Plattenbauten – am Beispiel der Typenserie P2, BTU Cottbus, 2004.

Die Unterteilung des Bauzustandes erfolgt in vier Bauzustandstufen (BZS)[38]:

BZS 1: Funktionsfähigkeit entsprechend den projektierten Parametern vorhanden,

BZS 2: Funktionsfähigkeit vorhanden,

BZS 3: Funktionsfähigkeit eingeschränkt,

BZS 4: Funktionsfähigkeit nicht mehr gewährleistet.

- **Baustoffliche und -technische Untersuchungen**

Zu den notwendigen baustofflichen und –technischen Untersuchungen von Betonbauteilen zur Wiederverwendung liegen bisher keine allgemeingültigen Regelungen oder Normen vor (vgl. Abschn. 1.2.2). Im weiteren Verlauf der Untersuchungen zur Wiederverwendungseignung sind, im Sinne der bestehenden Regelungen zum Einsatz von Neubauteilen und des Standes der Technik zum Einsatz sekundärer Bauteile, folgende baustoffliche und -technische Untersuchungen durchgeführt worden:

a) Ermittlung der vorhandenen Betondruckfestigkeit nach DIN 1045:2001-07 (Bohrkernentnahme u./o. Rückprallmessung nach DIN 1048:1991-06),
b) Ermittlung der vorhandenen Betondeckung nach DIN 1045:2001-07,
c) Ermittlung der Karbonatisierungstiefe,
d) Ermittlung der Rissbreiten bei Rissfeststellung nach DIN 1045:2001-07,
e) Untersuchungen zur Tragfähigkeit nach aktueller DIN 1045,
f) Ermittlung der Permeabilität, totaler Porosität und Wassereindringtiefe.

Für den sekundären Einsatz der Betonelemente im Wohnungsbau wurde geprüft, inwieweit die vorgegebenen Werte den geforderten Parametern der Projektierungsunterlagen (a) bis (e), welche noch auf der Normengebung der ehemaligen DDR (TGL) beruhen, eingehalten werden und diese der DIN 1045:2001-07 sowie weiteren Normen und Standards der aktuellen Normengebung entsprechen und diese erfüllen. Darüber hinaus wurden die unter f) aufgeführten Parameter geprüft. Sie spielen bei speziellen Einsatzgebieten (vgl. Abb. 3) – abweichend vom Wohnungsbau – eine Rolle.

- **Bauphysikalische Untersuchungen**

Neben den baustofflichen und bautechnischen Eigenschaften der Betonelemente sind die bauphysikalischen Parameter für die Wiederverwendungseignung von Betonbauteilen im Wohnungsbau relevant. Rechnerische Nachweise und messtechnische Untersuchungen zum

- Schallschutz,
- Wärmeschutz,
- Brandschutz (vgl. Abb. 6)

wurden erbracht resp. Messergebnisse beurteilt.

[38] Mettke, A.: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, 1995, S. 228 f.

2.3.1 Untersuchungsumfang

Seitens der FG Bauliches Recycling sind im Zuge der wissenschaftlichen Begleitung von Rückbauvorhaben zahlreiche Untersuchungen an den hauptsächlich verbauten Elementegruppen: Deckenplatten, tragende Innenwände, Außenwände und zum Teil Badzellen, Dachplatten sowie Trennwände durchgeführt worden. Es handelt sich dabei um die Elementesortimente aus den in Wandbauweise errichteten Wohnbautypen (vgl. Abschn. 2, Teil 1):

- WBS 70, P2, PN 36-NO, WBR Erfurt (Platten- oder Großtafelbauweise; 5,0 t/6,3 t)
- IW 72 (Streifenbauweise; 2,0 t),
- IW 64 (Blockbauweise; 0,8 t).

Des Weiteren wurden Decken, Innen- und Außenwandelemente, Stützen, Riegel und Rahmen etc. von in Mischbauweise errichteten Bauten (vgl. Abschn. 2.8, Teil 1), wie

- einem Schulgebäude vom Typ „Dresden"; 2,0 t und
- zwei Kindergärten in LGBW (Leichte Geschossbauweise Cottbus); 2,0 t analysiert.[39]

Die Bauteiluntersuchungen erfolgten hauptsächlich im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung der im Abschn. 4, Teil 1 erwähnten Rückbauvorhaben in verschiedenen Städten Ostdeutschlands.

2.3.2 Visuelle Begutachtung

2.3.2.1 Bauzustandseinschätzung

Die erste Grundlage zur Definition der Gebrauchseigenschaften der rückgebauten Elemente liefert die visuelle Bauzustandsabschätzung. Besonderes Augenmerk lag dabei auf folgende mögliche Verschleiß- u./o. Schadensbilder sowie Einbaubedingungen[40]:

- Risse und Rissbilder,
- Fugen- und Anschlussausbildungen,
- Abplatzungen und Absandungen,
- Poren, Lunker, Kiesnester,
- Anstriche, Ausbesserungsstellen, Bewuchs,
- Verschmutzungen und Ausblühungen,
- stehendes Wasser und Undichtheiten.

Anhand dieser augenscheinlichen Merkmale wird die äußere Beschaffenheit der Bauelemente bewertet. Die Einteilung der rückgebauten Elemente in Bauzustandsstufen stellt sich wie folgt dar:

BZS 1: Funktionsfähigkeit entsprechend den projektierten Parametern vorhanden
- keine Mängel und Schäden,
- geringe Qualitätsminderung an der Oberfläche,
- sichtbare Haar- und Trockenrisse.

[39] Darüber hinaus wurden von der Fachgruppe Bauliches Recycling Untersuchungen zum Bauzustand von Betonelementen durchgeführt, die in Hallen/eingeschossigen Mehrzweckgebäuden verbaut sind. Hierbei handelt es sich um Bauten, die in Stahlbetonskelettbauweise errichtet wurden mit dem Elementesortiment: Stützen, Binder, Außenwände und Dachkassetten.
[40] Mettke, A.: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, 1995, S. 108 ff.

BZS 2: Funktionsfähigkeit vorhanden
- Beschädigungen, örtlich begrenzte Abplatzungen an der Oberfläche,
- äußere Sichtflächen teilweise verwittert,
- gering markierte, örtliche Rostbahnen,
- sichtbare Verbindungsmittel aus Stahl oberflächig leicht angerostet,
- geringe örtlich begrenzte Durchfeuchtungen.

BZS 3: Funktionsfähigkeit eingeschränkt
- großflächige Beschädigungen an der Oberfläche,
- breite, teilweise durchgehende Längs- und Querrisse, aber örtlich begrenzt,
- äußere Sichtflächen stark verwittert mit Abblätterungen,
- sichtbare Verbindungsmittel aus Stahl gelockert und angerostet.

BZS 4: Funktionsfähigkeit nicht mehr gewährleistet
- umfangreiche Beschädigungen mit weitgehender Zerstörung des Bauwerksteils,
- tiefe, durchgehende Längs- und Querrisse über den gesamten Querschnitt,
- Bewehrung vielfach freiliegend, stark verrostet mit Querschnittsverringerungen,
- großflächige Durchfeuchtung bzw. –ölung.

Als nachnutzungsbedenklich werden die Bauteile angesehen, die in die BZS 3 - bei unveränderten Anforderungen in der Zweitnutzungsphase gegenüber den primären Anforderungen - eingestuft werden. In diesem Fall sollte neben den Kenntnissen über den zu erwartenden Verschleißverlauf und der Maßnahmen zur Instandsetzung ein statischer Nachweis erbracht werden. Bei einer Einstufung der Elemente in die BZS 4 wird aus wirtschaftlichen Gründen (erhöhter Prüfumfang, umfangreiche Sanierungsarbeiten) eine Aussonderung nicht zu umgehen sein, d.h. diese Bauelemente sind stofflich zu recyceln.

In allen durch die Fachgruppe Bauliches Recycling untersuchten Gebäuden konnten sämtliche verbaute Betonelemente den Bauzustandsstufen 1 und 2 zugeordnet werden. Grundsätzlich ist dies der Fall, wenn die Gebäude nicht vorherigen umfangreichen Beschädigungen oder Schäden wie beispielsweise Setzungsschäden, Brandeinwirkungen o.ä. ausgesetzt waren oder bereits Mängel bei der Herstellung der Elemente und/oder Errichtung der Gebäude aufgetreten sind. In solchen Fällen ist im Rahmen der Nullstufe zu prüfen, ob eine Demontage realisierbar ist. Sofern sich statische Unsicherheiten ergeben, wird von einer Demontage abgeraten.

2.3.2.2 Rissaufnahmen

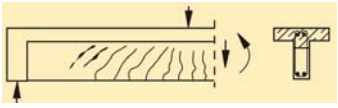
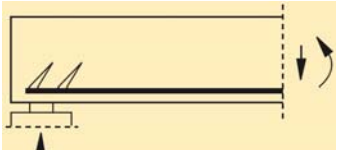
Risse im erhärteten Beton entstehen, wenn die durch Eigenspannungen, Zwang und äußere Belastung hervorgerufenen Zugspannungen die vorhandene Zugfestigkeit des Betons erreichen. Hauptursachen, die Merkmale des Rissbildes sowie Angaben zum Zeitpunkt des Entstehens von Rissen im erhärteten Beton sind in Tab. 2 zusammengefasst. Nicht berücksichtigt sind hierbei Risse aufgrund chemischer Ursachen, wie Sulfattreiben und Alkalireaktion sowie Risse im Frisch- oder jungen Beton.

Tab. 2: Rissursachen[41]

Zeile	Risse können entstehen durch	Merkmale der Rissbildung	Zeitpunkt des Entstehens von Risse	Beeinflussung der Rissbildung ist möglich durch
5	Äußere Temperatureinwirkung	Biege- und Trennrisse, Rissbreite u.U. über 1 mm, u.U. auch Oberflächenrisse	Jederzeit während der gesamten Lebensdauer des Bauwerks, wenn Temperaturänderungen auftreten	Bewehrung, Betonzusammensetzung, Vorspannung, Anordnung von Fugen
6	Änderung der Auflagerbedingungen (z.B. durch Setzungen, Lagerverfomungen)	Biege- und Trennrisse, Rissbreite u.U. über 1 mm	Jederzeit bei Änderung der Auflagerbedingungen	Statisches System (Steifigkeitsverhältnisse), sonst wie Zeile 5
7	Eigenspannungszustände (z.B. infolge von Verformungsbehinderungen, Schnittgrößenumlagerungen, nicht lineares tragwerksverhalten)	Je nach Ursache unterschiedlich	Jederzeit bei auftreten der Riss verursachenden Dehnungen	Zweckmäßige Wahl und Anordnung der Bewehrung
8	Äußere (direkte) Lasten	Haar-, Biege- oder Trennrisse	Jederzeit während der Nutzung	Zweckmäßige Wahl und Anordnung der Bewehrung
9	Frost	Vorwiegend Risse längs der Bewehrung und/oder Absprengungen im Bereich wassergefüllter Hohlräume	Jederzeit bei Frost	Vermeidung wassergefüllter Hohlräume
10	Korrosion der Bewehrung	Risse entlang der Bewehrung und an Bauteilecken, Absprengungen	Nach mehreren Jahren	Dicke und Qualität der Betondeckung

In nachfolgender Tab. 3 sind Arten, Erscheinungsformen und Merkmale der verschiedenen Rissformen in folge von äußeren Kräften bzw. Zwang aufgeführt.

Tab. 3: Arten, Erscheinungsformen und Merkmale der verschiedenen Rissformen [42]

Zeile	Rissart	Erscheinungsform	Beschreibung
4	Biegeriss		Verlaufen etwa senkrecht zur Biegezugbewehrung; beginnen am Zugrand und enden im Bereich der Nullllinie. Verlauf ist oft affin zum Biegemomentenverlauf
5	Schubriss		Bilden sich aus Biegerissen; verlaufen meist schräg zur Stabachse; treten im Bereich großer Querkräfte auf.
6	Trennriss		Verlaufen durch den gesamten Querschnitt; treten bei zentrischem Zug oder bei Zugbeanspruchung mit kleiner Ausmitte auf.
7	Verbundriss		Verlaufen parallel zu den Bewehrungsstäben. Diese Risse treten vor allem im Verankerungsbereich der Bewehrung auf.

Die Rissbreite ist so zu beschränken, dass die ordnungsgemäße Nutzung des Tragwerks sowie sein Erscheinungsbild und die Dauerhaftigkeit als Folge von rissen nicht beeinträchtigt werden. Die Anforderungen der DIN 1045-1:2001-07 an die Begrenzung der Rissbreite in Abhängigkeit der Expositionsklasse sind in Tab. 4 dargestellt.

[41] nach Zement-Merkblatt Betontechnik B 18 „Risse im Beton“, Bauberatung Zement, Hrsg. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V., Köln, 02.2003, S. 1.
[42] ebenda, S. 2.

Tab. 4: Anforderungen an die Begrenzung der Rissbreite nach DIN 1045-1, Abschnitt 11.2[43]

Expositionsklasse	Rechenwerte der Rissbreite w_k [mm]	
	für Stahlbetonbauteile	für Spannbetonbauteile
XC1	0,4	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3	0,3	
XD3	Besondere Maßnahmen	
Für besondere Bauwerke, z.B. Brücken, druckwasserbeanspruchte Bauwerke, Behälter, weiße Wannen, Betonflachdächer, Parkhäuser, vorgespannte Bauteile etc. können sich höhere Anforderungen hinsichtlich der Rissbreite ergeben.		

Von besonderer Bedeutung ist, ob die rissauslösenden Überbeanspruchungen bei der Rissbildung infolge von Lasten und Zwängen als einmalig oder wiederkehrend einzustufen sind. Bei der Entstehung von Rissen aufgrund der Beanspruchung durch den Demontagevorgang oder die Transportprozesse zur Nachnutzung der Bauteile kann davon ausgegangen werden, dass diese nach erfolgtem Wiedereinbau nicht mehr auftreten. Es handelt sich somit um ein einmaliges Ereignis.

Sofern Risse im Beton eine bestimmte Breite w (vgl. Tab. 4) nicht überschreiten, ist für den dauerhaften Korrosionsschutz der Bewehrung nicht die Rissbreite selbst, sondern die Dicke und Dichte der Betondeckung (s. Abschn. 2.3.3.2 und 2.3.3.3) in der Umgebung der Risse maßgebend. Entsprechen beide Merkmale den in der DIN 1045 gestellten Anforderungen, so führen Risse quer zur Bewehrung bis etwa 0,4 und längs der Bewehrung bis etwa 0,3 mm normalerweise zu keiner wesentlichen Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit des Bauteils. Ist das Bauteil besonderen Umwelt-/Schadstoffeinflüssen oder Nutzungsbedingungen ausgesetzt, kann auch bei geringeren Rissbreiten ein Füllen der Risse erforderlich sein (vgl. Tab. 5).

Tab. 5: Zulässige Rissbreiten für Stahlbeton[44]

Umweltbedingung	Größte zulässige Rissbreite [mm]
Trockene Luft oder Schutzüberzug	0,40
Im Freien, hohe Luftfeuchtigkeit, Boden	0,30
Tausalze	0,18
Meerwasser, Wasserwechselzone	0,15
Wasserbehälter	0,10

Die Messung der Rissbreite kann mit dem Strichstärken- bzw. Rissbreitenvergleichsmaßstab erfolgen. Diese Methode ermöglicht Messungen mit einer allgemein ausreichenden Genauigkeit von 0,05 mm. Die Verwendung einer beleuchteten Risslupe erhöht die Ablesegenauigkeit bis zu 0,01 mm, was allerdings bei den meist unregelmäßigen Rissverläufen praktisch kaum nutzbar ist.

[43] nach Zement-Merkblatt Betontechnik B 18 „Risse im Beton“, Bauberatung Zement, Hrsg. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V., Köln, 02.2003, S. 4, überarbeitet.
[44] ebenda, S. 5.

Beeinflussungen auf den Bauzustand der Bauteile durch Demontage- und TUL-Prozesse sind nicht immer auszuschließen und wurden im Zuge der Forschungsarbeit aufgenommen. Eine visuelle Begutachtung der Elemente zur Wieder- resp. Weiterverwendung im Rahmen der Haupt- und Zusatzuntersuchungen der 3. und 4. Entscheidungsstufe zur Wiederverwendungseignung (vgl. Abb. 4 und Tab. 1) ist daher nicht nur empfehlenswert sondern durchaus unabdingbar. Allerdings wird die Höhe des Beschädigungsgrades erheblich von den gewählten Trennverfahren und der Qualifikation des Rückbauunternehmens beeinflusst. Auf die Ergebnisse der Untersuchungen zur Entwicklung des Bauzustandes während der Demontage- und TUL-Prozesse wird in den Abschnitten 2.4 (Entscheidungsstufe 2 – Hauptprüfung) und 2.5 (Entscheidungsstufe 3 – Zusatzprüfung) näher eingegangen.

2.3.3 Baustoffliche und –technische Untersuchungen

2.3.3.3 Betondruckfestigkeit

Unter der Druckfestigkeit wird im allg. die unter einachsiger, kurzzeitiger Druckbelastung gemessene Bruchfestigkeit verstanden. Die Druckfestigkeit des Betons wird im Wesentlichen durch folgende Einflussgrößen bestimmt:

- Festigkeit des Zementsteins und des Zuschlags (Gesteinskörnung),
- Zusammensetzung und Verdichtung des Betons,
- Alter und Lagerungsverhältnisse,
- Belastungsart und –dauer,
- Prüfkörpergestalt und –abmessung.

Prüfverfahren

Maßgebende Vorschrift zur Prüfung von Beton in Bauwerken ist die DIN EN 12504 „Prüfung von Beton in Bauwerken“, wobei Teil 1 (DIN EN 12504-1:2000:09 Bohrkernproben - Herstellung, Untersuchung und Prüfung unter Druck) das zerstörende Verfahren und Teil 2 (DIN EN 12504-2:2001-12 Zerstörungsfreie Prüfung – Bestimmung der Rückprallzahl) das zerstörungsfreie Verfahren (Rückpralluntersuchung) festschreibt.

Die Ermittlung der vorhandenen Druckfestigkeit an den Betonbauteilen durch die Fachgruppe Bauliches Recycling erfolgte neben der Entnahme und Prüfung von Bohrkernen hauptsächlich durch die zerstörungsfreie Prüfung mit dem Rückprallhammer nach E. Schmidt Modell N. Die Elemente wurden zumeist im eingebauten Zustand, aber auch an bereits demontierten Elementen geprüft. An keinem der geprüften Elemente waren Veränderungen an der Betonoberfläche wie etwa durch Feuer, Frost oder chemischen Angriff festzustellen, wodurch eine Rückprallmessung nicht anwendbar gewesen wäre. Der Rückprallhammer wurde wie in der DIN 12504-2:2001-12 gefordert gewartet und am Prüfamboss überprüft.

Da eine zuverlässige Einschätzung der Festigkeit eines Bauteils eine sorgfältige Probenahme und eine entsprechende Prüfanzahl voraussetzt, wurde bei der Wahl der Messstellen für die Untersuchungen eines oder mehrerer Elemente darauf geachtet, diese möglichst breit über das Element zu verteilen. Das heißt, es wurden bei Wandelementen Messungen im oberen, mittleren und unteren Bereich

der Wandplatte durchgeführt sowie bei Deckenplatten in der Mitte und im Auflagerbereich an der Unterseite der Decke (da auf der Oberseite der Fußbodenaufbau abgetragen werden musste).

Mindestanforderungen an die Betondruckfestigkeit der gebrauchten Betonelemente

Im Zuge der Auswertung der jeweiligen Planungsunterlagen der Betonfertigelemente sowie dem Abgleich mit den Vorschriften der TGL 0-1045(04.73), TGL 33412/01 – 06(09.80), DIN 1045-2:2001-07 und DIN EN 206-1:2001-07 ergaben sich für das jeweilige Elementesortiment folgende Mindestanforderungen:

Tab. 6: Gegenüberstellung der Mindest-Betonfestigkeitsklassen entsprechend der Projektierungsunterlagen und der geltenden Norm DIN EN 206-1:2001-07

TGL 0-1045 bis 1980	DIN EN 206-1:2001-07	Elemente / Bauserie
B 160	**C 12/15**	**Innen-, Außenwände P2, PN 36-NO**
B 225	**C 16/20**	**Schlaff bewehrte Deckenplatten P2, PN 36-NO**
B 300	**C 25/30**	**Spannbetondeckenplatten / P2**
TGL 33 403:10.80		
Bk 15	**C 12/15**	**Innen-, Außenwände P2, PN 36-NO**
Bk 20	**C 16/20**	**Schlaff bewehrte Deckenplatten P2, PN 36-NO**
Bk 25	**C 20/25**	**Spannbetondeckenplatten, Innen-, Außenwände / WBS 70**
Bk 30	**C 25/30**	**Spannbetondeckenplatten / P2**

Zusammengefasst ergeben sich folgend aufgeführte Anforderungen lt. Projektierung an die Betonfestigkeitsklasse nach DIN EN 206-1:2001-07:

Tab. 7: Anforderungen an Mindest-Betonfestigkeitsklassen lt. Projektierung angepasst an DIN EN 206-1:2001-07 für die untersuchten Wohnungsbauserien

	WBS 70	P2	PN 36-NO
Spannbetondeckenplatten	**C 20/25**	**C 25/30**	**n.v.**
Schlaff bewehrte Deckenplatten	**C 20/25**	**C 16/20**	**C 16/20**
Außenwände (Tragschicht)	**C 20/25**	**C 12/15**	**C 12/15**
Tragende Innenwände	**C 20/25**	**C 12/15**	**C 12/15**

Die Auswertung der Messergebnisse erfolgte zunächst für die jeweiligen Standorte nach der DIN 1048-2:1991-06. Dabei konnten für die geprüften Elemente nach Tabelle 6 den entsprechenden Betonfestigkeitsklassen zugeordnet werden. Die Ergebnisse der Messungen sind in den jeweiligen Einzelberichten der FG Bauliches Recycling dokumentiert.

Eine Überarbeitung der Messergebnisse hinsichtlich der nach DIN EN 206-1 hinzugekommenen Festigkeitsklassen C 16/20, C 25/30, C 40/50 und C 50/60 nach Tabelle NA.1 – Rückprallzahlen und vergleichbare Druckfestigkeiten nach DIN EN 206-1:2001-07/DIN 1045-2:2001-07 der nationalen Anwendungsregeln des Entwurfs der E DIN EN 13791:2006-06 Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen erfolgt sukzessive. Die Anforderungen an die ermittelten Rückprallzahlen für die Betonklassen C 8/10 (B 10), C 12/15 (B 15), C 20/25 (B 25), C 30/37 (B 35) und C 35/45 (B 45) sind gegenüber der DIN 1048-2:1991-06 unverändert.

Umfang der Untersuchungen

Insgesamt wurden ca. 1.200 Betonelemente an den Standorten Berlin-Marzahn, Gröditz, Weißwasser, Cottbus, Eggesin, Eberswalde, Magdeburg, Osterburg, Leinefelde verschiedener Bauweisen hinsichtlich ihrer Betondruckfestigkeit geprüft. Dabei wurden 379 Elemente der WBS 70, 426 Elemente der Typenserie P2 und 405 Elemente aus dem PN 36-NO untersucht. Somit wurde die charakteristische Druckfestigkeit in Bauwerksteilen an 243 Spannbetondeckenplatten, 218 schlaff bewehrten Deckenplatten, 443 Innenwandbauteilen sowie an 306 Außenwandbauteilen ermittelt.

Auswertung der Untersuchungsergebnisse

Die statistische Auswertung der aus den Ergebnissen der Rückprallmessung und der Prüfung von Bohrkernen resultierenden Druckfestigkeiten erfolgte nach DIN 1048-4:1991-06 Prüfverfahren von Beton; Bestimmung der Druckfestigkeit von Festbeton in Bauwerken und Bauteilen; Anwendung von Bezugsgeraden und Auswertung mit besonderen Verfahren. Die statistische Auswertung der erzielten Ergebnisse nach DIN 1048-4:1991-06 ermöglicht eine genauere Analyse der Gesamtheit der ermittelten Rückprallstrecken und den daraus resultierenden Druckfestigkeiten des Betons bei zerstörungsfreier Prüfung, denn die an den einzelnen Messstellen ermittelten Rückprallwerte R_m können über die Bezugsgerade B unmittelbar in Druckfestigkeiten umgerechnet werden. Die so errechneten Werte calß$_{W200}$ sind Betondruckfestigkeiten, die auf den Würfel 200 mm Kantenlänge nach DIN 1045:1988-07 bezogen sind[45]. Sie wurden auf die Anforderungen der Festigkeitsklassen nach DIN EN 206-1:2001-07 übertragen.

Der detaillierte Berechnungsweg nach DIN 1048-4:1991-06 ist im Bericht „Rückprallstatistik“[46] aufgeführt. In der Studienarbeit „Statistische Auswertung der ermittelten Ergebnisse von Untersuchungen zur Betondruckfestigkeit und Karbonatisierungstiefe sowie Betondeckung an gebrauchten Betonfertigteilen“[47] wurden alle Ergebnisse aus Rückprall- und Bohrkernuntersuchungen zusammengefasst. Sie sind in nachfolgender Tab. 8 zusammengestellt.

[45] DIN 1048-4:1991-06, Abschnitt 3.2.
[46] Mettke, A.; Heyn, S.: Statistische Auswertung der Ergebnisse der zerstörungsfreien Druckfestigkeitsprüfung an Betonbauteilen der Typenserien P2 und WBS 70 - Rückprallstatistik, BTU Cottbus, 2005.
[47] Kania, G.: Statistische Auswertung der ermittelten Ergebnisse von Untersuchungen zur Betondruckfestigkeit und Karbonatisierungstiefe sowie Betondeckung an gebrauchten Betonfertigteilen, Studienarbeit, BTU Cottbus, 2006.

Tab. 8: Ergebnisse der Auswertung der Betondruckfestigkeitsuntersuchungen nach DIN 1048-4:1991-06

	Elemente	Geforderte Betonklasse lt. Projektierung	Nachgewiesene Betonklasse nach DIN 1048-4	Anforderung
WBS 70	Spannbetondeckenplatten	C 20/25	C 50/60 (160)	**erfüllt**
	Außenwände	C 20/25	C 20/25 (93)	**erfüllt**
	Innenwände	C 20/25	C 20/25 (126)	**erfüllt**
P2	Spannbetondeckenplatten	C 25/30	C 30/37 (83)	**erfüllt**
	Schlaff bewehrte DP	C 16/20	C 20/25 (77)	**erfüllt**
	Außenwände	C 12/15	C 20/25 (94)	**erfüllt**
	Innenwände	C 12/15	C 20/25 (172)	**erfüllt**
PN 36 NO	Schlaff bewehrte DP	C 16/20	C 30/37 (141)	**erfüllt**
	Außenwände	C 12/15	C 35/45 (119)	**erfüllt**
	Innenwände	C 12/15	C 35/45 (135)	**erfüllt**

Mit Hilfe der Darstellung der Verteilung der ermittelten Rückprallstrecken in einem Häufigkeitsdiagramm kann ein Überblick zu den Schwankungen der Messergebnisse gegeben werden. Dazu wurde für die jeweilige Bauweise sowie zusätzlich für ausgewählte Standorte die Häufigkeit des Auftretens einer Rückprallstrecke R_m ermittelt und in einem Diagramm dargestellt[48]. Ein ideales Ergebnis dieser Auswertungsmethode ist das Erzielen einer Normalverteilung. Das heißt, die sich aus der graphischen Darstellung im Häufigkeitsdiagramm ergebende Verteilung zeigt die Form einer Glocke (Gaußsche Glockenkurve).

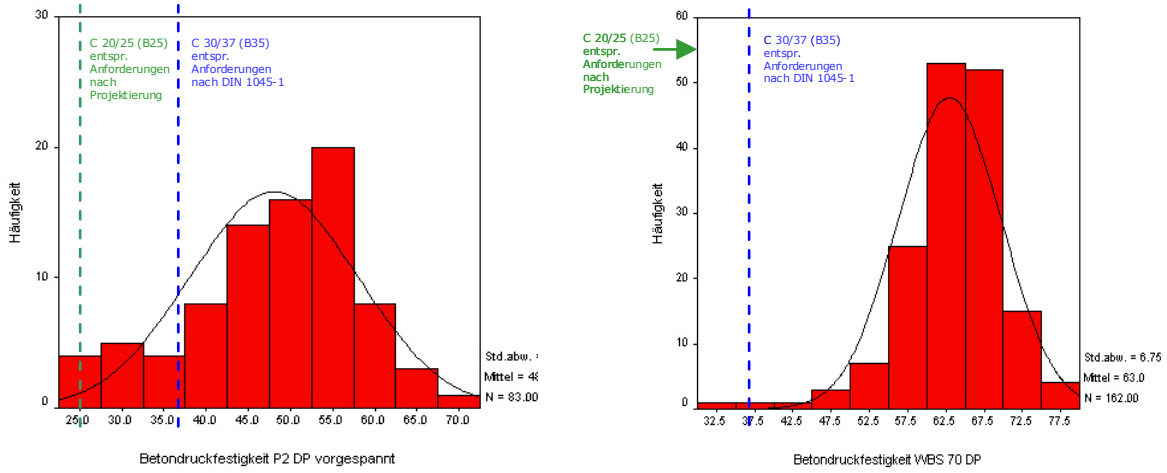


Abb. 7 : Häufigkeitsdiagramm ermittelter Druckfestigkeitswerte für Spannbetondeckenplatten P2 und WBS 70

[48] Kania, G.: Statistische Auswertung der ermittelten Ergebnisse von Untersuchungen zur Betondruckfestigkeit und Karbonatisierungstiefe sowie Betondeckung an gebrauchten Betonfertigteilen, Studienarbeit, BTU Cottbus, 2006.

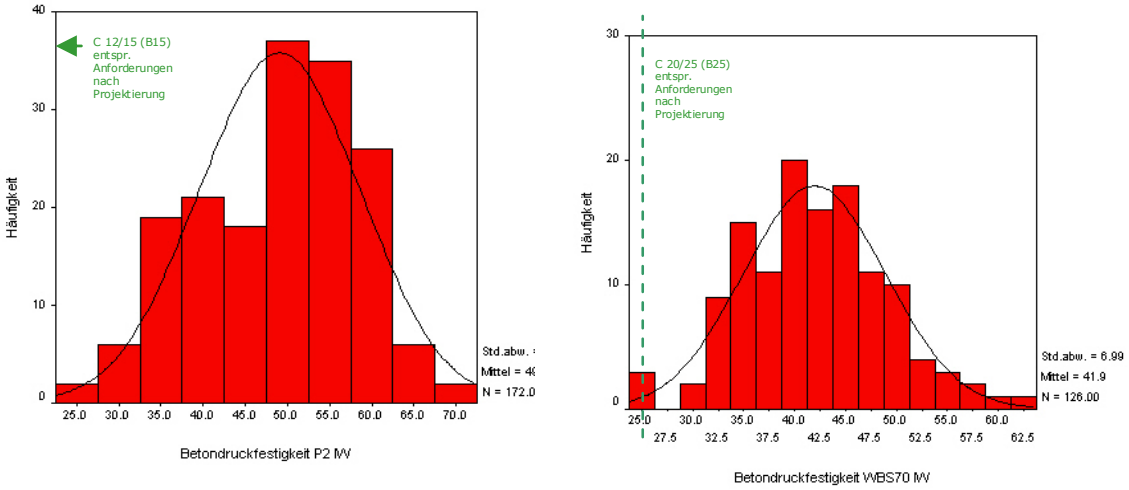


Abb. 8 : Häufigkeitsdiagramm ermittelter Druckfestigkeitswerte für Innenwandelemente P2 und WBS 70

Generell ist festzuhalten, dass die an die Druckfestigkeit gestellten Anforderungen lt. Projektierung der 20 – 30 Jahre alten Betonelemente erfüllt oder gar weit überschritten werden. Die erzielten Ergebnisse der statistischen Auswertung der Rückprallmessungen der WBS 70 liegen deutlich über den Anforderungen gemäß der Projektierung an die Betonfestigkeitsklassen. Für die Tragschalen der Außenwände konnte der geforderte C 20/25 sicher nachgewiesen werden. Das Gleiche gilt für den Beton der tragenden Innenwände. Die ermittelten Werte der Spannbetondeckenplatten erzielen mit einem C 50/60 sogar eine deutlich höhere Festigkeitsklasse als die geforderte Betonklasse C 20/25.

Die Anforderungen an die Betondruckfestigkeit für die geprüften Elemente der Typenserie P2 konnten gleichfalls erfüllt werden und die o.a. Betondruckfestigkeitsklassen nachgewiesen werden. Die höheren Schwankungen der Werte können unter anderem auf die höhere Anzahl der Standorte zurückgeführt werden.

Alle untersuchten Elemente der PN 36-NO erfüllen die Anforderungen an die jeweilig projektierte Betondruckfestigkeitsklasse. Die in diesem System ausschließlich verwendeten schlaff bewehrten Deckenplatten können der Festigkeitsklasse C 30/37 zugeordnet werden. Die Wandelemente erfüllen sogar die Anforderungen an die Betonklasse C 35/45.

Zusammenfassung der Bewertung

Die Bewertung der Ergebnisse der zerstörenden und zerstörungsfreien Prüfung an den Fertigbauelementen der Wohnungsbauserie 70, der Typenserie P2 sowie der Wohnbauweise PN 36-NO nach DIN 1048-4:1991-06 ergab, dass die Anforderungen an die Betondruckfestigkeitsklassen lt. Projektierung erfüllt bzw. im Fall der Spannbetondeckenplatten auch deutlich übererfüllt werden. Im Rahmen des Konformitätsnachweises wird für eine Wieder- resp. Weiterverwendung der Betonbauteilen empfohlen, die Betondruckfestigkeit stichpunktartig zu überprüfen.[49]

[49] Gegenwärtig liegt ein Entwurf der DIN EN 13791:2006-06 Bewertung der Druckfestigkeit in Bauwerken oder in Bauwerksteilen vor, welcher ein verändertes Verfahren zur Bestimmung der charakteristischen Druckfestigkeit von Bauwerksbeton über die Anwendung der aus einer begrenzten Anzahl von Bohrkernen und einer Bezugskurve ermittelten Beziehung - Wahlmöglichkeit 2 - (E DIN EN 13791:2006-06 Abs. 8.3) festlegt.

2.3.3.4 Karbonatisierungstiefe

Beton besitzt durch das Vorhandensein freier Kalziumhydroxid-Ionen bereits nach dem Anmachen einen pH-Wert > 12. Dieses alkalische Milieu schützt den im Beton liegenden Stahl bekanntlich vor Korrosion. Durch das Eindringen von Kohlendioxid aus der Luft reagiert das Kalziumhydroxid des Betons entsprechend folgender Formel zu Kalziumkarbonat:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 + H_2O \longrightarrow CaCO_3 + 2H_2O$$[50].

Durch diese Reaktion werden die freien Ionen gebunden und der pH-Wert des Betons sinkt auf Werte < 9. Bei diesem pH-Wert ist der Stahl nicht mehr ausreichend vor Korrosion geschützt. Entscheidend ist also inwieweit der Karbonatisierungshorizont bis zur Bewehrung vorgedrungen ist.

Die Karbonatisierungsgeschwindigkeit ist abhängig von[51]:

- der Art, Konzentration und Einwirkintensität der angreifenden Medien (Kohlendioxid[52], Feuchtigkeits-, Sauerstoff- und weitere stahlaggressive Ionen wie z.B. Säuren, Laugen, Salze),
- der Porosität (besonders Kapillarporosität) des Betons,
- der Feuchtigkeit des Betons,
- der Betongüte bzw. Betonfestigkeitsklasse,
- dem Alter des Betons,
- der Dicke der Betondeckung.

Der Karbonatisierungsfortschritt hängt somit bekanntlich von verschiedenen Faktoren ab. Während er bei relativen Luftfeuchten von 50 bis 70 % an größten ist, ist er bei relativen Luftfeuchten < 30 % und unter Wasser praktisch gleich null ist (mit Wasser gefüllte Betonporen setzen dem Eindringen von CO2 größeren Widerstand entgegen als leere Poren). Dem Karbonatisierungsprozess wirken ein niedriger Wasser-Zement-Wert (geringe Porosität des Zementsteins) sowie ein hoher Zementgehalt entgegen[53]. Die Druckfestigkeit ist somit ein indirekter Indikator, da die Karbonatisierungstiefe mit steigender Betonfestigkeitsklasse abnimmt.

Der Karbonatisierungsfortschritt folgt als diffusionsgesteuerter Vorgang dem Zeitgesetz:

$$x_c = k \cdot \sqrt{t / t_0}$$

Die Karbonatisierungstiefe x_c wird hier in Abhängigkeit von der Dichtigkeit der Randzone, die durch den Faktor k charakterisiert ist, und der Zeit t dargestellt. Der Divisor t_0 stellt einen Proportionalitätsfaktor dar, der weiterhin zur Charakterisierung des Feuchteinflusses herangezogen werden kann. Die folgende Abbildung verdeutlicht den Verlauf der Zeitgesetzfunktion x_c:

---

[50] vgl. Hilsdorf, Hubert K.: Dauerhaftigkeit von Betonen, 1991, S.21.
[51] vgl. Mettke, A.: Widerverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, 1995, S. 100 ff.
[52] In Ballungszentren ist der CO2-Gehalt der Luft höher als im ländlichen Raum. Landluft 0,03 Vol.-% entspr. 600 mg/m³, Stadtluft 0,05 Vol.-% entspr. 1.000 mg/m³, Ballungsgebiete 0,08 Vol.-% entspr. 1.400 mg/m³ [Quelle: Ettel, Wolf-Peter: Beton, in: Baustoffkenntnis; Hrsg. Scholz, Wilhelm; Wiese, Wolfram, 2003, S. 351.]
[53] Ettel, W.-P.: Beton, in: Baustoffkenntnis; Hrsg. Scholz, Wilhelm; Wiese, Wolfram, 2003, S. 352.

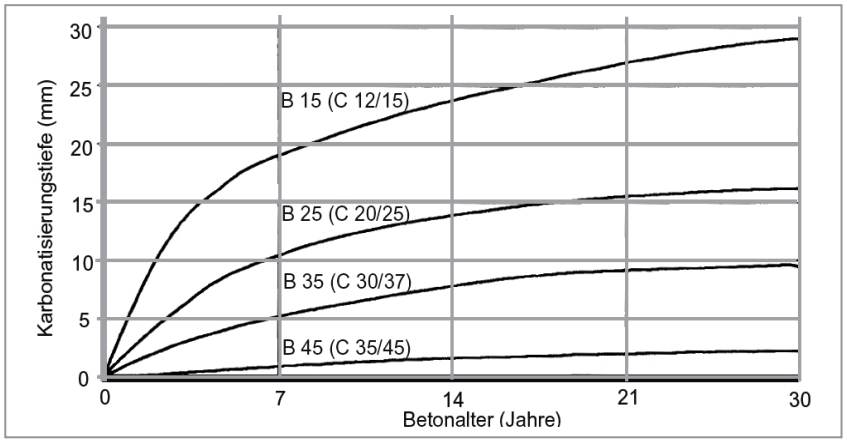


Abb. 9 : Entwicklung der Karbonatisierungstiefe in Abhängigkeit von der Festigkeitsklasse und der Zeit[54]

Im Verlaufe der Zeit, d.h. mit zunehmenden Betonalter schreitet die Karbonatisierung bei gleich bleibenden Umweltbedingungen (Expositionsklasse) nur noch unmerklich fort und erreicht praktisch einen Endwert[55] (s. Abb. 9).

Prüfverfahren

Die Untersuchungen zur Karbonatisierungstiefe wurden an frisch gezogenen Bohrkernen mittels 0,1 %-iger farbloser Phenolphtalein-Lösung vorgenommen (s. Abb. 10).

Abb. 10 : Darstellung eines Bohrkerns (Deckenelement WBS 70, Dresden) nach der Bestimmung der Karbonatisierungstiefe – hier: alkalische (unversehrte) Bereiche mit violetter Verfärbung

Untersuchungsumfang und Ergebnisse

Für die Wohnungsbauserie 70 wurden für die Auswertung an den Standorten Dresden-Gorbitz, Osterburg, Gröditz und Berlin Marzahn insgesamt 44 Werte für die Karbonatisierungstiefe ermittelt. An den Spannbetondeckenplatten ist die Messung 26-mal vorgenommen worden, an tragenden Außenwänden sind 5 Messwerte ermittelt sowie 13 Messwerte an tragenden Innenwänden. Für die Typenserie P2 wurden Untersuchungen an 14 Spannbetondeckenplatten, 9 Innenwänden und 21 Außenwänden in Magdeburg und Weißwasser vorgenommen. Bei den sonstigen Typenserien (u.a. PN 36-NO) liegen nur exemplarische Daten von Einzelobjekten vor, so dass keine Gesamtaussage erfolgte.

[54] Röhling, St.; Eifert, H.; Kaden, R.: Betonbau: Planung und Ausführung, Berlin, 2000, S. 328.
[55] Mettke, A.: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, 1995, S. 102.

Für die untersuchten Bauelemente der WBS 70 stellt sich das Ergebnis wie folgt dar:

WBS 70 – Deckenplatten: C 20/25 (lt. Projektierung)

Tab. 9: Karbonatisierungstiefen, Betonalter und Standort bei Deckenplatten des Typs WBS 70

26 Messwerte	**Minimalwert**	**Durchschnittswert**	**Maximalwert**
Karbonatisierungstiefe	0 mm	2 mm	18 mm
Betonalter	21 Jahre	19,8 Jahre	22 Jahre
Standort	----------	----------	Berlin Marzahn

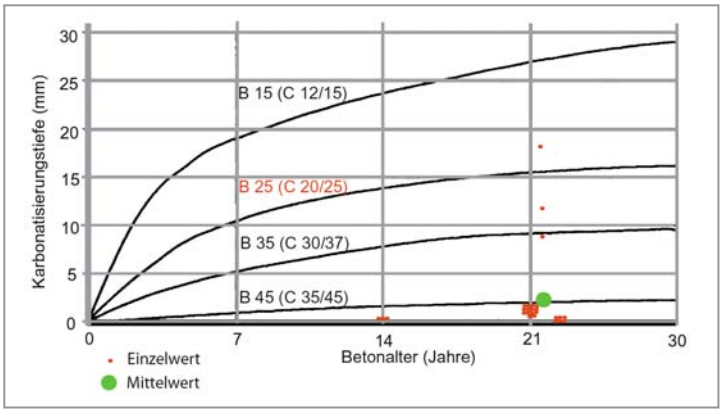


Abb. 11 : Darstellung der Karbonatisierungstiefe der Deckenplatten des Typs WBS 70

Bei den untersuchten Deckenplatten ist der Karbonatisierungshorizont (innerhalb von durchschnittlich 19,8 Jahren) im Mittel 2 mm weit vorgedrungen. Der Maximalwert von 18 mm (eine Messung) wurde bei einem 22 Jahre alten Deckenelement in Berlin-Marzahn festgestellt. Vergleicht man diesen Wert mit dem Durchschnittswert so wird deutlich, dass dieser Maximalwert als ein statistischer Ausreißer gewertet werden kann.

WBS 70 – Innenwände: C 20/25 (lt. Projektierung)

Tab. 10: Karbonatisierungstiefen, Betonalter und Standort bei Innenwänden des Typs WBS 70

13 Messwerte	**Minimalwert**	**Durchschnittswert**	**Maximalwert**
Karbonatisierungstiefe	0 mm	2 mm	8 mm
Betonalter	21 Jahre	20,6 Jahre	21 Jahre
Standort	----------	----------	Osterburg

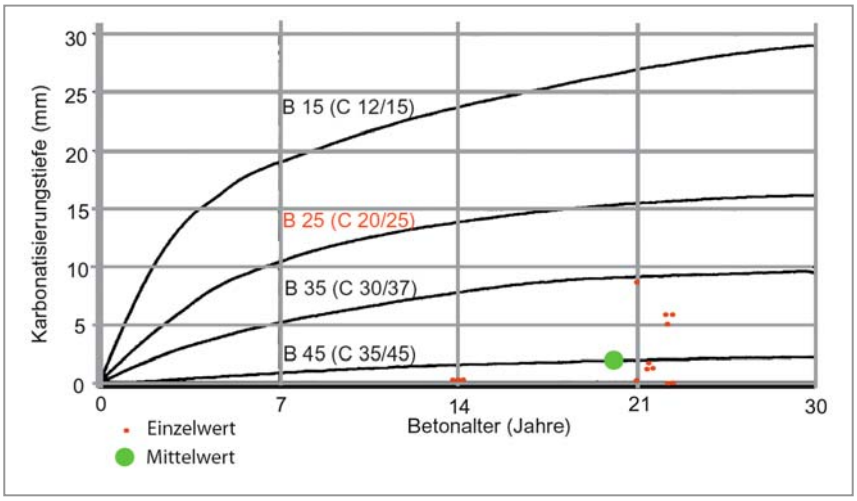


Abb. 12 : Karbonatisierungstiefe der Innenwände des Typs WBS 70

Bei den untersuchten Innenwänden wurde eine durchschnittliche Karbonatisierungstiefe von 2 mm, bei einem durchschnittlichen Betonalter von 20,6 Jahren, festgestellt. Der Maximalwert von 8 mm ist bei einem Betonelement (21 Jahre) in Osterburg festgestellt worden. Der Korrosionsschutz der Bewehrung ist bei einem ermittelten Mittelwert der minimalen Betondeckung von 36 mm (vgl. Abschn. 3.4.3.3) voll gegeben, da der Karbonatisierungshorizont immer noch durchschnittlich mind. 28 mm von der Bewehrung entfernt liegt. Auch wurde der durch die Zeitgesetzfunktion vorhergesagte Karbonatisierungsfortschritt für einen Beton C 20/25 bei weitem nicht erreicht.

WBS 70 – Außenwände: C 20/25 (lt. Projektierung)

Tab. 11: Karbonatisierungstiefen, Betonalter und Standort bei Außenwänden des Typs WBS 70

5 Messwerte	**Minimalwert**	**Durchschnittswert**	**Maximalwert**
Karbonatisierungstiefe	0 mm	5 mm	10 mm
Betonalter	21 Jahre	17,5 Jahre	21 Jahre
Standort	Dresden	----------	Osterburg

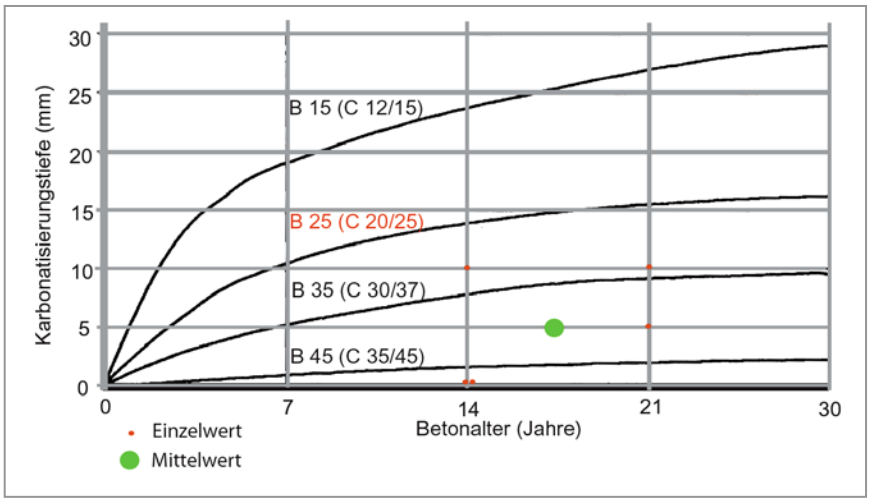


Abb. 13 : Karbonatisierungstiefe der Außenwände des Typs WBS 70

Bei den untersuchten Außenwänden (durchschnittlich vor 17,5 Jahren hergestellt) ist der Karbonatisierungshorizont im Mittel 5 mm in das Bauteil vorgedrungen. Der Maximalwert von 10 mm wurde bei einem Bauelement in Osterburg festgestellt. Da die festgestellten Karbonatisierungshorizonte weit unter den Vorhersagen der Zeitgesetzfunktion für einen Beton der Festigkeitsklasse C 20/25 liegen und die eingesetzte Bewehrung der Außenwand- wie auch der Innenwandelemente ausschließlich konstruktiv wirkt, ist auch hier eine Gefährdung dieser durch Korrosion auszuschließen.

P 2 – Spannbetondeckenplatten: C 25/30 (lt. Projektierung)

Tab. 12: Karbonatisierungstiefen, Betonalter und Standort bei Deckenplatten des Typs P2

14 Messwerte	**Minimalwert**	**Durchschnittswert**	**Maximalwert**
Karbonatisierungstiefe	0 mm	0 mm	0 mm
Betonalter	23 Jahre	23 Jahre	23 Jahre
Standort	----------	----------	----------

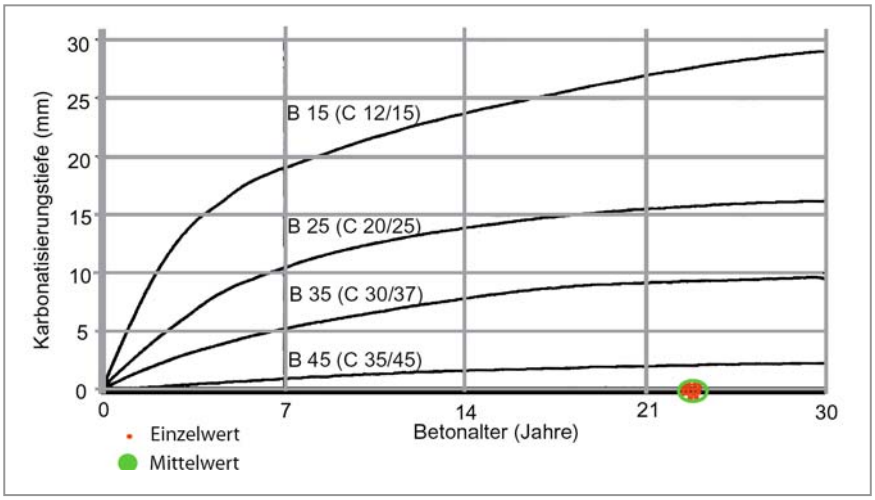


Abb. 14 : Darstellung der Karbonatisierungstiefe der Deckenplatten des Typs P2

Für Betonelemente des Gebäudetyps P2 lassen sich die Untersuchungsergebnisse wie folgt zusammenfassen:

P 2 – Innenwände: C 12/15 (lt. Projektierung)

Tab. 13: Karbonatisierungstiefen, Betonalter und Standort bei Innenwänden des Typs P2

9 Messwerte	**Minimalwert**	**Durchschnittswert**	**Maximalwert**
Karbonatisierungstiefe	0 mm	0 mm	0 mm
Betonalter	23 Jahre	23 Jahre	23 Jahre
Standort	----------	----------	----------

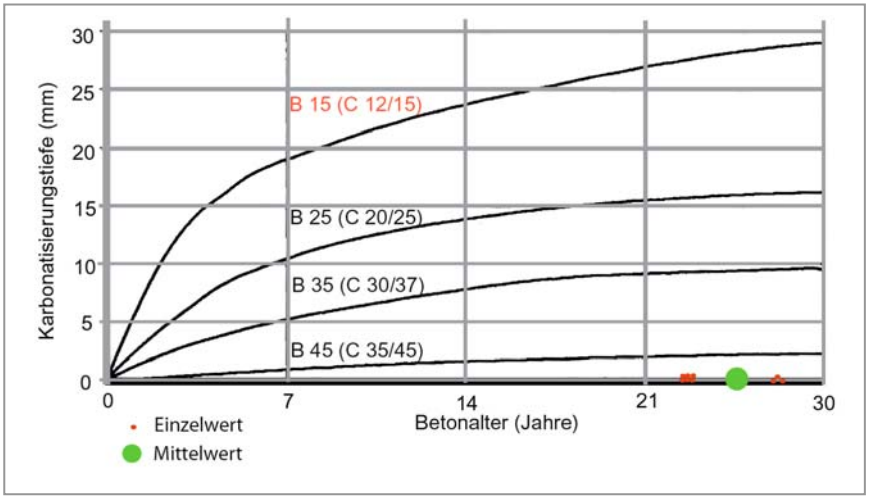


Abb. 15 : Darstellung der Karbonatisierungstiefe der Innenwände des Typs P2

P 2 – Außenwände: C 12/15 (lt. Projektierung)

Tab. 14: Karbonatisierungstiefen, Betonalter und Standort bei Außenwänden des Typs P2

21 Messwerte	**Minimalwert**	**Durchschnittswert**	**Maximalwert**
Karbonatisierungstiefe	0 mm	12 mm	30 mm
Betonalter	23 Jahre	23 Jahre	23 Jahre
Standort	----------	----------	Weißwasser.

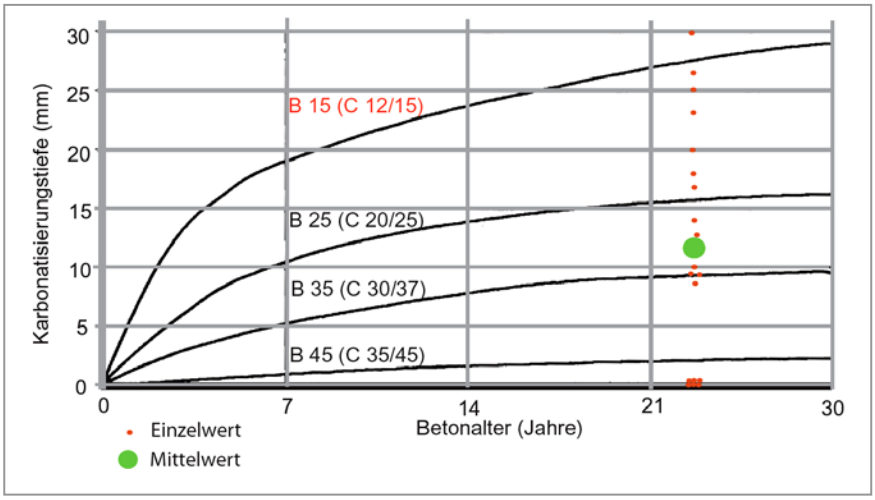


Abb. 16 : Karbonatisierungstiefe der Außenwände des Typs P2

An den 14 untersuchten Bohrkernen aus Spannbetondeckenplatten der Typenserie P2 konnte keine Karbonatisierung festgestellt werden. Das Gleiche gilt für die 9 geprüften Innenwandbauteile. Bei den 21 untersuchten Außenwänden der P2 Serie mit einem mittleren Betonalter von 23 Jahren ist die Karbonatisierungsfront im Durchschnitt bei 12 mm ermittelt worden. Die Karbonatisierungstiefe der Wetterschale ist erwartungsgemäß größer als die der Tragschale, denn der Beton der Wetterschale ist den wechselnden (nass, trocken) Witterungseinflüssen ausgesetzt. Eine Gefährdung der Stahleinlagen in der Tragschicht der Außenwände ist auszuschließen, da zum einen ausschließlich konstruktive

Bewehrung (Ringanker-, Sturz-, Transportbewehrung) mittig des Bauteilquerschnitts eingesetzt wurde und zum anderen der durchschnittliche Karbonatisierungshorizont weit unter der Vorhersage aus der Zeitgesetzfunktion für einen Beton der Festigkeitsklasse C 12/15 liegt.

Zusammenfassung der Bewertung

Die ermittelten Werte der Karbonatisierungstiefen aller untersuchten Bauteile liegen deutlich unter den prognostizierten Karbonatisierungshorizonten der jeweiligen projektierten und experimentell nachgewiesenen Betondruckfestigkeitsklasse der Zeitgesetzfunktion x_c (vgl. Abb. 9). Zudem wurde die Betonoberfläche durch die Karbonatisierung sukzessiv verdichtet, was den weiteren Fortschritt der Karbonatisierungsfront in das Bauteilinnere bremst.

Die ermittelten Karbonatisierungshorizonte überschreiten nicht die vorhandene Betondeckung - wie im folgenden Abschnitt herausgestellt wird. Eine Gefährdung des Bewehrungsstahls durch Korrosion ist bei gleich bleibenden Umweltbedingungen resp. Expositionsklasse somit nicht gegeben.

2.3.3.5 Betondeckung

Anforderungen

Die DIN 1045-1:2001-07 definiert die Betondeckung als diejenige Schicht, welche die Oberfläche der äußeren Bewehrung zu den Betonteiloberflächen hin, schützend abdeckt. Diese muss ausreichend dick und dicht sein. Die Mindestbetondeckung $\mathbf{c_{min}}$ ist einzuhalten, um

- den Schutz der Bewehrung gegen Korrosion und
- eine sichere Übertragung von Verbundkräften

zu gewährleisten. Dementsprechend werden folgende Grundforderungen an die Betondeckung erhoben:

- Mindestbetondeckung abhängig von der Expositionsklasse (Korrosionsschutz),
- Mindestbetondeckung abhängig vom Stahldurchmesser der Betonstahlbewehrung (Übertragung der Verbundkräfte).

Die möglichen Einwirkungen auf die Bewehrung im Beton werden durch folgende Expositionsklassen gekennzeichnet:

- XC (Carbonation) – Korrosionsgefahr, ausgelöst durch Karbonatisierung,
- XD (Deicing) – Korrosionsgefahr, ausgelöst durch Chloride aus Taumitteln,
- XS (Seawater) – Korrosionsgefahr, ausgelöst durch Chloride aus Meerwasser oder salzhaltiger Seeluft.

Die möglichen Einwirkungen auf den Baustoff Beton werden durch die Expositionsklassen:

- XF (Freezing) – Beanspruchung durch Frost mit und ohne Taumittel,
- XA (Chemical Attack) – Beanspruchung durch chemische Angriffe,
- XM (Mechanical Abrasion) – Beanspruchung durch Verschleiß

erfasst.

Der Angriffsgrad 1-4 bedeutet schwach bis stark. Die Festlegung der Expositionsklasse wirkt sich auf die Mindestbetongüte, die Mindestbetondeckung und die Begrenzung der Rissbreiten aus.

Die Expositionsklasse X 0 (kein Angriffsrisiko) gilt nur für Betone ohne Bewehrung (z.B. unbewehrtes Fundament).[56]

MINDESTBETONDECKUNG, ABHÄNGIG VON DER EXPOSITIONSKLASSE

Für die Errichtung eines Wohngebäudes aus Betonbauteilen sind folgende Expositionsklassen zu beachten:

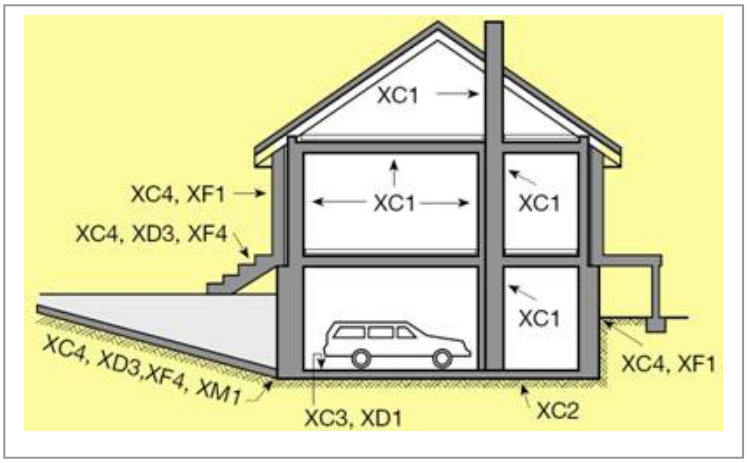


Abb. 17 : Maßgebliche Expositionsklassen im Wohngebäudebau[57]

Tab. 15: Maßgebliche Expositionsklasse[58] und resultierende Mindestbetondeckung

Expositions-klasse	Beschreibung der Umgebung	Beispiele für die Zuordnung	Mindestbetondeckung c_{min} [mm]	
			Betonstahl	Spann-glieder
XC 1	Trocken oder ständig nass	Bauteile in Innenräumen mit üblicher Luftfeuchte	**10**	**20**
XC 2	Nass, selten trocken	Fundamentplatte	**20**	**30**
XC 3	Mäßige Feuchte	Bauteile, zu denen die Außenluft häufig Zugang hat	**20**	**30**
XC 4	Wechselnd nass und trocken	Außenbauteile – direkte Beregnung	**25**	**35**
XD 1	Mäßige Feuchte	Betonoberflächen, die chloridhaltigen Sprühnebeln ausgesetzt sind, z.B. Garagen	**40**	**50**
XF 1	Wechselnd nass und trocken	Außenwände, die Regen und Frost ausgesetzt sind		
XD 3	Mäßige Wassersättigung ohne Taumittel	Fahrbahndecken	**40**	**50**
XF 4	Mäßige Wassersättigung ohne Taumittel	Taumittelbehandelte Verkehrsflächen		
XM 1	Mäßige Verschleißbeanspruchung	Tragende oder aussteifende Industrieböden mit Beanspruchung durch luftbereifte Fahrzeuge		

[56] s. Mettke, A.: Qualitätsmerkmale gebrauchter Betonelemente – Potenziale und Facetten der Nachnutzung, in: Alte Platte – Neues Design – Teil 2, Hrsg. A. Mettke, 2007.
[57] Zement-Merkblatt Betontechnik, B9.
[58] nach DIN 1045-1:2001-07, Tabelle 4.

Im Folgenden werden diejenigen Expositionsklassen untersucht, die für Innenwände und Deckenplatten in ihrem bisherigen Einsatz als Innenbauteile und Außenwände als Außenbauteile von Gebäuden von Relevanz sind.

XC 1: Trocken oder ständig nass

Bauteile in Innenräumen mit normaler Luftfeuchte (einschließlich Küche, Bad und Waschküche in Wohngebäuden); Bauteile, die sich ständig unter Wasser befinden

XC 4: Wechselnd nass und trocken

Außenbauteile mit direkter Beregnung; Bauteile in Wasserwechselzonen

Auswertungsmethode[59]

Die Auswertung der gewonnenen Daten erfolgt nach dem DBV-Merkblatt „Betondeckung und Bewehrung“ (Fassung Juli 2002), Tab. A.1. Der quantitative Nachweis der Betondeckung wird mit Hilfe von Messwerten der Betondeckung und ihrer Auswertung auf der Basis einer Verteilungsfunktion geführt.

Die Mindestbetondeckung c_{min} ist

- für Bauteile nach DIN 1045-1:2001-07, Tab.4, Zeile 1 als 10 %- Quantil
- für Bauteile nach DIN 1045-1:2001-07, Tab.4, Zeilen 2 bis 4 als 5 %- Quantil

nachzuweisen. Der Nachweis muss mit mindestens 20 Messwerten begonnen werden.

Das Quantil ist der Wert einer Zufallsgröße, der mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit unterschritten wird. Das 5 %- Quantil bzw. das 10 %- Quantil der Betondeckung ist der Wert, der bei Gültigkeit der jeweiligen Verteilungsannahme mit der festgelegten Wahrscheinlichkeit unterschritten wird.

Die Grundlage für die statistische Auswertung ist die Neville-Verteilung. Sie enthält keine, im Falle der Betondeckung technisch unmögliche, negative Werte. Diese Verteilungsfunktion ist rechtsschief unsymmetrisch und berücksichtigt realistischer als die symmetrische Normalverteilung, dass die Möglichkeit des Auftretens von Abweichungen der Betondeckung nach unten durch die einseitigen Abstandshalter anders beeinflusst wird als nach oben. Ein wesentlicher Vorteil der Neville-Verteilung ist, dass zur Berechnung der Verteilungsfunktion keine Integration erforderlich ist und man daher die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Grenzwert nicht unterschritten wird, direkt berechnen kann.

An dieser Stelle soll nicht weiter auf die Herleitung der Dichte- und Verteilungsfunktionen eingegangen werden, sie ist dem DVB-Merkblatt „Betondeckung und Bewehrung“ (Fassung Juli 2002) zu entnehmen.

[59] Mettke, A.; Kania, G.: Statistische Auswertung der ermittelten Ergebnisse von Untersuchungen an gebrauchten Betonfertigteilen, Studienarbeit, 2006; vgl. weiter Mettke, A.: Qualitätsmerkmale gebrauchter Betonelemente – Potenziale und Facetten der Nachnutzung, in: Alte Platte – Neues Design – Teil 2, Hrsg. A. Mettke, 2007.

Auswertung

Der Gesamtauswertung liegen die durch die Mitarbeiter der Fachgruppe Bauliches Recycling einzeln ausgewerteten Messdaten an Elementen der Bauserien WBS 70, P2, PN 36-NO und IW 72 zugrunde. Von zehn Messwerten je Element wurde die durchschnittliche Betondeckung *vorh mittel c* (Messstellenwert) verwendet, um eine allgemeingültige Aussage zu treffen. Untersucht sind die Expositionsklasse XC 1 (Mindestbetondeckung von 20 mm für Spannglieder, sowie 10 mm für Betonstahl), um die Elemente entsprechend ihrer Projektierung erneut in Innenräumen mit normaler Luftfeuchte einzusetzen, sowie die Expositionsklasse XC 4 (Mindestbetondeckung von 35 mm für Spannglieder, sowie 25 mm für Betonstahl), um zu prüfen, ob die Elemente auch als Außenbauteile mit direkter Beregnung ohne nachträgliche Behandlung verwendet werden können.

MINDESTBETONDECKUNG, ABHÄNGIG VOM STAHLDURCHMESSER DER BETONSTAHLBEWEHRUNG

Die Mindestbetondeckung ist außerdem abhängig vom Stahldurchmesser d_s. Die Mindestbetondeckung c_{min} darf nicht kleiner sein als der Stahldurchmesser der Betonstahlbewehrung d_s. Zur Messung der Betondeckung wurde das Ferroscan-System FS 10 der Firma Hilti verwendet (s. Abb. 18).

Abb. 18 : Hilti-Ferroscan-System FS 10 zur Ermittlung der Betondeckung

Wohnungsbauserie 70 (WBS 70):

Für die Bauserie WBS 70 standen 32 Datensätze von Deckenplatten zur Verfügung, ermittelt an Standorten in Berlin Marzahn, Gröditz, Osterburg und Wünschendorf. Für die Außen- und Innenwände kann kein quantitativer Nachweis geführt werden, da die hierfür nötige Mindestanzahl von 20 Messwerten nicht erreicht wird. Ursache für die geringe Menge an verwertbaren Daten der Wandbauteile sind die ausschließlich konstruktiv vorgesehenen Stahleinlagen der Elemente (Sturz-, Ringanker- bzw. Transportbewehrung). Bei der Analyse der Wandbauteile im eingebauten Zustand konnte meist keine Bewehrung im gescannten Untersuchungsbereich erfasst werden, da diese beispielsweise im Ringankerbereich durch die Deckenplatten verdeckt wurden bzw. im Sturzbereich die notwendige Untersuchungsfläche nicht gegeben ist.

MINDESTBETONDECKUNG, ABHÄNGIG VON DER EXPOSITIONSKLASSE

Deckenplatten

Expositionsklasse XC 1:

Für die durchschnittliche Betondeckung (Messstellenwert) *vorh mittel c* ist das 10 %- Quantil mit 1,9 % erfüllt und der Anforderung Genüge getan. Das 10 %- Quantil liegt hier bei 23,17 mm (s. Abb. 19).

Expositionsklasse XC 4:

Für den pro Element festgestellten Messstellenwert der Betondeckung *vorh mittel c* wird das 5 %- Quantil mit 94,1% deutlich überschritten. Damit ist die Anforderung für den Einsatz der ursprünglich als Innenbauteil konzipierten Deckenplatten als Außenbauteil nicht erfüllt.

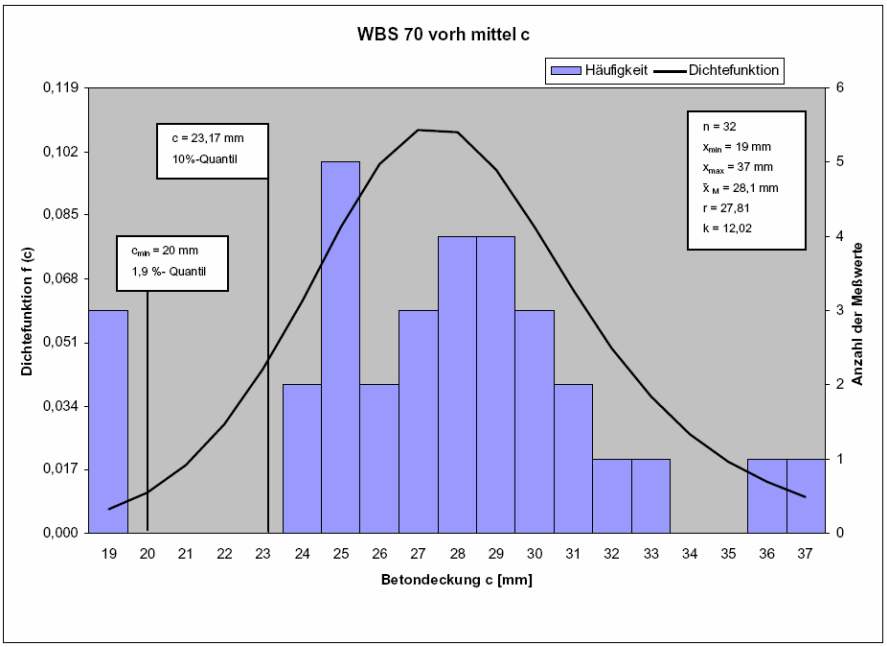


Abb. 19 : Graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung der vorhandenen mittleren Betondeckung c von 32 Spannbetondeckenplatten des Typs WBS 70

MINDESTBETONDECKUNG, ABHÄNGIG VOM STAHLDURCHMESSER DER BETONSTAHLBEWEHRUNG

Die Forderung nach der Einhaltung der Mindestbetonüberdeckung abhängig vom Stahldurchmesser des Bewehrungsstahls d_s wird von allen untersuchten Deckenplatten, Außen- und Innenwänden des Bautyps WBS 70 eingehalten[60,61].

Typenserie P2:

Die Untersuchungen der Betondeckung der Typenserie P2 wurden an den Standorten Weißwasser, Cottbus und Magdeburg vorgenommen. Für die Auswertung standen 52 Datensätze von spannbewehrten Deckenplatten, 40 Datensätze von schlaff bewehrten Deckenplatten sowie 50 Datensätze von Innenwänden zur Verfügung. Bei den Außenwänden waren es 22 Datensätze, wobei nach Er-

[60] Mettke, A.; Thomas, C.: Begutachtung von Elementen der WBS70 hinsichtlich ihrer Wiederverwendungseignung am Standort Gröditz, Cottbus, 2004, S.17.
[61] Mettke, A.; Heyn, S.: Geschossweiser Rückbau eines Wohngebäudes WBS70 mit anschließendem Totalabbruch in Osterburg, Cottbus, 2006, S.15.

rechnung des oberen Grenzwertes x_{OG} nach DVB-Merkblatt „Betondeckung und Bewehrung“ 4 Datensätze ausgesondert wurden, so dass die nötige Mindestanzahl von 20 Messwerten nicht gegeben war und kein Nachweis geführt werden konnte. Die geringe Anzahl an verwendbaren Untersuchungsergebnissen ist wie auch im Fall der WBS 70-Wandbauteile auf die konstruktive Auslegung der Stahleinlagen zurückzuführen.

MINDESTBETONDECKUNG, ABHÄNGIG VON DER EXPOSITIONSKLASSE

Spannbetondeckenplatten

Expositionsklasse XC 1:

Für die durchschnittliche Betondeckung (Messstellenwert) *vorh mittel c* ist das 10 %- Quantil mit 0,2 % deutlich erfüllt und der Anforderung Genüge getan. Das 10 %- Quantil liegt hier bei 29,43 mm (s. Abb. 20).

Expositionsklasse XC 4:

Für den pro Element festgestellten Messstellenwert der Betondeckung *vorh mittel c* wird das 5 %- Quantil mit 40,6% überschritten, damit ist die Anforderung des projektierten Innenbauteils an einen Einsatz als Außenbauteil nicht erfüllt.

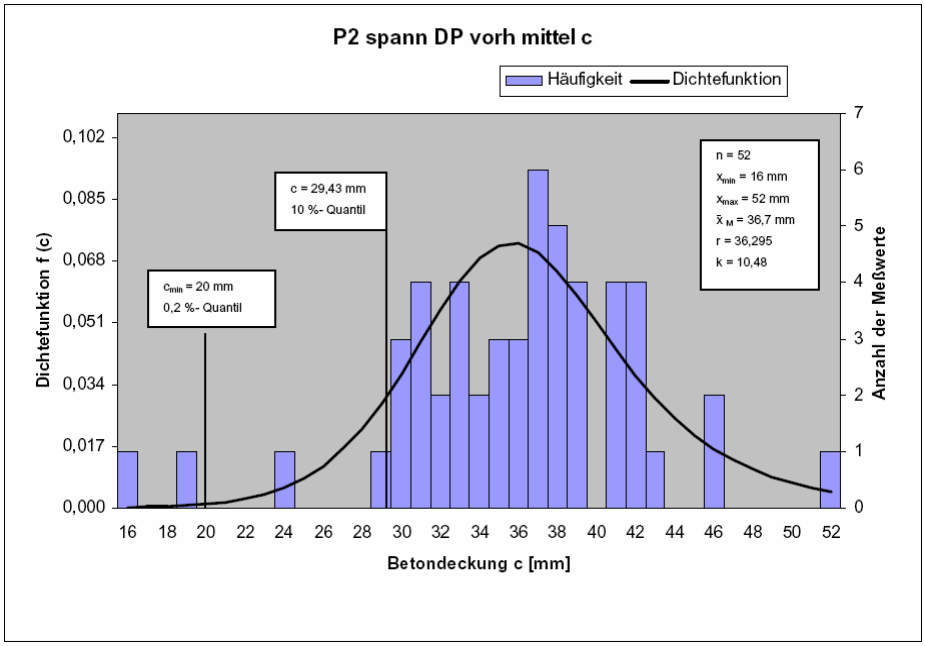


Abb. 20 : Graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung der vorhandenen mittleren Betondeckung c von 52 Spannbetondeckenplatten des Typs P2

Schlaff bewehrte Deckenplatten

Nach Errechnung des oberen Grenzwertes x_{OG} wurden bei *vorh mittel c* 3 Daten ausgesondert, so dass die Datenanzahl 37 betrug.

Expositionsklasse XC 1:

Für die durchschnittliche Betondeckung (Messstellenwert) *vorh mittel c* ist das 10 %- Quantil mit 0,01 % deutlich erfüllt und der Anforderung Genüge getan. Das 10 %- Quantil liegt hier bei 19,59 mm (s. Abb. 21).

Expositionsklasse XC 4:

Für den pro Element festgestellten Messstellenwert der Betondeckung *vorh mittel c* wird das 5 %- Quantil mit 57,5% deutlich überschritten, damit ist die Anforderung für den Einsatz des projektierten Innenbauteils als Außenbauteil nicht erfüllt.

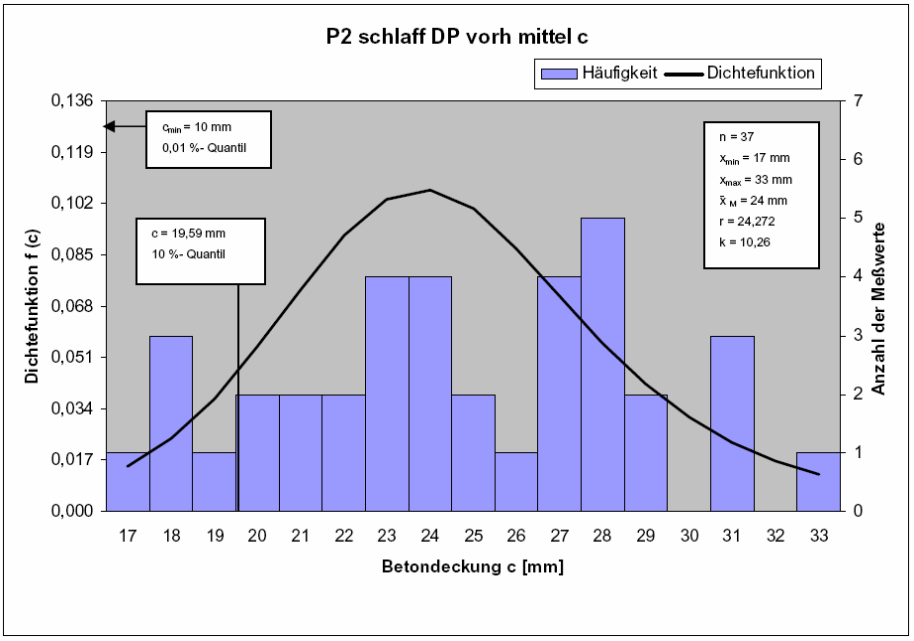


Abb. 21 : Graphische Darstellungen der Häufigkeitsverteilung der vorhandenen mittleren Betondeckung c von 37 schlaff bewehrten Deckenplatten der Typenserie P2

Innenwände

Expositionsklasse XC 1:

Für die durchschnittliche Betondeckung (Messstellenwert) *vorh mittel c* ist das 10 %- Quantil mit 0,02% deutlich erfüllt und der Anforderung Genüge getan. Das 10 %- Quantil liegt hier bei 27,78 mm (s. Abb. 22).

Expositionsklasse XC 4:

Für den pro Element festgestellten Messstellenwert der Betondeckung *vorh mittel c* wird das 5 %- Quantil mit 5,6% überschritten, damit ist die Anforderung für Außenbauteile durch das eigentlich als Innenbauteil projektierte Element nicht erfüllt.

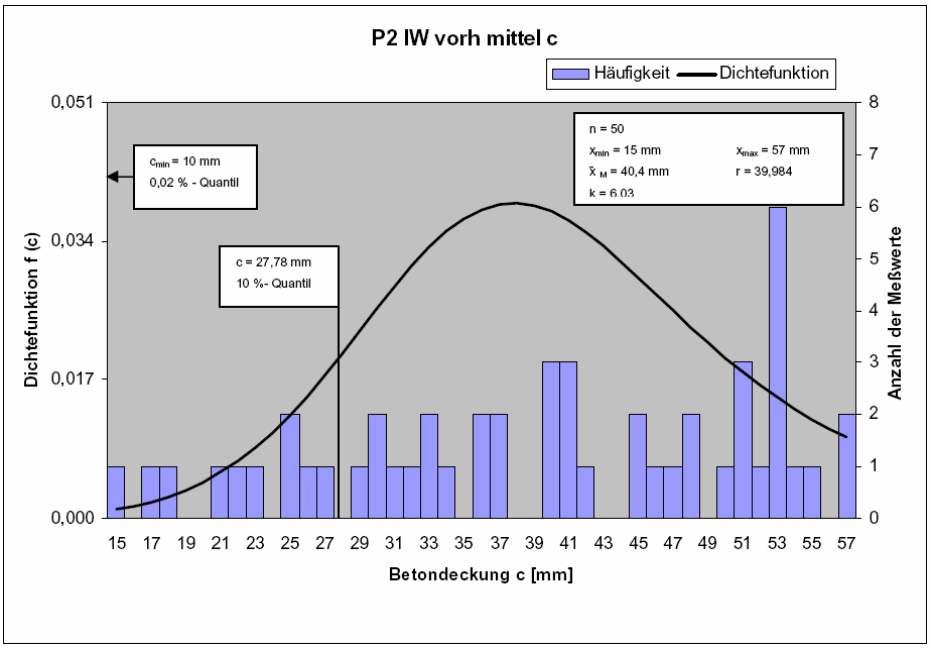


Abb. 22 : Graphische Darstellungen der Häufigkeitsverteilung der vorhandenen mittleren Betondeckung c von 50 Innenwänden der Typenserie P2

MINDESTBETONDECKUNG, ABHÄNGIG VOM STAHLDURCHMESSER DER BETONSTAHLBEWEHRUNG

Die Abhängigkeit der Mindestbetondeckung vom Stahldurchmesser ist bei Spannbetondeckenplatten, Außen- und Innenwänden, sowie Trennwänden erfüllt. Bei schlaff bewehrten Deckenplatten ist die Abhängigkeit der Mindestbetondeckung vom Stahldurchmesser bei insgesamt 5 Elementen nicht erfüllt[62,63]. Bei 40 geprüften Elementen sind es somit 12,5 %, die der Anforderung nicht entsprechen.

PN 36-NO:

Für die Auswertung der Geschoßdecken des Bautyps PN 36-NO wurde ein Datensatz der durchschnittlichen Betondeckung (Messstellenwert) *vorh mittel c* von 24 Elementen am Standort Eggesin erfasst. Die obergrenzenbedingte Aussonderung reduzierte den Satz auf 23 Elemente.

MINDESTBETONDECKUNG, ABHÄNGIG VON DER EXPOSITIONSKLASSE

Expositionsklasse XC 1:

> Für die durchschnittliche Betondeckung (Messstellenwert) *vorh mittel c* ist das 10 %- Quantil mit 0,001 % deutlich erfüllt und der Anforderung Genüge getan. Das 10 %- Quantil liegt hier bei 20,14 mm (s. Abb. 23).

Expositionsklasse XC 4:

> Für den pro Element festgestellten Messstellenwert der Betondeckung *vorh mittel c* wird das 5 %- Quantil mit 70,7% deutlich überschritten, damit ist die Anforderung nicht erfüllt.

---

[62] Mettke, A.; Emig, T.; Thomas, C.: Bauzustandsuntersuchungen an ausgewählten Gebäuden der Typenserie P2 – Standort Weißwasser, Cottbus, 2003, S.28, 31, 35.
[63] Mettke, A.; Thomas, C.: Begutachtung von Elementen der Typenserie P2 sowie einer Kita hinsichtlich ihrer Wiederverwendungseignung am Standort Magdeburg, Cottbus, 2004, S. 20.

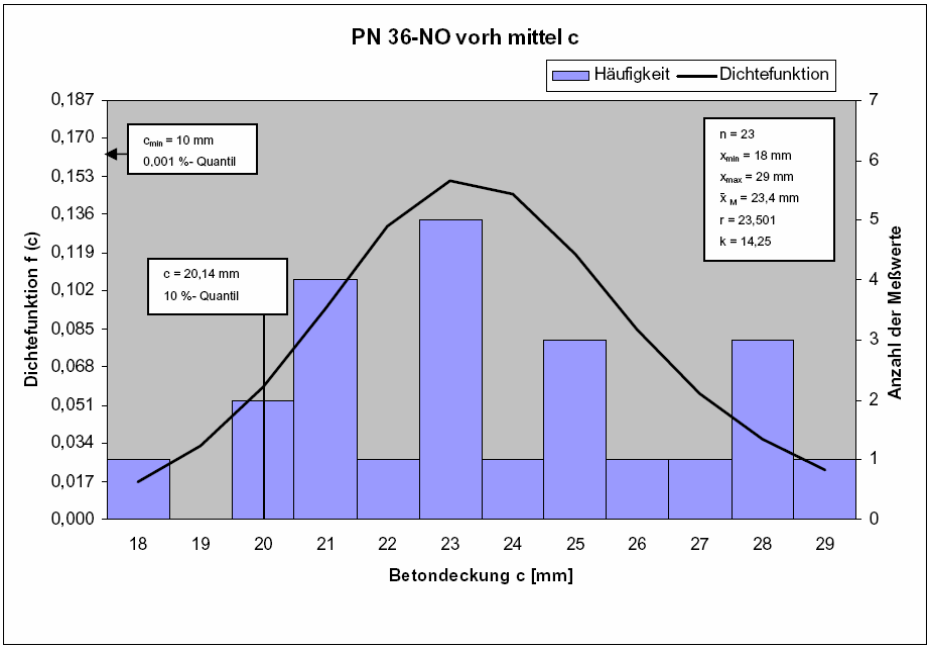


Abb. 23 : Graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung der vorhandenen mittleren Betonfestigkeit c von 23 Geschoßdecken des Bautyps PN 36-NO

Zusammenfassung der Bewertung

Zusammenfassend sind die erzielten Ergebnisse der Untersuchungen zur Betondeckung in nachfolgender Übersicht tabellarisch dargestellt.

Tab. 16: Übersicht der Untersuchungsergebnisse zur Betondeckung

Baureihe	Bauteil	Anforderungen an die Expositionsklasse		Anforderungen zum Stahldurchmesser
		XC 1	XC 4	
WBS 70	Deckenplatte (Spannbeton)	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt
P2	Deckenplatte (Spannbeton)	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt
	Deckenplatte (schlaff bewehrt)	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt
	Innenwand	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt
PN 36-NO	Deckenplatte (schlaff bewehrt)	erfüllt	nicht erfüllt	k.A.

Die Anforderungen an die Betondeckung für die Expositionsklasse XC 1 (Innenbauteil) konnte durch alle ermittelten Messstellenwerte der geprüften Altbetonelemente aller Baureihen erfüllt werden. Die Expositionsklasse XC 4 konnte erwartungsgemäß bei den untersuchten Elementetypen sämtlicher Baureihen nicht erfüllt werden. Um diese als Innenbauteil projektierten Elemente als Außenbauteile mit direkter Beregnung bzw. als Bauteile in Wasserwechselzonen einzusetzen, ist es erforderlich, die Betonoberfläche entsprechend den Nutzungsbedingungen zu behandeln. Siehe dazu Abschnitt 3 Aufarbeitung von Altbetonbauteilen. Die Anforderungen an die Betondeckung in Abhängigkeit vom Stahl-

durchmesser wurden bei 5 schlaff bewehrten Deckenplatten der Typenserie P2 nicht erfüllt. Auch hier sind Aufarbeitungsmaßnahmen für den weiteren Einsatz der Bauteile erforderlich.

Im Vergleich der ermittelten Messstellenwerte der Betondeckung mit den Ergebnissen der Untersuchungen zur Karbonatisierung zeigt sich, dass der vorhandene Karbonatisierungshorizont keines Bauteils die Bewehrungsstähle erreicht hat (vgl. Tab. 17). Somit ist bei keinem der untersuchten Altbetonbauteile der Bewehrungsstahl durch Korrosion gefährdet.

Tab. 17: Vergleich der Untersuchungsergebnisse zur Betondeckung und Karbonatisierung

Baureihe	Bauteil	Betondeckung		Karbonatisierungstiefe		Korrosions-schutz
		Mittelwert	Minimalwert	Mittelwert	Maximalwert	
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	
WBS 70	Deckenplatte (Spannbeton)	28	19	2	18	gegeben
P2	Deckenplatte (Spannbeton)	37	16	0	0	gegeben
	Deckenplatte (schlaff bewehrt)	24	17	0	0	gegeben
	Innenwand	40	15	0	0	gegeben

2.3.3.6 Untersuchungen zur Tragfähigkeit[64]

2.3.3.6.1 Bewertung der auf Biegung beanspruchten Deckenplatten

Der wiederholte Einsatz von Geschossdecken erfordert eine zuverlässige Beurteilung ihrer Tragfähigkeit. Rechnerische Nachweise zur Trag- und Nutzungsfähigkeit sind deshalb zum Teil zusätzlich durch experimentelle Belastungsversuche ergänzt worden. Folgende Altbetonplatten wurden geprüft:

Tab. 18: Überblick über die geprüften Altbetonplatten – rechnerische und experimentelle Nachweise zur Trag- und Nutzungsfähigkeit

	Abmessungen L x B (H) x D [m] (Achsmaße)	**Einsatzort/ Baujahr**	**Elemente-Nr.**
aus der Wohnungsbauserie P2:			
Spannbetondeckenelemente	6,00 x 1,80 x 0,14	Hoyerswerda und Cottbus 1971, Weißwasser 1973, Cottbus 1976	22000 21000 22006
schlaff bewehrte Deckenplatten	4,20 x 1,80 x 0,14 3,60 x 1,80 x 0,14 2,40 x 1,80 x 0,14	Cottbus 1968 bis 1976	21118 21120 21119 21121 23630 21200 23632 23631 23633 21300
tragende Innenwandplatten	3,745 x 2,635 x 0,15	Cottbus 1970	51707 und 10 weitere
aus der Wohnungsbauserie WBS 70:			
Spannbetondeckenelemente	6,00 x 1,80 x 0,14	Dresden-Gorbitz 1980	D 410 D 413
aus der Wohnungsbauserie PN 36-NO:			
schlaff bewehrte Deckenplatten	3,60 x 2,40 x 0,14 3,60 x 2,40 x 0,10	Eggesin 1972 bzw. 1976	G 62 b/A, G 6 A G 81 A
Dachplatten	3,60 x 2,00 x 0,10		D 56 A
tragende Innenwände	4,81 x 2,635 x 0,15		I 77 A, I 78 A

Ausgangswerte für die Nachweise

Die Spannbetondeckenplatten der Bauserien P2 und WBS 70 wurden für „teilweise Vorspannung“ (Spannbeton im Zustand II) projektiert. Die rechnerische Nachprüfung erfolgte durch SCHMIEDEHAUSEN[65] nach DIN 4227-1:1988-07, Bauteile aus Normalbeton mit beschränkter und voller Vorspannung, um zu untersuchen, inwieweit auch eine Einordnung der Deckenplatten für „beschränkte Vorspannung“ (Spannbeton nach Zustand I) möglich ist. Damit wird eine Einordnung in eine höhere Gebrauchswertklasse möglich.

Die experimentellen Nachweise dienen der Überprüfung des Trag- und Verformungsverhaltens von Bauteilen. Besonders bei Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen sind experimentelle Überprüfungen in Ergänzung zu rechnerischen Nachweisen vorteilhaft, weil Rissbeginn und Rissverteilung in der Betonzugzone sowie der Beginn des Stahlfließens in Abhängigkeit vom Verformungsverhalten des Bauteils besser beurteilt werden können. Belastet wurden:

[64] sofern nicht anders angegeben, durchgeführt von Doz. Dr.-Ing.- R. Schmiedehausen, Cottbus.
[65] Dr. Schmiedehausen, R., Ingenieurbüro Cottbus, mehrere Prüfberichte i.A. der FG Bauliches Recycling.

Tab. 19: Im ausgebauten Zustand / offside belastete Deckenplatten

Anzahl	Deckenplatte	Baualter [Jahre]	Elemente-Nr.	Anzahl Spanndrähte [Stck.]	Spannstahlquerschnitt [mm²]	Ermittelte Betondruckfestigkeit an Bohrkernen
in der FMPA Cottbus						
3	Spannbetondecken aus P2	28	22000 2-seitig gelagert	20 St 140/160	40	C 35/45
2	Spannbetondecken aus P2	30	22006 2-seitig gelagert	17 St 140/160	40	C 35/45
4	Stahlbetondecken aus P2	30	21120 bzw. 21121 2-seitig gelagert	St A – I Ø 18, a = 18 cm oder St A – III Ø 10, a = 10 cm		C 40/50
im Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden						
2	Spannbetondecke aus WBS 70	23	D 410 Normalplatte 2-seitig gelagert	18 St 140/160	40	C 60/75
1	Spannbetondecke aus WBS 70	23	D 413 Randplatte 3-seitig gelagert	14 St 140/160	40	C 55/67

Tab. 20: Im eingebauten Zustand / in situ belastete Deckenplatten

Anzahl	Deckenplatte	Baualter [Jahre]	Elemente-Nr.	Anzahl Spanndrähte [Stck.]	Spannstahlquerschnitt [mm²]	Ermittelte Betondruckfestigkeit an Bohrkernen
3	Spannbetondecken P2-Typ	29	21000	16 St 140/160 2-seitig gelagert	40	C 25/30

Zur Zeit der Herstellung der geprüften Spannbetondeckenplatten war ein Beton der Betongüte B 300 nach TGL 11422:1964-03[66]; entspricht nach DIN 1045:1988-07 etwa ein B 25, nach DIN 1045-1 bzw. DIN EN 206-1:2001-07 einer Festigkeitsklasse C 20/25. Nach DIN 4227-1:1988-07[67] ist für vorgespannte Betonbauteile mit sofortigem Verbund mindestens ein B 35 (C 30/37) zu verwenden. Diese Anforderung ist auch nach neuer DIN 1045 zu erfüllen (vgl. auch Tab. 19).

Nach den Traglastversuchen wurden zur Bestimmung der vorhandenen Betonfestigkeiten in auflagernahen ungestörten Bereichen Kernbohrungen mit Durchmesser rund 100 mm entnommen und nach DIN 1048-2:1999-06[68] bestimmt (vgl. Abschn. 2.3.3.1).

Die Druckfestigkeitsprüfungen bspw. der Deckenplatten 22 000/1-3 ergeben einen Beton der Festigkeitsklasse B 45 (C 35/45), die Deckenplatten D 410/1-3 wiesen sogar Festigkeiten von 73,0 bis 83,2 N/mm² auf, die der Elementenummer 413/1-3 60,0 bis 66,9 N/mm² (entspricht C 60/75 bzw. C 55/67).

[66] TGL 11422: 1964-03 Bauwerke und Fertigteile aus Beton und Stahlbeton; Berechnungsgrundlagen, Traglastverfahren.
[67] DIN 4227-1; 1988-07 wurde durch DIN 1045-1: 2001-07 (verbindlich seit 01.01.2005) ersetzt. Die Anforderungen an die Betonbauteile mit sofortigem Verbund hinsichtlich der Mindestbetondruckfestigkeit sind unverändert.
[68] DIN 1048-2: 1999-06 Prüfverfahren für Beton; Festbeton in Bauwerken und Bauteilen.

Aus diesem Grund sowie den vorangegangenen Untersuchungen (in allen Fällen wurden ausreichende Betonfestigkeiten erzielt, vgl. Abschn. 2.3.3.1) wurde der rechnerische Nachweis durch SCHMIEDEHAUSEN[69] mit B 35 bzw. C 30/37 geführt.

Die Spannbetonplatten wurden elektrothermisch vorgespannt und mittels Schrumpfmantel-Endverankerung, ab etwa 1980 mittels Stauchkopf in der Spannform verankert. Für die nach dem Abkühlen der Spanndrähte entstehende Stahlspannung (= Spannbettspannung) wurde grundsätzlich mit 800 N/mm²< 1.040 N/mm² zul. gerechnet. Der rechnerische Spannungsabfall infolge Kriechen und Schwinden ist mit t = ∞ eingegangen. Einzelheiten der Berechnungen sind dem Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“[70] entnehmbar.

Der rechnerische Nachweis an schlaff bewehrten Deckenplatten der 1972 bzw. 1976 errichteten Wohnungsbauserie PN 36-NO erfolgte an der Geschossdecke G 62 b/A, G 6 A und der Drempeldecke G 81 A (Abmaße s. Tab. 18). Die Elemente wurden für die Betongüteklasse B 160 und Betonstahlklasse St A-I projektiert. Für die Nachrechnung wurde B 15/BSt I angesetzt.[71] Des Weiteren wurden schlaff bewehrte Deckenplatten aus der Typenserie P2 untersucht (vgl. Tab. 19). In Abhängigkeit vom Baujahr kamen entweder Betonstahl A-I, glatter Rundstahl oder A-III, gerippter Rundstahl, zum Einsatz. Sie wurden in B 225 lt. Projektierung hergestellt (~ C20/25). Anhand von Bohrkernen wurde bei der Druckfestigkeitsprüfung der DP 21121 ein C 40/50 festgestellt.

Die Zusammenstellung der Lasten (Einwirkungen), die auf das jeweilige Deckenelement wirken (Eigenlast, Verkehrslast), ist nachstehender Tab. 21 entnehmbar.

Tab. 21: Lastannahmen

Lastannahmen	**22000**	**21000, 22006, D 410, D 413**	**21120, 21121**	**G 6 A G 62 b/A**	**G 81 A**
Eigenlast g					
14 cm Spannbeton 0,14 m x 25 kN/m³	3,50 kN/m²	3,50 kN/m²			
14 cm Stahlbeton 0,14 m x 25 kN/m³			3,50 kN/m²	3,50 kN/m²	
10 cm Stahlbeton 0,10m x 25 kN/m³					2,50 kN/m²
zusätzliche Eigenlast g1					
Dämmschicht, Folie, Estrich, Belag	1,00 kN/m²	1,00 kN/m²		1,60 kN/m² (inkl. Putz)	0,10 kN/m²
Dämmschicht, Belag, Fliesen in Küche – Bad – Bereich			2,00 kN/m²		
Gesamt g	**4,50 kN/m²**	**4,50 kN/m²**	**5,50 kN/m²**	**5,10 kN/m²**	**2,60 kN/m²**

[69] Dr. Schmiedehausen, R.; Ingenieurbüro Tragwerksplanung, Cottbus (s. FN 51).
[70] Schmiedehausen, R.: Was sind gebrauchte Betonfertigteile eigentlich heute noch wert?, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, BTU Cottbus, 2005 und Prüfbericht: Rechnerische und experimentelle Untersuchungen für P2-Spannbetondeckenplatten 22006 und P2-Stahlbetondeckenplatten 21120 und 21121, BTU Cottbus, 2006.
[71] Schmiedehausen, Rudolf: Rechnerische Nachweise für ausgewählte Dachplatten, Deckenplatten und Wandfertigteile von Wohngebäuden des Typs PN 36-NO, Prüfbericht i.A. der FG Bauliches Recycling, 2001.

Lastannahmen	22000	21000, 22006, D 410, D 413	21120, 21121	G 6 A G 62 b/A	G 81 A
Verkehrslast p [DIN 1055-3: 1971-06] für Wohnräume mit ausreichender Querverteilung der Lasten	1,50 kN/m²	1,50 kN/m²	1,50 kN/m²	1,50 kN/m²	1,00 kN/m² (Drempel bekriechbar)
Zuschlag ∆ p für unbelastete leichte Trennwände mit g ≤ 150 kg/m² g ≤ 100 kg/m² Gw (Wand querstehend zur Tragrichtung)	1,25 kN/m²	0,75 kN/m²	4,66 kN/m	1,25 kN/m² 0,75 kN/m²	
Gesamt p	**2,75 kN/m²**	**2,25 kN/m²**			**1,00 kN/m²**
Gesamt q	**7,25 kN/m²**	**6,75 kN/m²**	**10,00 kN/m²**		**3,60 kN/m²**
Bemessung erfolgte auf der Grundlage des Traglastverfahrens TGL 11422 (Okt. 1961 bzw. März 1964); neu DIN 1045-1: 2001-07					

2.3.3.6.1.1 Ergebnisse der rechnerischen Nachweise

Die Ergebnisse stellen sich zusammengefasst wie folgt dar[72]:

Tab. 22: Spannbetondecken – Ergebnisse der rechnerischen Nachweise zur Tragfähigkeit

	Elemente-Nr.	21000	22000	22006	D 410	$\delta_{b,zul.}$
	Spannstähle Anzahl	**16**	**20**	**17**	**18**	
1	Betonspannungen infolge g + V + KS + g_1 + p [N/mm²]					
	In Plattenmitte Druck (oben) Zug (unten)	7,2 3,69	6,9 2,6	7,12 3,25	7,11 3,2	14 3,5
2	Betonspannungen infolge g + V + KS + g_1 + p + Δp [N/mm²]					
	In Plattenmitte Druck (oben) Zug (unten)	8,2 4,7	8,7 4,4	8,12 4,23	8,1 4,17	14 3,5
3	Betonspannungen infolge g + V [N/mm²]					
	Am Auflager Druck (unten) Zug (oben)	4,9 0,9	6,1 1,1	5,16 0,95	5,46 1,0	17 3,5
4	Stahlspannungen infolge Gesamtlast einschl. KS [N/mm²]					$\delta_{e,zul.}$
		681	671	729	684 rechn. 625 gemessen	< 880; 800

Die zulässigen Betonspannungen gelten für B 35 (C 30/37) wie messtechnisch nachgewiesen wurde.

Die zulässigen Betonspannungen gemäß Nachweis für „beschränkte Vorspannung“ werden bei den hier untersuchten Spannbetonplatten bei voller Belastung leicht überschritten (s. Tab. 22, Zeile 2). Die

[72] Zusammenfassung der Ergebnisse aus mehreren Prüfberichte von Dr. Schmiedehausen, R.; Ingenieurbüro Tragwerksplanung, Cottbus.

Stahlspannungen liegen im zulässigen Bereich (s. Tab. 22, Zeile 4). Die Forderungen zur Sicherung der Gebrauchsfähigkeit und Dauerhaftigkeit der Platten werden durch die zusätzlich zur Spannstahlbewehrung vorhandene schlaffe Rundstahlbewehrung zur Beschränkung der Rissbreiten erfüllt.

Die geringfügige Überschreitung der zulässigen Betonzugspannungen wird als nicht bedenklich eingeschätzt, da eine Wiederverwendung der Deckenplatten im Innern der Gebäude eine Korrosionsgefährdung praktisch ausschließt.

Gemäß dem Nachweis der rechnerischen Bruchsicherheit durch SCHMIEDEHAUSEN[73] wurde weiter ermittelt, dass infolge der 1,75-fachen Summe aller äußeren Lasten (ohne Trennwandzuschlag) die vorhandene Bewehrung ausreicht. Wird der Trennwandzuschlag mit eingerechnet, reicht die vorhandene Bewehrung nicht ganz aus. Ausgenommen ist die 3-seitig gelagerte Platte D 413. Sie erfüllt alle Anforderungen, auch die der rechnerischen Bruchsicherheit. Die darüber hinaus geführten Zusatznachweise für Hauptspannung, rechnerische Rissbreitenbeschränkung, Spanngliedverbund, Spaltzugwirkung im Krafteinleitungsbereich, Verankerung der Spanndrähte und Zugkraftdeckung, Nachprüfung der Freiheit von Biegezug- und Schubrissen, der Spaltzug- bzw. Stirnzugbewehrung und Plattendurchbiegung ergeben keine Einschränkungen für ihre Wiederverwendung.

Diese Bewertung gilt auch für folgende Deckenplatten:

Tab. 23: Deckenplatten im Geltungsbereich der Bewertung

Elementenummer	Spannstahl A_z [cm²]	Zul. Biegemoment M_q [kNm/Platte]
21000	6,4	49,0
22000	8,0	58,0
22001	8,0	58,0
22003	8,0	58,0
22031	8,0	58,0
22006	6,8	52,0
21009	10,0	72,0
21018	10,0	72,0
21019	10,0	72,0
21039	10,0	72,0
22007	9,2	66,0
22008	9,2	66,0
D 410	7,2	55,0

Für andere geringer bewehrte Deckenplatten muss eine Nachprüfung veranlasst werden.

[73] vgl. Schmiedehausen, R.: Was sind gebrauchte Betonfertigteile eigentlich heute noch wert? in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, 2005, S. 147.

Tab. 24: Bewertung der Tragfähigkeit ausgewählter Stahlbetondeckenplatten nach DIN 1045-1

Deckenplatte Elem.-Nr.	Tragbewehrung ausreichend		Tragbewehrung nicht ausreichend
	StA-III	StA-I	StA-I
21 118 21 119	X X	X X	
23 630 23 632	X X	X X	
21 120 21 121	X X		X X
21 200 21 300 23 631 23 633	X X X X	X X X	X

Die Untersuchungen an den Deckenplatten der Elemente-Nr. 21118, 21119, 21300, 23630, 23632, 23631, 23633 ergibt, dass die vorhandene Tragbewehrung in allen Fällen den Anforderungen nach DIN 1045-1 entsprechen. Die Deckenplatten Elemente-Nr. 21120, 21121 und 21200 erfüllen ebenfalls alle Anforderungen nach DIN 1045-1 im Falle der Verwendung von StA-III. Nur im Falle der mit Betonstahl StA-I bewehrten Platten ergibt sich für die Tragbewehrung ein Fehlbetrag von 4% bei Elemente-Nr. 21120 und 21121. Die Platte der Elemente-Nr. 21200 weist einen Fehlbetrag von 10% auf. Dies gilt jedoch nur für den ungünstigen Fall des Ansatzes von $б_s$=220 N/mm². Wird für STA-I als Streckgrenze $б_s$=240 N/mm² angesetzt, so ist die vorhandene Tragbewehrung ausreichend.

Nach DIN 1045-1 soll die Querbewehrung (=Verteilerbewehrung) 20% des Querschnittes der Tragbewehrung betragen. Die bei der Bauerrichtung gültige TGL 11422:1961-10 hingegen weist aus, dass 10% ausreichend sind.

Da es sich im vorliegenden Fall um einachsig bewehrte Platten handelt, erfüllt die Querbewehrung in erster Linie konstruktive Funktionen. Deshalb sollten für die Wiederverwendung der Deckenplatten wegen der geringeren Querbewehrung keine Einschränkungen auferlegt werden.

2.3.3.6.1.2 Ergebnisse der Experimentellen Überprüfung des Tragverhaltens

In Zusammenarbeit mit Dr. Schmiedehausen, bauvorlageberechtigter beratender Ingenieur, Herrn Petke, Forschungs- und Materialprüfanstalt (FMPA) der BTU Cottbus und beratend durch Dr. Jonigkeit, Prüfingenieur[74], werden hier exemplarisch die in 2006 absolvierten Traglastversuche erläutert.

In der Zeit von Juni bis September 2006 wurden zwei Spannbetonplatten und vier schlaff bewehrte Deckenplatten vom Gebäudetyp P2 im Beisein weiterer zugelassener Prüfingenieure - wie soeben genannt - sowie bauvorlageberechtigter Tragwerksplaner, Fachkollegen und Interessierter geprüft. Die Elemente stammen aus einem 11-geschossigen 1976 errichteten Spendergebäude aus dem Ortsteil Sachsendorf-Madlow in Cottbus. Nach einer zwei- bis fünf-monatigen Zwischenlagerung im Außenbereich der FMPA (vgl. Abb. 24) erfolgten die Belastungsversuche im Technikum. Die experimentelle Überprüfung des Tragverhaltens erfolgte unter anhaltsweiser Anwendung der DIN EN 1356:1997-2.

[74] Dr. Jonigkeit, L., Prüfingenieur für Bautechnik, VPI Cottbus.

Es stand eine 1000 kN-Prüfzylinderanlage mit elektronischer Steuerung der Genauigkeitsklasse 1 zur Verfügung.

Spannbetondeckenplatten

Die Eckdaten der Spannbetondeckenplatte 22006 sind der Tab. 19 zu entnehmen. Die Platte wies keine Beschädigungen auf, mit Ausnahme demontagebedingter geringfügiger Abplatzungen an den Plattenlängsrändern (s. Abb. 24).

Abb. 24 : Zwischengelagerte Deckenplatten im Außenbereich

Die Belastungsanordnung ist nachstehender Abb. 25 zu entnehmen:

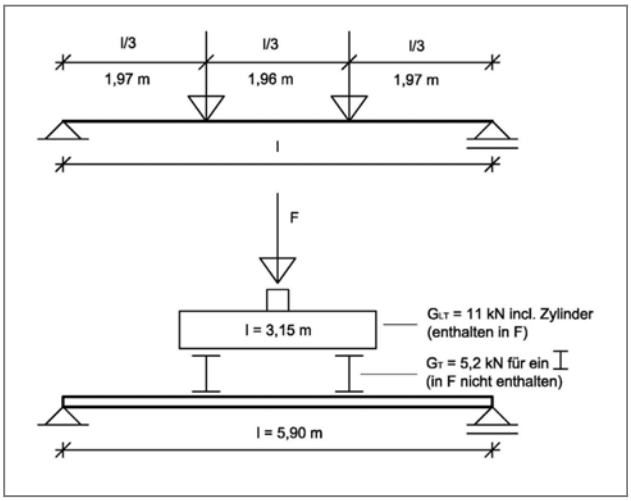


Abb. 25 : Belastungsanordnung und Einrichtung Spannbetondeckenplatte 22 006 (li.) und Versuchseinrichtung (re.)

Für die Spannbetondeckenplatte 22 006 beträgt lt. Katalog das zulässige Biegemoment

M_q= 52 kNm/Platte

Biegemomente $M_g = 3{,}5\ kN/m^2 \cdot 1{,}8\ m \cdot \frac{5{,}9m}{3} = 27{,}41\ kNm/Platte$

Folglich ergibt sich

M_p=52 kNm/Platte – 27,41kNm/Platte = 24,59 kNm/Platte $\approx$24,6 kNm/Platte

Es wird je F/2 = 24,59 kNm/Platte $\diagup \frac{5{,}9\text{m}}{3}$ = 12,5 kN

Res. Kraft $F = 2 \cdot (\frac{F}{2} - G_T)$

F = 2 · (12,5 kN – 5,2 kN) = <u>14,6 kN</u>

Mit dem Abstand der Lasteintragungspunkte bei 1/3 von den Auflagern resultieren zur Eintragung des Biegemoments aus Verkehrslast M_p=24,6 kNm/Platte die beiden Einzellasten mit 12,5 kN. Die Eigenlast der beiden Lasteintragungsträger von je G_T=5,2 kN ist hierbei enthalten. Durch die Prüfzylinderanlage wird folglich die resultierende Kraft $F=2 \cdot (\frac{F}{2} - G_T)$ eingetragen. Das zulässige Biegemoment aus Verkehrslast M_p=24,6 kNm wird bei F=14,6 kN erreicht.[75]

Die Lasteintragung wird simuliert, in dem die Kraft über eine Traverse und zwei steife Stahlprofile eingeleitet wird. Diese reichen über die gesamte Breite der Deckenplatte. Die Lage der Krafteinleitungslinien und Messstellen zur Untersuchung des Tragverhaltens ist in Abb. 26 wiedergegeben.

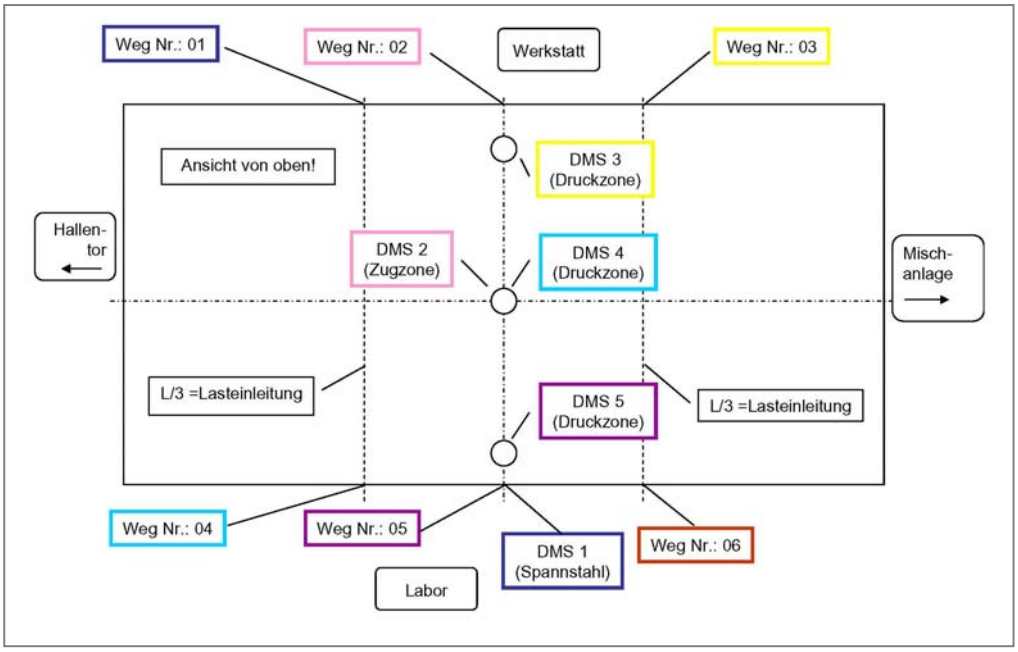


Abb. 26 : Lage der Krafteinleitungslinien und Messstellen zur Untersuchung des Tragverhaltens

Die Durchbiegung der Platte wurde an drei Stellen je Plattenlängsrand (Weg Nr. 01 - 03 und 04 - 06) gemessen. Die Betonstauchung wurde an drei Messpunkten in Feldmitte (DMS 3 - 5) ermittelt. Zur Erfassung der Betondehnung wurde in der Zugzone der Dehnmessstreifen DMS 2 angebracht (Abb. 27, li.). Etwa in Feldmitte wurde die Dehnung des Spannstahls (DMS 1) unter Lasteinwirkung erfasst. Dazu war es erforderlich, den Plattenlängsrand zu öffnen (s. Abb. 27, mi.). Zur Prüfung evtl. Quer-

[75] Schmiedehausen, R.: Rechnerische und experimentelle Untersuchungen für Spannbetondeckenplatten des P2-Wohnungbaus, Elemente-Nr. 22006, Prüfbericht i.A. der FG Bauliches Recycling vom 08.08.2006.

kraftspannungen wurden im Auflagerbereich der Deckenlängsseiten Dehnmessstreifen in Form einer Rosette geklebt (Abb. 27, re.).

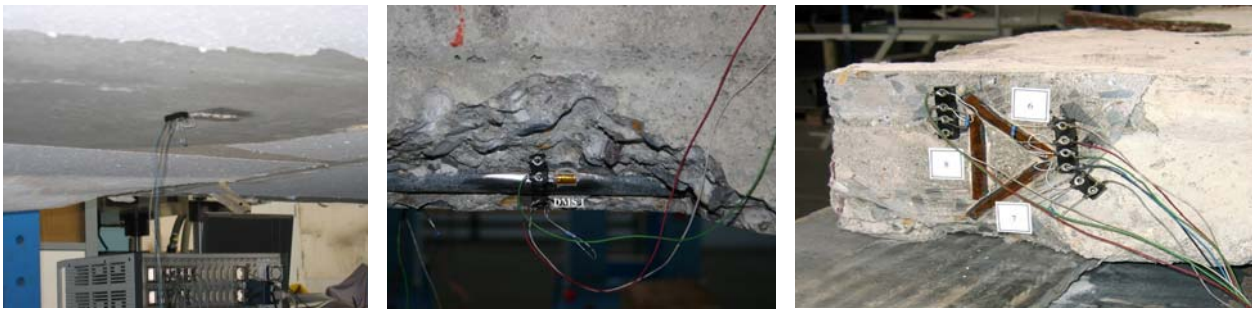


Abb. 27 : Dehnmessstreifen in der Zugzone (li.); freigelegter Bereich zur Ermittlung der Dehnung des Spannstahles unter Lasteinwirkung (mi.); Messung der Querkraftspannung (re.)

Durchführung der Prüfung

Aus dem Last-Zeit-Diagramm (s. Abb. 28) ist ersichtlich, dass auf jegliche Zwischenentlastungen verzichtet wurde. Da in vorangegangenen eigenen Untersuchungen nachgewiesen wurde, dass Spannbetondeckenplatten wegen ihres besonders günstigen elastischen Verhaltens bei Entlastung in die Ausgangslage zurückfedern, solange die vorher aufgebrachte Belastung die 1,5- bis 1,7-fache Gebrauchslast nicht überschreiten.[76]

Folgende Zeitintervalle wurden je Laststufe festgelegt:

- Aufbringen der Last 120 Sekunden
- Konstanthalten der Last 180 Sekunden

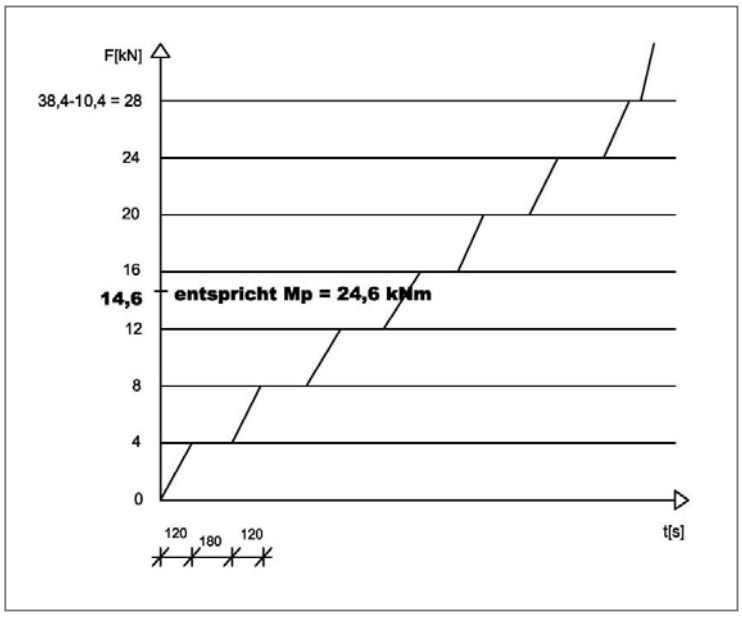


Abb. 28 : Last-Zeit-Diagramm, anlehnend an DIN EN 1356: 1997-2

[76] vgl. Mettke, A.: Rückbau von Plattenbauten – Wieder- und Weiterverwendbarkeit gebrauchter Betonbauteile, in: Holschemacher (Hrsg.) Stahlbetonplatten, 2005, S. 74ff.; Schmiedehausen, R.: Rechnerische und experimentelle Untersuchungen für Spannbetondeckenplatten des P2-Wohnungbaus, Elemente-Nr. 22006, Prüfbericht vom 08.08.2006.

Versuchsergebnisse

Die wesentlichen Ergebnisse stellen sich anhand von zwei untersuchten Deckenplatten wie folgt dar:

- Durchbiegung

Bei den Belastungsversuchen wurde anhand der Durchbiegungsentwicklung eine nahezu lineare Abhängigkeit zwischen Last und Verformung festgestellt. Diese Proportionalität blieb bei der Spannbetondecke 1 bei Laststeigerungen etwa bis zur 1,5fachen Gebrauchslast (s. Abb. 27), bei der Spannbetondeckenplatte 2 mindestens bis zur 2-fachen Gebrauchslast erhalten. Erst bei weiteren Laststeigerungen wuchsen die Verformungen überproportional.

Die rechnerisch ermittelte Durchbiegung durch SCHMIEDEHAUSEN infolge Gesamtlast beträgt in Feldmitte näherungsweise f ≈ 6mm. Die Verminderung der Vorspannung durch Kriechen und Schwinden ist hierbei berücksichtigt. Der experimentell ermittelte Wert beträgt f ≈ 4mm.

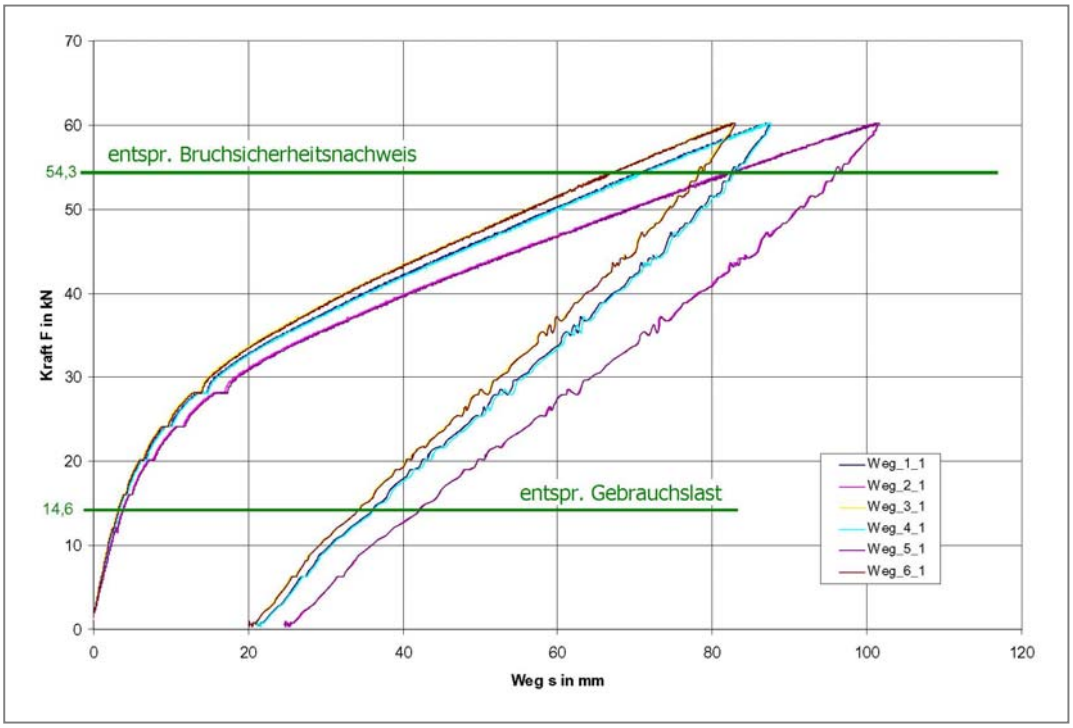


Abb. 29 : Kraft-Weg-Diagramm Spannbetondeckenplatte 1, Elemente-Nr. 22006

- Betonstauchung und Stahldehnung

Auch bei den Betonverformungen in der Druckzone ist eine nahezu lineare Abhängigkeit von der Belastung feststellbar:

- bei Spannbetondecke 1: etwa bis zur 1,5-fachen Gebrauchslast (s. Abb. 29),
- bei Spannbetondecke 2: mindestens bis zur 2-fachen Gebrauchslast.

Bei der Last von F=54,3 kN, die dem rechnerischen Bruchsicherheitsnachweis entspricht, beträgt die gemessene Betonstauchung maximal 1,2 ‰ und ist damit wesentlich kleiner als 3,5 ‰. Deshalb ist ein Versagen der Betondruckzone ausgeschlossen.

Die Betonverformungen der Betonzugzone (= Dehnungen) sind im Gebrauchslastzustand (Prüflast F=14,6 kN) bei beiden Spannbetonplatten mit max. 0,1 ‰ sehr gering (entspr. einer Betonzugspannung von ~ 3 N/mm²). Folglich bleibt die Betonzugzone im Gebrauchslastzustand rissfrei.

Die Spannstahldeckung wurde unter Wirkung der den rechnerischen Bruchsicherheitsnachweis ersetzenden Prüflast F = 54,3 kN mit max. = 2,5 ‰ gemessen. Unter Hinzuziehung der rechnerischen Spannstahlvordehnung nach Abschluss von Kriechen und Schwinden von 3,56 ‰ ergibt sich die gesamte Spannstahldehnung zu ~ 6,1‰. Die Streckgrenze des verwendeten Spannstahles St 1400/1600 wird demzufolge nicht ausgelastet.

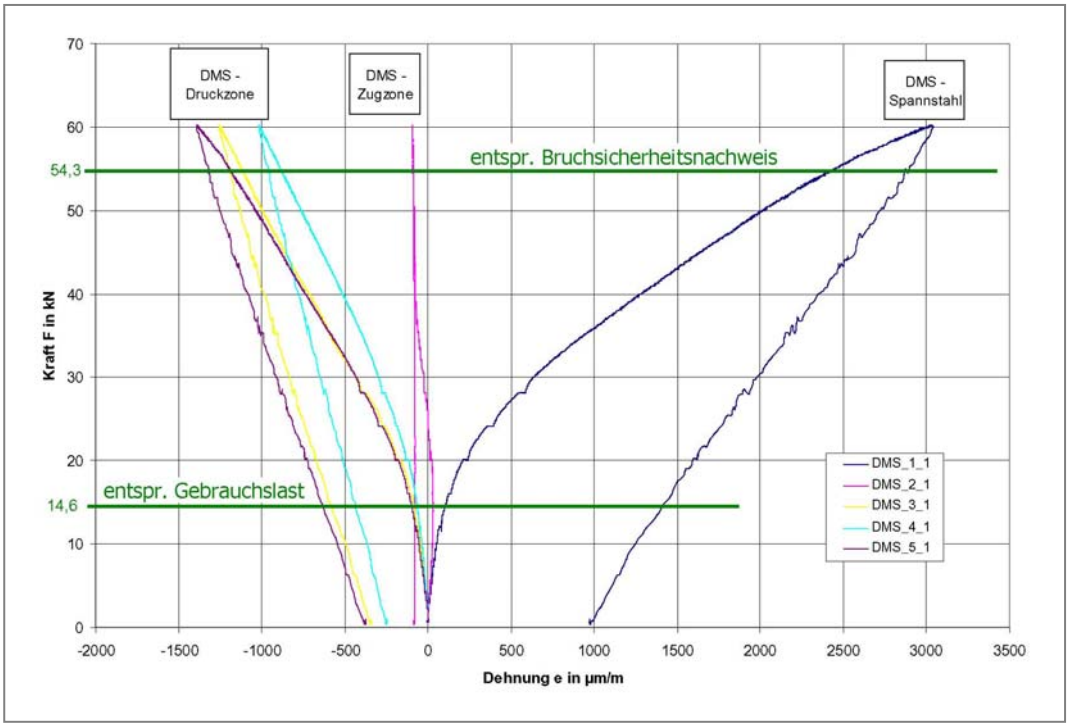


Abb. 30 : Kraft-Dehnungs-Diagramm Spannbetondecke 1, Elemente-Nr. 22006

FAZIT: Ein Versagen der Platten stellte sich weder in der Betondruckzone noch durch Stahlfließen ein. Dies wird mit der das rechnerische Bruchmoment ersetzenden Prüflast F = 54,3 kN dokumentiert. Nach Entlastung reduzierten sich die bei F=54,3 kN entstandenen Durchbiegungen auf etwa 25%. Diese Feststellung ist gleichzeitig auch Beweis für die hohe Elastizität der Spannstähle und den ausgezeichneten Haftverbund zwischen Stahl und Beton. Diese und vorangegangene eigene Untersuchungen belegen, dass es keine Gebrauchswerteinschränkung gibt. Es bestehen keine Bedenken gegen die Wiederverwendung der Spannbetondeckenplatten.[77]

[77] Hinweis: Die Traglastversuche sind in einem Video dokumentiert worden. Das Video wurde in Regie von Mettke, A. unter Mitwirkung der Medienwerkstatt der BTU Cottbus produziert.

Schlaff bewehrte Deckenplatten

Die Belastungsanordnung ist nachstehend abgebildet (Abb. 31):

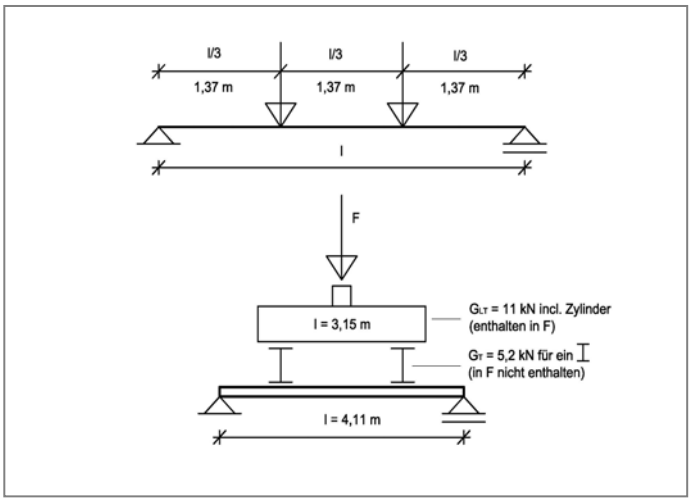


Abb. 31 : Kraft-Dehnungs-Diagramm Spannbetondecke 1, Elemente-Nr. 22006

$M_q = \frac{10 \cdot 4{,}11^2}{8} \cdot 1{,}8 = 38{,}0$ kNm/Platte

$M_q = 21{,}12$ kNm/m

Eigenlast $= 0{,}14 \cdot 25 = 3{,}50$ kN/m²

Fußboden $= 1{,}50$ kN/m²

Verkehrslast $= 5{,}00$ kN/m²

q $= 10{,}00$ kN/m²

$M_g = \frac{3{,}5 \cdot 4{,}11^2}{8} \cdot 1{,}8 = 13{,}30$ kNm/Platte

folglich

$M_p = 38{,}0 - 13{,}3 = 24{,}7$ kNm/Platte

Es wirkt je

$F/2 = 24{,}7 \,/\, \frac{4{,}11}{3} = 18{,}03$ kN

res. Kraft

$F = 2 \cdot \left(\frac{F}{2} - G_T \right)$

$F = 2 \cdot (18{,}03 - 5{,}2) = 25{,}66$ kN

folglich

$M_p = \frac{4{,}11}{3} \cdot (12{,}83 + 5{,}2) = 24{,}70$ kNm/Platte

Mit dem Abstand der Lasteintragungspunkte bei l/3 von den Auflagern werden zur Eintragung des Biegemomentes aus Verkehrslast Mp = 24,7 kNm/Platte die beiden Einzellasten
je F/2 = 24,7 / 1,37 = 18,03 kN

Die Eigenlast der beiden Lasteintragungsträger von je GT = 5,2 kN ist hierbei enthalten.
Durch die Prüfzylinderanlage wird folglich die resultierende Kraft F = 2 · (F/2 – GT) eingetragen.
Das zulässige Biegemoment aus Verkehrslast

M_p = 24,7 kNm wird bei F = 25,66 kN erreicht.
M_p = (25,66 + 10,4) · 0,5 · 4,11/3 = 24,7 kNm

Gemäß nachstehendem Last-Zeit-Diagramm (Abb. 32) erfolgte die Belastung. Die Lage der Krafteinleitungs- und Messstellen ist analog der Spannbetondeckenplatte (vgl. Abb. 26).

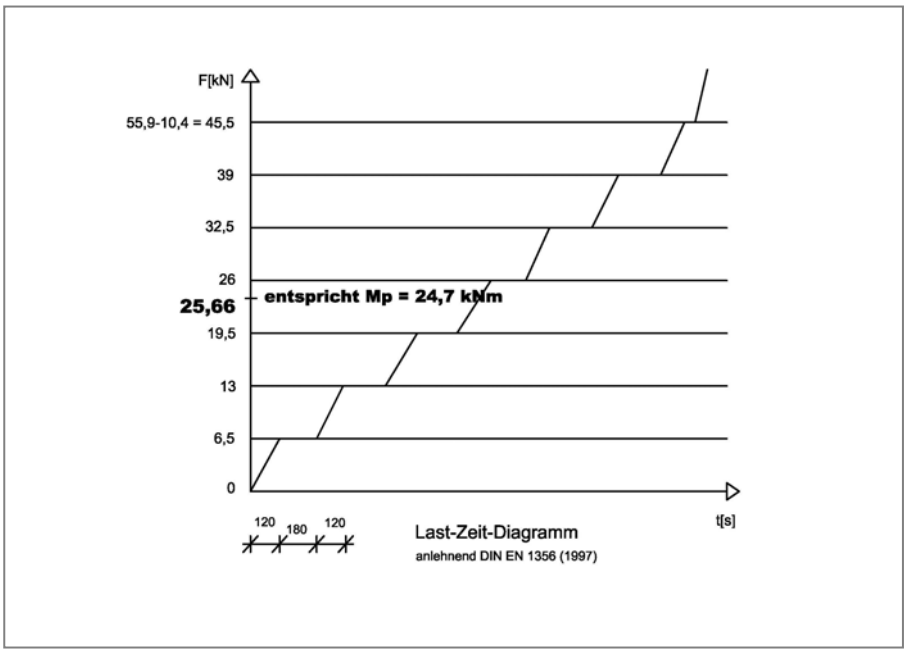


Abb. 32 : Last-Zeit-Diagramm anlehnend an DIN EN 1356: 1997-02

Versuchsergebnisse[78]

Die Ergebnisse stellen sich wie folgt dar:

- Durchbiegung

Die gemessenen Durchbiegungen sind bei Wirkung der den Gebrauchslastzustand ersetzenden Last von F = 25,66 kN mit max. 6 mm sehr gering.

Die zulässige Durchbiegung von ℓ/250 = 411/250 = 1,64 cm bzw.
ℓ/500 = 411/500 = 0,82 cm (im Hinblick auf Trennwände)

wird demnach nicht überschritten.

[78] Schmiedehausen, R.: Rechnerische und experimentelle Untersuchungen für Stahlbetondeckenplatten des P2-Wohnungsbaus, El.-Nr. 21120 und 21121, Prüfbericht i.A. FG Bauliches Recycling vom 02.10.2006.

0,82 cm wurde bei Deckenplatte DP 1 und 2 erst bei doppelter Gebrauchslast,

bei DP 3 erst bei 1,4-facher Gebrauchslast (=36 kN),
bei DP 4 erst bei 1,5-facher Gebrauchslast (=39 kN)

erreicht.

Außerdem beweisen die Versuchsergebnisse auch hier wiederum eine lineare Abhängigkeit zwischen Belastung und Durchbiegung, die mindestens bis zur 2,5-fachen Gebrauchslast erhalten bleibt (s. Abb. 33). Gleiches gilt für die Stahldehnungen sowie die Verformungen des Betons in der Druck- und Zugzone (s. Abb. 34).

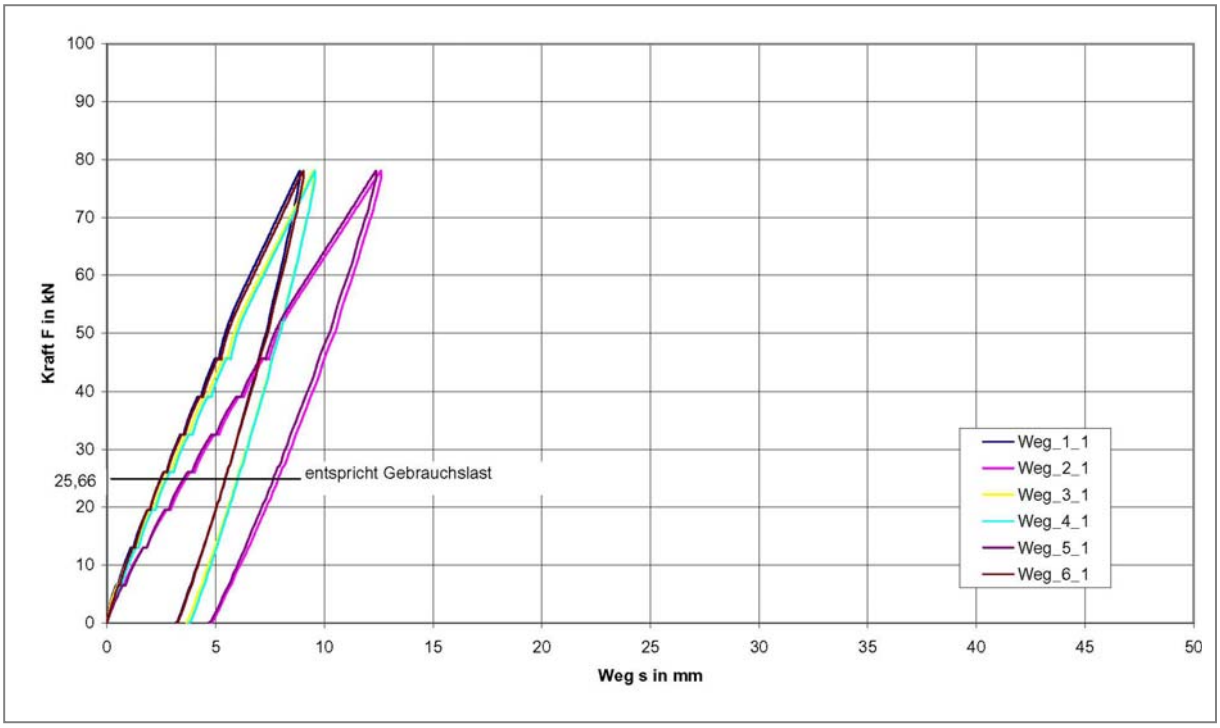


Abb. 33 : Kraft-Weg-Diagramm Stahlbetondecke 2, Elemente-Nr. 21 120

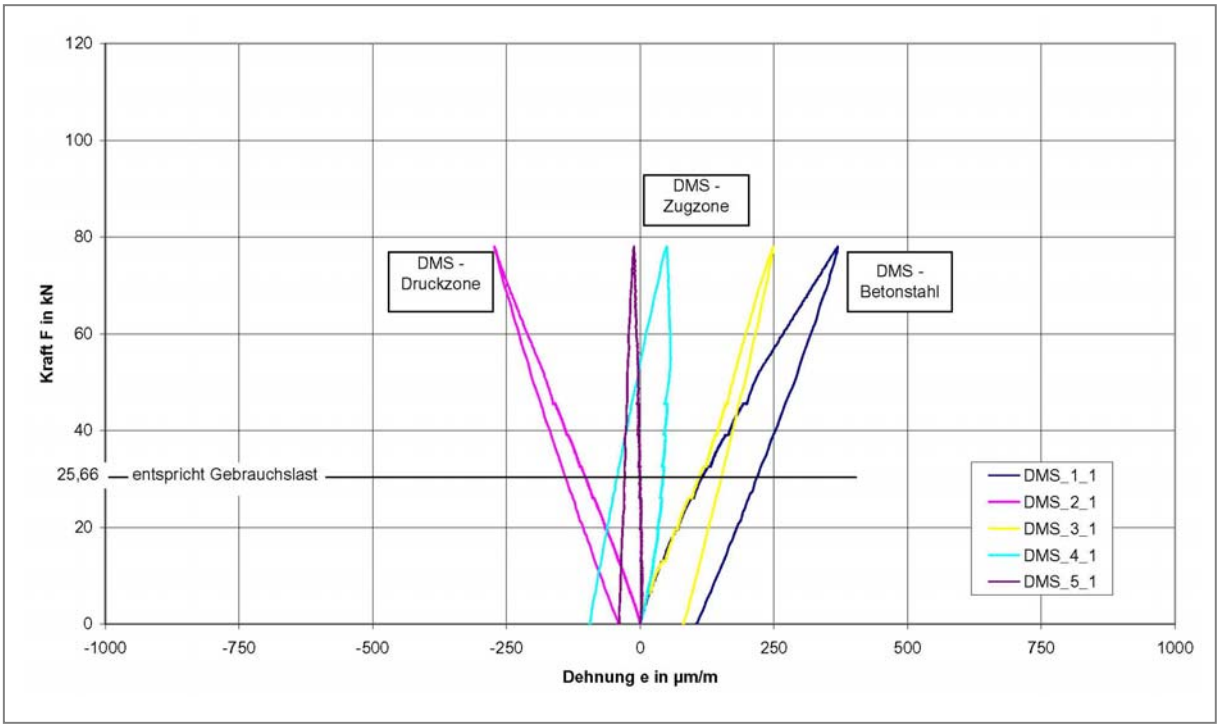


Abb. 34 : Kraft-Dehnungs-Diagramm Stahlbetondecke 2, Elemente-Nr. 21 120

Bei DP 3 wurde die Belastung bis auf über F=125 kN (entspricht etwa der 6-fachen Gebrauchslast) gesteigert. Eine überproportionale Durchbiegungszunahme zeigte sich erst ab F=75kN (vgl. Abb. 35). Gleichzeitig ergab sich erst jetzt eine überproportionale Zunahme der Stahldehnungen (vgl. Abb. 36). Gekoppelt mit dem ausgeprägten Stahlfließen stellte sich die Durchbiegung bei F≈ 135 kN zu etwa 130 mm ein. Nach Entlastung wurde eine bleibende Durchbiegung von 100 mm gemessen.

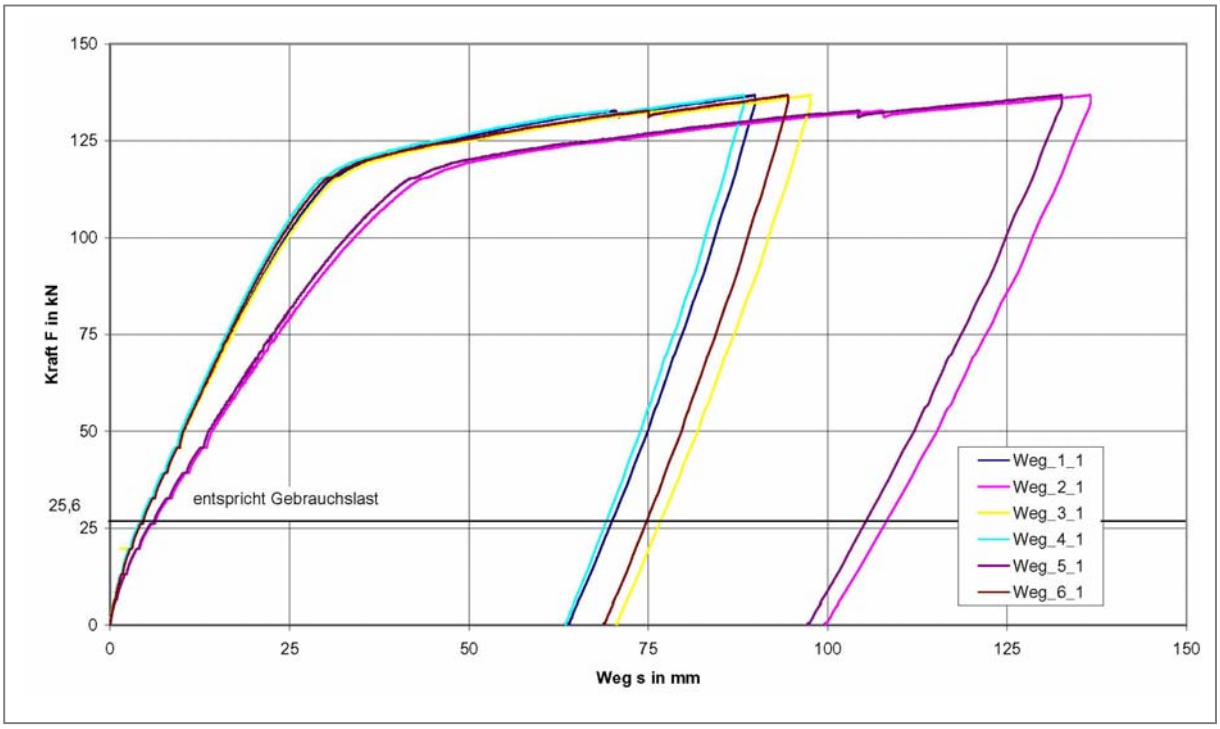


Abb. 35 : Kraft-Weg-Diagramm Stahlbetondecke 3, Elemente-Nr. 21 120

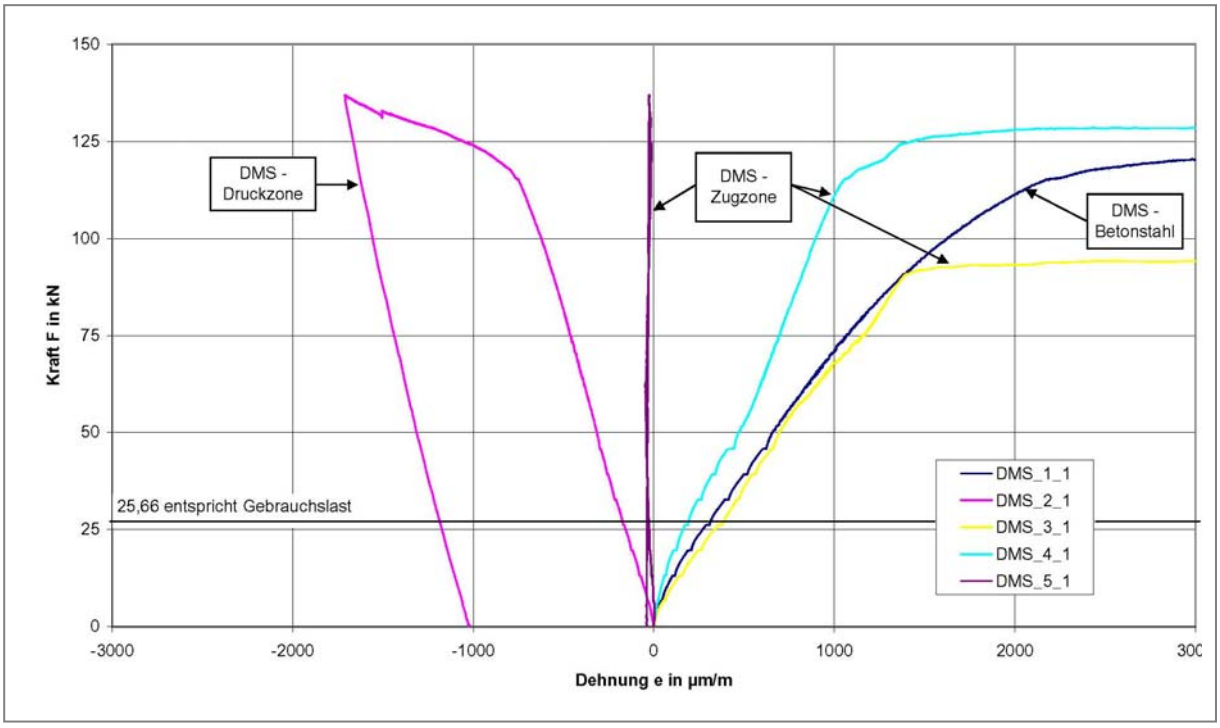


Abb. 36 : Kraft-Dehnungs-Diagramm Stahlbetondecke 3, Elemente-Nr. 21 120

Die Deckenplatten versagten weder in der Betondruckzone noch durch Stahlfließen. In der Betonzugzone entwickelte sich ein typisches Biegerissbild mit gleichmäßiger Rissverteilung in engen Abständen. Die Risstiefe betrug etwa 2/3 der Plattendicke.

- Verformung im Auflagebereich

Die gemessenen Stauchungen bzw. Dehnungen betrugen max. ± 0,1‰ und lagen wegen der sehr geringen Größe unterhalb der Auswertungsgrenze. Verformungen (Schubrisse) infolge von Querkraftbeanspruchungen können folglich nicht auftreten. Dieselbe Feststellung ist auch nach dem rechnerischen Querkraftnachweis ableitbar.

FAZIT: Die Versuchsergebnisse belegen, dass keine Gebrauchswerteinschränkungen zu verzeichnen sind. Somit bestehen keine Bedenken gegen die Wiederverwendung.

2.3.3.6.2 Bewertung der Innenwände

- Innenwandplatten[79]

Zur Zeit der Bauerrichtung war für die Bemessung bzw. für die Ermittlung der zulässigen Wandbelastung außer TGL 11422 zusätzlich die Vorschrift „Bauten in Montagebauweise“[80] zu beachten. Exemplarisch werden die Ergebnisse der Innenwandplatte 51707 vom P2-Typ dargelegt. Die Innenwand wurde in B 160 (~ C12/15) hergestellt und gilt als unbewehrt. Nur die konstruktive Trag- und Transportbewehrung ist vorhanden.

[79] Schmiedehausen, R.: Prüfbericht – Rechnerische Nachweise zur Trag- und Nutzungsfähigkeit ausgewählter Deckenplatten und Wände von Wohngebäuden der Typenserie P2, i.A. der FG Bauliches Recycling, September 2001.
[80] WBS 70 Bauten in Wandkonstruktion in Montagebauweise, Vorschrift (1977), Schriftenreihe der Bauforschung, Reihe Wohn- und Gesellschaftsbauten, Heft 34, Berlin.

Da im Gegensatz zur ursprünglichen vielgeschossigen Bauweise von der Annahme ausgegangen wurde, dreigeschossige Wohngebäude zu bauen, ist beim Nachweis nach DIN 1045 nur die für

3 Geschosse vorhandene Last $N_{vorh.}$=155 kN/m der zulässigen Last
$N_{zul.}$=161 kN/m

gegenüber gestellt worden. Daraus folgt, dass für diesen Anwendungsfall zur Wiederverwendung der Innenwandplatten aus statischer Sicht keine Bedenken bestehen.

2.3.3.7 Permeabilität, totale Porosität, Wassereindringtiefe

Für die Wiederverwendung von Altbetonelementen im Wohnungsbau sind die Permeabilität, Porosität und Wassereindringtiefe nicht relevant, werden aber der Vollständigkeit halber vorgestellt. Die Parameter Permeabilität, totale Porosität, Wassereindringtiefe sowie die Druckfestigkeit und Karbonatisierungstiefe wurden im Rahmen des Forschungsprojektes „Pro Altbeton im Hochwasserschutz“[81] an Innenwänden und Deckenplatten der WBS 70/11[82] geprüft. Es wurden jeweils 2 Prüfkörper/Bohrkerne von einem Element entnommen. Geprüft wurden nachstehende Elemente mit folgenden Ergebnissen.[83]

Tab. 25: Ergebnisse der Beprobungen bzgl. Permeabilität, totale Porosität, Wassereindringtiefe, Karbonatisierungstiefe

	Betonfestigkeit lt. Projektierungs-jahr	**Durchlässig-keitsbeiwert k_f [m/s]**	**Totale Porosität [%]**	**Wassereindringtiefe [mm]**	**Karbonatisierung [mm]**
3 Deckenelemente Elemente-Nr. 20 015 Planungsjahr 1983 Betonalter ca. 22 Jahre					
D-I A	Bk 25 (= C 20/25)	$4{,}8 * 10^{-11}$	6,5		
D-I B				13	18
D-II A		$1{,}3 * 10^{-10}$	13,1		
D-II B				24	12
D-III A		$1{,}0 * 10^{-10}$	12,5		
D-III B				20	8
3 Innenwandelemente Elemente-Nr. 50 015 Planungsjahr 1986 Betonalter ca. 19 Jahre					
IW-I A	Bk 25 (= C 20/25)	$2{,}9 * 10^{-10}$	13,6		
IW -I B				23	1
IW -II A		$1{,}8 * 10^{-10}$	13,5		
IW -II B				20	1
IW –III A		$1{,}9 * 10^{-10}$	15,6		
IW –III B				20	2

[81] Mettke, A.; Czyganowsky, J.: Verbundprojekt: Deichbau – Nutzung ausgebauter großformatiger Betonelemente aus dem Wohnungsbau für den Hochwasserschutz; BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, gefördert vom BMBF, Laufzeit: 01.04.2004 – 30.06.2008.
[82] 11-geschossiges Wohngebäude der Typenserie WBS 70.
[83] Prüfbericht - Ermittlung Durchlässigkeitsbeiwert und totale Porosität: IBeWa-Ingenieur-Partnerschaft für Bergbau, Wasser und Deponietechnik, Freiberg, Dez. 2004; Ermittlung Wassereindringtiefe, Karbonatisierung: FMPA Cottbus.

Die Permeabilitätsmessungen erfolgten mit einem Manteldruck ρ_{Mantel} = 6 bar und einem Strömungsdruck am Probeneingang von ρ_s = 1,5 bar. Bei Messungen mit erhöhtem Manteldruck von 10 bar und einem Strömungsdruck von 5 bar wurden praktisch gleiche Permeabilitätswerte erzielt. Die geringen Durchlässigkeitsbeiwerte der Prüfkörper sind vergleichbar mit der Durchlässigkeit von Bodenschichten aus fettem Ton und können somit als dicht im wasserbaulichen Sinne angesehen werden.

2.3.4 Bauphysikalische Untersuchungen

An ein Gebäude werden bestimmte bauphysikalische Anforderungen gestellt, wie an[84]:

- den Schallschutz gegen Lärm- und Geräuschbelästigungen (Außenlärm, Geräusche aus den Nutzungsbereichen),
- den Brandschutz, um Gefährdungen für Gesundheit und Leben auszuschließen; Personenschutz (Gefährdung von Brand von außen und innerhalb der Nutzungsbereiche),
- den Wärmeschutz, um Behaglichkeit und Wohnhygiene zu garantieren (Schutz vor extremen Temperaturwechseln). Der Wärmeschutz hat Auswirkungen auf den Energieverbrauch und direkten Einfluss auf die Lebensdauer (gleiches gilt für den Feuchteschutz); energiesparender Wärmeschutz der Gebäude bedeutet Verbesserung des Umweltschutzes und Reduzierung der Energiekosten,
- den Feuchteschutz (Schutz vor Schlagregen, Abführen der Wohnfeuchte); Vorbeugen von Schäden an der Bausubstanz.

Von einzelnen Bauteilen sind die genannten bauphysikalischen Anforderungen oft gleichzeitig zu erfüllen. Bauphysikalische Anforderungen regeln hauptsächlich:

- DIN 4109 – Schallschutz im Hochbau
- DIN 4108 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden
- EnEV[85] - Energiesparverordnung
- DIN 4102 – Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen

In nachstehenden Abschnitten werden vornehmlich eigene Untersuchungsergebnisse zum Schall-, Wärme- und Brandschutz wiedergegeben.

---

[84] vgl. Reuschel, M.: Gebäudediagnose aus bauphysikalischer Sicht. Energieeffiziente Gebäudesanierung, in: Tagungsband Alte Platte – Neues Design – die Platte lebt, Hrsg. A. Mettke, Cottbus, 2005, S. 111.

[85] seit 1. Febr. 2002 gültig; dient zur Minderung des Energieverbrauchs im Gebäudeneubau als auch im Bestand und damit auch zur Senkung der energiebedingten CO_2-Emissionen. Bei bestehenden Gebäuden sieht die EnEV Anforderungen und Maßnahmen vor

- bei baulichen Veränderungen (wenn erstmalig der Einbau, Ersatz oder die Erneuerung einzelner Bauteile einen Anteil von 20 % der jeweiligen Bauteilfläche übersteigt),
- an anlagentechnische und bauliche Nachrüstverpflichtungen,
- zur Aufrechterhaltung energetischer Qualität

[Näheres s. Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München unter www.fiw-muenchen.de]

2.3.4.1 Schallschutz

Unter Schallschutz werden Maßnahmen zusammengefasst, die störendem und gesundheitsschädigendem Lärm entgegenwirken. Dazu gehören neben der Schallentstehung auch Maßnahmen gegen die Schallübertragung von Luft- und Trittschall als Sonderform des Körperschalls[86].

Bauakustische Anforderungen in Wohngebäuden werden durch ein bewertetes Schalldämm-Maß R'_W für den Luftschallschutz und einen bewerteten Norm-Trittschallpegel $L'_{n,W}$ für den Trittschallschutz gestellt. Beide Parameter beschreiben den Schallschutz für wohnübliche Geräuschsituationen.

Bezüglich der Anforderungen wird zwischen Mindestanforderungen und erhöhten Anforderungen unterschieden. Erstere werden mit dem Ziel festgelegt, Menschen in Räumen vor unzumutbaren Belästigungen vor Schall zu schützen. Auf dieses Schutzniveau beziehen sich nachstehende Ausführungen[87]. Bewertet wurden:

- Außenwände
  dreischichtig ausgeführt:
  17 cm Tragschicht aus Stahlbeton
  5 cm Schaumpolystyrol
  7 cm Betonwetterschale
  Die Deckenplatten liegen nicht auf der Außenlängswand auf. Die Anschlussfugen sind mit Mörtel verfüllt
- Wohnungstrennwände, Treppenraumwände
  bestehen aus 15 cm Stahlbeton; stehen auf der Rohdecke und sind deckentragend; der Fugenverschluss erfolgt durch ein Mörtelschloss
- Wohnungstrenndecken
  bestehen aus:
  14 cm Stahlbeton
  Trennlage
  5 cm Anhydritestrich
  0,6 cm Spannteppich mit Filzeinlage
- Treppenanlagen
  sind in Form von kassierten Fertigelementen hergestellt. Hauptpodest sind zweiseitig in die Treppenraumwände eingebunden. Die Nebenpodestanlagen sind Bestandteil eines geknickten Treppenlaufelementes und einseitig ebenfalls konstruktiv in die Treppenraumwand eingebunden.
  Die längsseitige Fuge der Haupt- und Nebenpodeste ist zur Treppenraumwand konstruktiv als offen vorgesehen. Praktisch ist regelmäßig eine geschlossene Fuge zwischen Hauptpodest und längsseitiger Treppenraumwand ausgeführt.
  Die Treppenläufe sind durch eine Fuge von den Treppenraumwänden abgesetzt. Treppenläufe und –podeste sind starr miteinander verbunden.

[86] Verbesserung des Schallschutzes von Wohngebäuden im Bestand: www.insurance-and-finance.de/download/Leitfaden-Bauen16-4.pdf aufgerufen am 02.11.2007.
[87] Mettke, A.: Wieder- und Weiterverwendung von gebrauchten Betonfertigteilen, in: Beton+Fertigteil-Jahrbuch 2003, S.70ff.

Alle Treppenelemente besitzen eine Terrazzooberfläche.[88]

Zum Zeitpunkt der Herstellung der Gebäude war die Norm TGL 10687/03 „Schalldämmung von Bauwerksteilen“ eingeführt worden. Diese Forderungen werden in der Regel bei sachgemäßer Bauausführung in den industriell errichteten Bauten (Block-, Streifen- und Plattenbauweise) eingehalten. Die in der aktuell gültigen DIN 4109-1:1989-11 sowie in der VDI 4100:1994-09 gestellten Anforderungen hingegen werden überwiegend nicht erfüllt.

In nachstehender Tab. 26 sind die Untersuchungsergebnisse messtechnischer Bestandsaufnahmen von bauakustisch relevanten Bauwerksteilen der Standardkonstruktion vom P2-Gebäudetyp den Berechnungsergebnissen zum Schallschutz, den damaligen TGL- und heutigen DIN-Anforderungen gegenübergestellt.

Tab. 26: Anforderungen und Ist-Werte zum Luft- und Trittschallschutz für Bauteile des P2-Typs (Standardkonstruktion)[89]

Schallschutzqualität - Mindestwerte [dB]										
Bauteil	TGL 10687 / 03 (Ausg. 09.86)		DIN 4109 (Ausg. 11.89)		VDI 4100 (Ausg. 09.94) Schallschutzstufe 1		Rechenwerte [dB]		Messwerte [dB]	
	erf. R'_w	erf. $L'_{n,w}$	erf. R'_w	erf. $L'_{n,w}$	erf. R'_w	erf. $L'_{n,w}$	R'_w	$L'_{n,w}$	R'_w	$L'_{n,w}$
Wohnungstrennwände	51		53		53		51		47	
Treppenraumwände	51		52		52		51			
Wohnungstrenndecken	51	59	54	53[1]	54	53[1]	53	72[2] 48[3] 55[4]	48[3]	77 50[3] 55[4]
Treppenanlagen: Treppenläufe und Podeste		59		58		58		59[5] 65[6]		68[7] 56[8] 58[9]
Wohnungseingangstüren	22		27		27		n.e.		n.e.	

[1] weichfedernde Bodenbeläge dürfen beim Nachweis der Anforderungen nicht angerechnet werden
[2] für die Decke mit Estrich
[3] für die Decke mit Spannteppich
[4] für die Sanitärzelle
[5] mit offener Fuge zur Treppenraumwand
[6] mit geschlossener Fuge zur Treppenraumwand
[7] Hauptpodest
[8] Nebenpodest
[9] Treppenläufe

[88] Einen repräsentativen Überblick über die konstruktive Ausbildung der Bauteile für den Gebäudetyp P2 vermittelt Abschn. 2.6.2.
[89] zusammengefasst aus: Jackisch, Reinhard: Rechnerischer und messtechnischer Nachweis der Luft- und Trittschalldämmung von Standardkonstruktionen des Typs P2, Prüfbericht im Auftrag der Fachgruppe Bauliches Recycling, 2002 und Vergleich mit Baasch, H.; Paap, H.; Rietz, A.: Sanierungsgrundlagen Plattenbau, 1999 Abschnitt 4.3.3.

Auf Grundlage der messtechnischen Untersuchungen zum praktisch erreichten Schallschutzniveau basiert folgende Situationsbewertung[90]:

- Wohnungstrennwände

Das bewertete Schalldämm-Maß R'_W = 47 dB (i.M.) fällt überraschend niedrig aus. Dieser festgestellte Wert liegt 4 dB unter dem Rechenwert bzw. sogar auch 4 dB unter dem Anforderungswert nach TGL. Das erreichte Schutzniveau ist folglich als äußerst schlecht zu bezeichnen. Die heute geltenden Mindestanforderungen nach DIN 4109 werden um 6 dB des ermittelten Mittelwertes nicht erlangt.

Die Ursachen des schlechten Luftschallschutzes sind in den Fugenanschlüssen und in der mangelhaften Herstellung dieser zu suchen. Durch Bauteilbewegungen sind Fugenanschlüsse gerissen, die Fugenverfüllungen weisen sehr unterschiedliche Verdichtungen, teilweise mit Hohlräumen durchsetzt auf.

Über die Anschlussfugen ist – subjektiv gesehen – angehobene Sprache von Raum zu Raum hörbar.

Durchgeführte Simulationsrechnungen und Körperschallmessungen am Bau ergaben, dass die Schall-Längsdämm-Maße der vorhandenen flankierenden Bauteile ausreichend bemessen sind.

Um das gewünschte Schallschutzniveau nach DIN 4109 zu erzielen, müssen Sanierungsmaßnahmen sowohl im Fugenbereich als auch im direkten Wohnungstrennwandbereich ansetzen.

- Wohnungstrenndecken, Wohnbereich

Der Luftschallschutz von Wohnungstrenndecken wurde im Mittel mit R'_W = 48 dB gemessen. Damit liegt der gemessene Mittelwert des Luftschallschutzes mit 5 dB unter dem Rechenwert, 3 dB unter dem Anforderungswert nach TGL und 5 dB unter dem heute geltenden DIN-Vorgaben.

Der mittlere Wert des festgestellten Trittschallschutzes von $L'_{n,W}$ = 50 dB bei Decken mit Spannteppich ist dem Alterungsverhalten des Belags geschuldet. Die Trittschallschutzanforderungen der TGL werden mit 9 dB und der DIN mit 3 dB übererfüllt, d.h. mit großer Sicherheit erreicht.

Für die Rohdecke mit Estrich beträgt $L'_{n,W}$ = 77 dB (i.M.). Dies ist mit 5 dB schlechter als der rechnerisch bzw. theoretisch zu erwartende Trittschallschutz. Die Ursache liegt in der eingebauten Trennlage zwischen Estrich und Rohdecke und das daraus resultierende akustisch ungünstig wirkende Resonanzsystem. Gleichzeitig kann die Estrichschicht stärker durch Energieeintrag angeregt werden und die Energie in die angrenzenden Wände weiterleiten. Denn der Verbund zwischen Estrich und Wand ist relativ stark.

- Wohnungstrenndecken, Sanitärraumzelle

Bei Wohnungstrenndecken mit Sanitärraumzellen wurde für eine diagonale Trittschallübertragung ein Mittelwert von $L'_{n,W}$ = 55 dB ermittelt. Dies entspricht dem theoretischen Erwartungswert.

[90] Jackisch, R.: Rechnerischer und messtechnischer Nachweis der Luft- und Trittschalldämmung von Standardkonstruktionen der Wohnungsbauweise P2, Prüfbericht i.A. der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, 2002, S. 22 ff.

Der Anforderungswert nach TGL wird mit $L'_{n,W}$ = 59 dB in einem guten Verhältnis erfüllt. Der heutige Anforderungswert nach DIN 4109 von $L'_{n,W}$ = 53 dB wird nicht erreicht. Deshalb ist das Trittschallschutzniveau nicht als gut zu bewerten.

Die Ursache des ungenügenden Trittschallschutzes wird in Körperschallbrücken im Fußbodenanschlussbereich und im vertikalen Anschlussbereich der Schachtverkleidung zur Wohnungstrennwand gesehen.

- Treppenraumwände

Messungen wurden nicht durchgeführt. Erwartet werden Luftschallschutzwerte um 51 dB (entspr. R'_W berechnet) aufgrund der konstruktiven Gegebenheiten. Damit wird das geforderte Luftschallschutzniveau nach TGL erfüllt, aber nach DIN um 1 dB unterschritten.

- Treppenanlagen, Haupt- und Nebenpodeste

Der Trittschallschutz von Nebenpodesten wurde im Mittel mit $L'_{n,W}$ = 56 dB in einer ähnlichen Größenordnung wie für die Treppenläufe festgestellt.

Die Hauptpodeste weisen im Mittel einen Trittschallschutz von $L'_{n,W}$ = 68 dB auf und sind somit beträchtlich schlechter als die Nebenpodeste und Treppenläufe. Alle Trittschallanforderungen werden erheblich überschritten. Das Schallschutzniveau ist als unzumutbar schlecht zu bewerten.

Die Ursache liegt im Fugenanschluss des Hauptpodestes längsseitig an die Treppenraumwand. Im Gegensatz zu den Treppenläufen und den Nebenpodesten wurde diese Fuge im Ausbauprozess geschlossen. Der Messwert entspricht etwa dem Rechenwert in Höhe von $L'_{n,W}$ = 65 dB.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Der Vergleich der Werte nach TGL 10687/03(09.86) mit den heutigen Schallschutzanforderungen nach DIN 4109:1989-11 und der VDI 4100:1994-09 zeigt, dass die Plattenbauweise Typ P 2 nicht die heutigen Anforderungen an den Schallschutz erfüllt. Eine Ausnahme bildet die Wohnungstrenndecke mit Spannteppich. Sie erfüllt auch die heutigen Anforderungen an den Trittschallschutz.

Die Messergebnisse[91] von ca. 30 Einzelmessungen weichen jedoch teilweise erheblich von den Rechenwerten ab. Das trifft besonders auf den Luftschallschutz von Wohnungstrenndecken und Wohnungstrennwänden zu (vgl. Tab. 26). Als Ursache wurden Bau- und Verarbeitungsmängel aber auch konstruktive Zusammenhänge festgestellt. Auf bauakustische Sanierungs- oder Verbesserungsmaßnahmen hinsichtlich der Wiederverwendung wird in Abschn. 3.2 hingewiesen.

[91] Grundlagen: ISO 140 „Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen"; ISO 717 „Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und Bauteilen, Bauakustische Auswertungssoftware NOR-SIC, Version 3.0.18.

2.3.4.2 Wärmeschutz

Wärmeschutztechnische Anforderungen werden in Mindestanforderungen und Anforderungen an den energiesparenden Wärmeschutz unterschieden. Durch die Einhaltung des Mindestwärmeschutzes soll Tauwasser- und Schimmelfreiheit der Bauteile und damit hygienisches Raumklima gewährleistet werden. Bei den Anforderungen an den energiesparenden Wärmeschutz handelt es sich um erhöhte Anforderungen, welche eine energiesparende Ausführung von Bauteilen bzw. Gebäuden absichern. Bauteilanforderungen werden entweder über den Wärmedurchlasswiderstand R oder über den Wärmedurchgangskoeffizienten U (früher k) gestellt.

Nachstehend dargelegte Untersuchungen beinhalten Berechnungen der Wärmedurchgangskoeffizienten und Wärmedurchlasswiderstände von dreischichtigen Außenwänden (17 cm Tragschicht, 5 cm Schaumpolystyrol, 7 cm Wetterschale), Treppenraumwänden (15 cm Stahlbeton) und Decken: Geschossdecke, Kellerdecke (14 cm Rohdecke, Trennlage, 5 cm Fließanhydritestrich, 0,6 cm Spannteppich mit Filzeinlage[92]), Decke zum belüfteten Dach mit Regelaufbau (14 cm Rohdecke, 1 Lage Dachpappe lose verlegt, 4,5 cm Mineralwollematten) der Gebäudeserie P2[93]. Die Berechnungsergebnisse wurden den Anforderungen nach TGL 35424/03(12/85) „Bautechnischer Wärmeschutz“ sowie den heute gültigen Anforderungen nach DIN 4108-2:2003-07 (unverändert gegenüber der Ausgabe 2001-03) gegenüber gestellt. Die Ergebnisse zum Wärmedurchlasswiderstand sind in nachstehender Tab. 27 zusammengefasst.

[92] Vom VEB WBK Cottbus wurden Wohnungstrenndecken i.d.R. ohne zusätzliche Dämmschichten im Fußbodenaufbau ausgeführt. Die Kellerdecken wurden z.T. ohne Wärmedämmung, überwiegend jedoch wärmegedämmt ausgeführt. Hier wird vom ungünstigsten Fall, d.h. einen ungedämmten Fußbodenaufbau ausgegangen.
[93] konstruktive Merkmale s. auch Abschn. 2.3.4.1 und 2.6.2.

Tab. 27: Wärmeschutz – Bewertung der Bestandssituation[94]

	Mindestwerte Wärmedurchlasswiderstand R von Bauteilen nach DIN 4108-2:2003-07		Anforderungen Mindestwärmeschutz nach TGL 35424/03(12/85)		Bewertung Mindestanforderung		Bemerkungen
	[m²K/W]		[m²K/W		erfüllt	nicht erfüllt	
	R	R_{vorh}	R_{min}	$R_{m,vorh}$			
Außenwände (Längsaußenwände und Giebelplatten)	1,2	≈ 1,0 (-14%)[3]	0,60[1] 1,15[2]	1,28 (-11%)[3]		x	erhöhtes Risiko für Tauwasser- und Schimmelbildung (Raumecken und Fensterlaibungen besonders gefährdet)
Treppenraumwände			keine Anforderungen, da Heizkörper im Treppenhäusern vorhanden				
θ_i > 10 °C	0,07	0,10			x		
θ_i ≤ 10 °C	0,25	0,10				x	
Wohnungstrennwände	0,07	0,10	keine besonderen Anforderungen		x		
Wohnungstrenndecken	0,35	0,27	keine Anforderungen			x	ohne zusätzliche Dämmschicht
Kellerdecken	0,9	0,27	0,5			x	ohne zusätzliche Dämmschicht
		0,4-0,7				x	mit Dämmschicht
Oberste Geschossdecken	0,9	1,07	1,3		x nach DIN	x nach TGL	erfüllt ab Dämmschichtdicke von 4 cm

[1] von Räumen mit einer Außenwand
[2] als zweite und weitere Außenwand des Raumes
[3] bei Berücksichtigung von Wärmebrücken an den Plat6tenrändern und Fensterlaibungen

$R_{m,vorh}$ - Berechnung Wärmedurchlasswiderstand im Mittel
R_{min} - Mindestwärmedurchlasswiderstand

Die Bestandskonstruktion wird wärmeschutztechnisch wie folgt bewertet[95]:

Außenwände

Die dreischichtigen Längsaußenwandplatten sowie die Giebelwandplatten weisen einen nach TGL berechneten mittleren Wärmedurchlasswiderstand $R_{m,vorh}$ von 1,28 m²K/W auf. Damit sind die Anforderungen der im Bauzeitraum gültigen TGL 35424/03 von R_{min} = 0,60 bzw. 1,15 m²K/W eingehalten.

Ein Vergleich mit den heute gültigen Mindestanforderungen nach DIN 4108-2 zeigt, dass der Wärmedurchlasswiderstand der Außenwandelemente mit R ≈ 1,00 m² · K/W, ermittelt nach DIN EN ISO 6946, unter dem Grenzwert von R = 1,2 m² · K/W liegt. Der Mindestwärmeschutz ist nicht eingehalten.

Es besteht somit grundsätzlich ein erhöhtes Risiko für Tauwasser- und Schimmelpilzbildung. Besonders gefährdet sind dabei die Raumecken, die Fensterlaibungen und der Anschluss Außenwand-

[94] zusammengefasst nach: Grosch, V.; Pöthing, St.: Wärmeschutz von Standardkonstruktionen des Wohnbautyps P2, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, 2002.
[95] Ebenda, S. 30 f..

Kellerdecke. Wie aus den Infrarotaufnahmen erkennbar ist, treten hier die niedrigsten raumseitigen Oberflächentemperaturen auf.

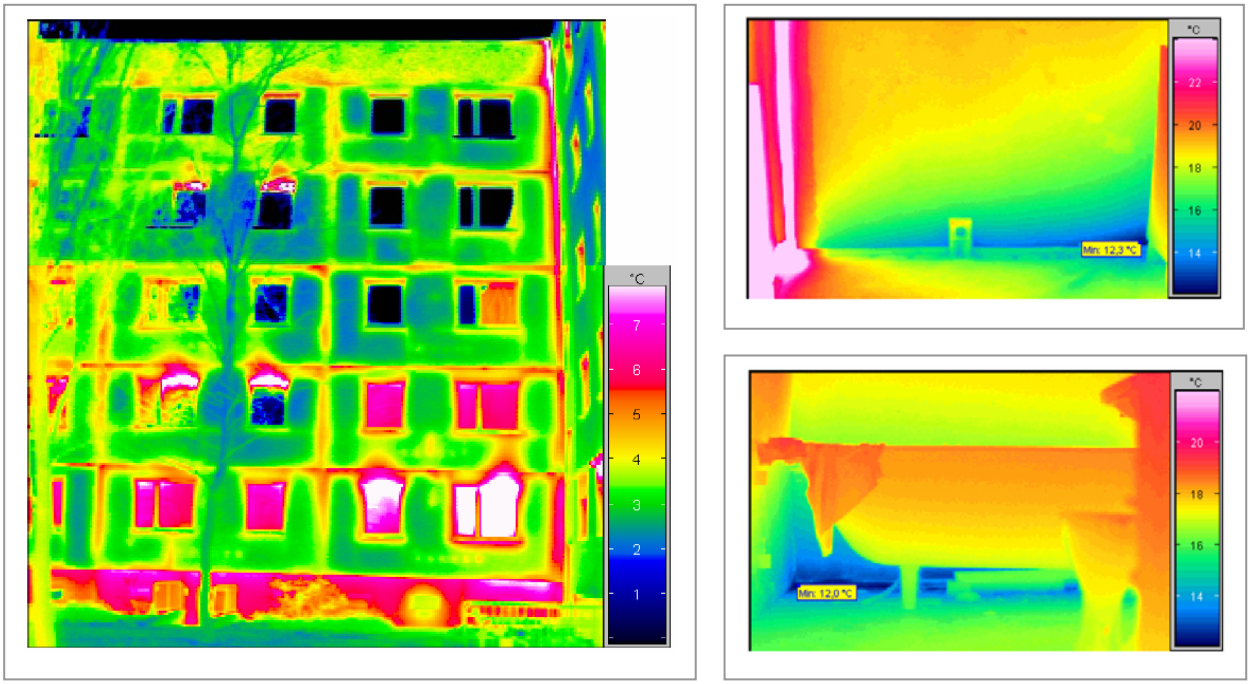


Abb. 37 : Infrarotaufnahmen einer Gebäuderückseite (li.); Anschluss Giebelaußenwand-Kellerdecke EG im Kinderzimmer (re. oben), im Bad (re. unten)

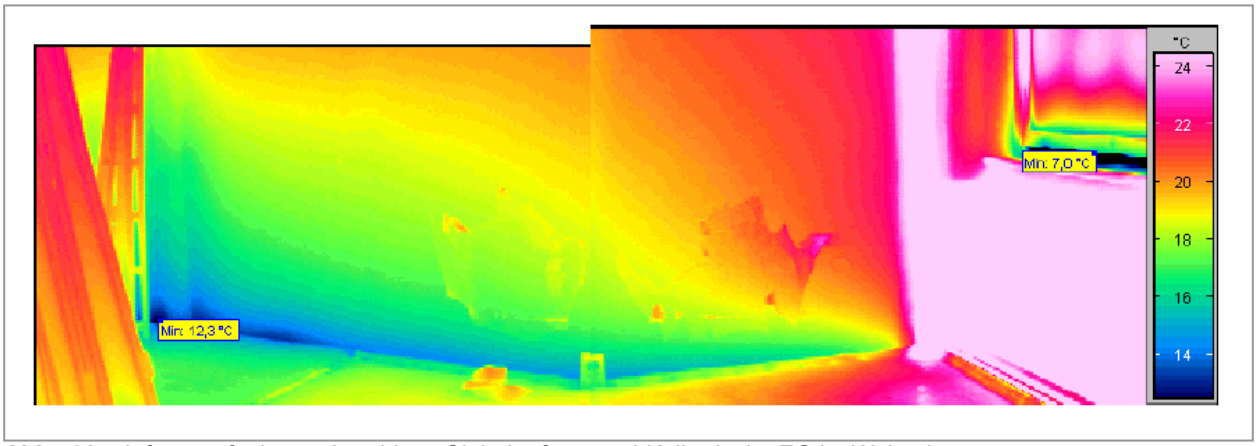


Abb. 38 : Infrarotaufnahmen Anschluss Giebelaußenwand-Kellerdecke EG im Wohnzimmer

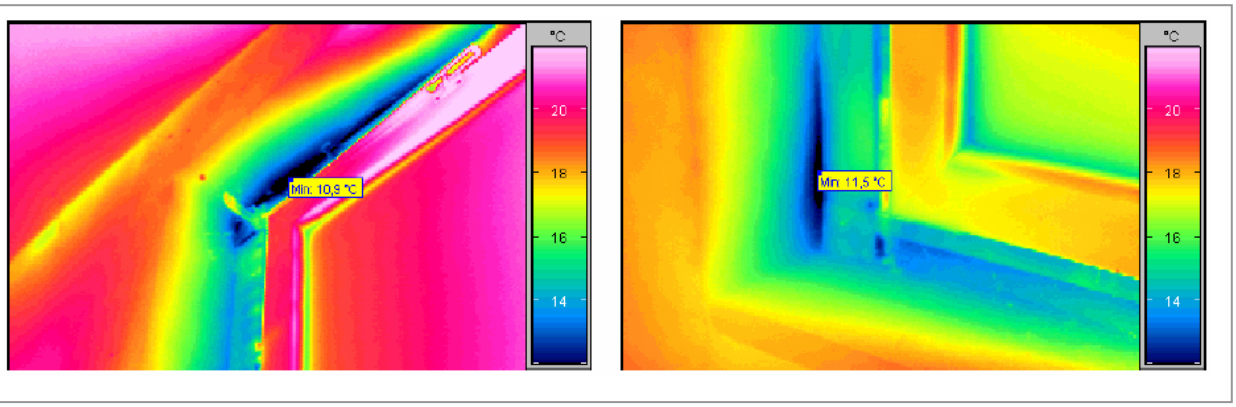


Abb. 39 : Typische Wärmebrücken und Luftundichtheiten an Fensteranschlüssen mit Bestandsfenstern

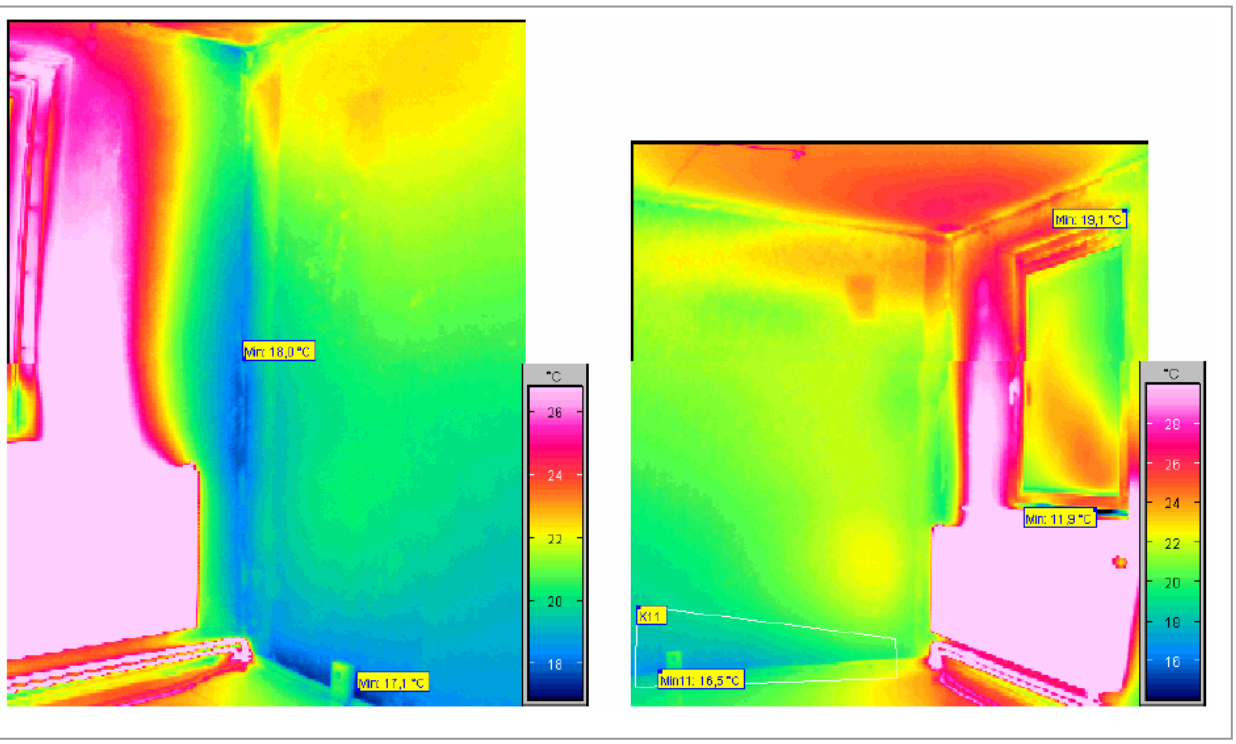


Abb. 40 : Infrarotaufnahmen Außenwandecke Kinder- (li.) und Wohnzimmer (re.), oberstes Wohngeschoss

Treppenraumwände

Da in den Treppenhäusern der Wohnungsbauserie P2 Heizkörper vorhanden sind, kann der Treppenraum als niedrig beheizter Raum mit einer Innentemperatur $\theta_i > 10$ °C betrachtet werden.

Nach TGL bestanden keine Anforderungen hinsichtlich des Mindestwärmeschutzes der Treppenraumwände. Die Anforderungen nach DIN 4108-2 an Treppenraumwände mit $\theta_i > 10$ °C von R ≥ 0,07 m² · K/W werden von den vorhandenen Treppenraumwände eingehalten.

Die höheren Anforderungen von R = 0,25 m² · K/W für Treppenräume, die nur indirekt oder nur auf Temperaturen $\theta_i \leq 10$ °C beheizt werden (aber frostfrei sind), werden von den vorhandenen Wänden nicht erfüllt.

Wohnungstrennwände

Nach TGL bestanden keine besonderen Anforderungen.

Die Mindestanforderungen nach DIN 4108-2 an Wohnungstrennwände bzw. Wände zwischen fremdgenutzten Räumen von $R \geq 0{,}07$ m² · K/W sind erfüllt.

Wohnungstrenndecken

In zentral beheizten Gebäuden bestanden nach TGL keine wärmeschutztechnischen Anforderungen an Wohnungstrenndecken. Die Anforderungen der DIN 4108-2 an den Mindestwärmeschutz der Wohnungstrenndecken von $R \geq 0{,}35$ m² · K/W sind für den betrachteten Deckenaufbau ohne zusätzliche Dämmschichten mit $R = 0{,}27$ m² · K/W nicht erfüllt.

Aus bauphysikalischer Sicht besteht bei Nichteinhaltung dieser Anforderung jedoch kein erhöhtes Risiko hinsichtlich Wärme- und Tauwasserschutz, sofern die Wohnräume auf $\theta_i > 10$ °C beheizt sind.

Kellerdecke

Im ungünstigsten Fall sind im Fußbodenaufbau der Kellerdecke ebenso wie in den Wohnungstrenndecken keine zusätzlichen Dämmschichten eingebaut. Bei dieser Situation sind die Mindestanforderungen nach TGL von $R_{min} = 0{,}95$ bzw. 0,50 m² · K/W bzw. nach DIN 4108-2 von $R \geq 0{,}90$ m² · K/W nicht eingehalten.

Wurden Dämmschichten eingebaut, kann davon ausgegangen werden, dass der Wärmedurchlasswiderstand in der Regel Werte $R = 0{,}40 \ldots 0{,}70$ m² · K/W erreicht. Die heute gültigen Mindestanforderungen sind auch hier nicht eingehalten.

Decke zum belüfteten Dachraum

Die Wärmedämmeigenschaften der Decke zum belüfteten Dachraum werden durch eine Dämmstoffauflage abgesichert. Bei der Errichtung der Gebäude wurde die verwendete Dämmstoffdicke in der Regel an die jeweils geltenden Mindestanforderungen der TGL angepasst. Es wurden Dämmstoffdicken von 45, 60 bzw. 75 mm verwendet und Wärmedurchlasswiderstände von ca. $R = 1{,}1 \ldots 1{,}9$ m² · K/W erzielt.

Der Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 von $R \geq 0{,}90$ m² · K/W ist bereits ab einer Dämmstoffdicke von ca. 4 cm eingehalten.

Im Ergebnis wird festgestellt, dass die untersuchten Wohnungstrennwände und die oberste Geschossdecke des P2-Typs durch die Dicke der Dämmstoffauflage die Mindestanforderungen nach DIN 4108-02 eingehalten werden. Außenwände und Kellerdecken erfüllen diese Anforderungen nicht. Bei Treppenraumwänden hängt die Erfüllung der Mindestanforderungen von der Treppenraumtemperatur ab. Bei über 10°C Innentemperatur werden sie erfüllt, bei ≤ 10 °C nicht.

Dass heißt, ohne zusätzliche Maßnahmen erfüllt die Plattenbauweise P2 aufgrund der gering dimensionierten Wärmedämmschichten nicht die heutigen Anforderungen an den Wärmeschutz.

Im Weiteren wird auf die Publikation von REUSCHEL[96] verwiesen, wo u.a. Bauteile der WBS 70 verschiedener Ausführungsvarianten bewertet werden.

Der mangelnde Wärmeschutz der industriell errichteten Wohngebäude ist in der Regel in allen Wohnbautypen anzutreffen. Dieser Mangel ist jedoch nicht nur in Ostdeutschland festgestellt worden, sondern bei industriellen Wohnbauten v.a. in den mittel- und osteuropäischen Ländern. Dort treten prinzipiell dieselben Probleme auf, meist allerdings in verschärfter Form.[97]

2.3.4.3 Brandschutz / Feuerwiderstand

Die Anforderungen hinsichtlich des Brandschutzes ergeben sich aus den jeweiligen Landesbauordnungen. Es sind Forderungen in puncto

- Lage auf dem Grundstück und zur Nachbarbebauung,
- Brandverhalten der Baustoffe und Bauteile,
- Größe und Schutz der Brandabschnitte,
- Lage und Gestaltung der Rettungswege

zu erfüllen.

Die DIN 4102 definiert u.a. die Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen und die Brandschutzklasse. Beton als klassischer Baustoff ohne brennbare Bestandteile wird der Klasse A1 (nicht brennbar) zugeordnet. In Abhängigkeit der Gebäudehöhe und der Anzahl der Wohnungen sind Mindestanforderungen des baulichen Brandschutzes zu erfüllen (entspr. Feuerwiderstandsklassifizierung[98]). Die meisten Bundesländer unterscheiden in Anlehnung an die Musterbauordnung (MBO) unterhalb der Hochhausgrenze von 22 m nach 4 Gebäudeklassen. Für sonstige Gebäude mit Höhen zwischen 22 m ≥ OFF > 7 m (entspr. der Gebäudeklasse 5; hier lassen sich 5- und 6-geschossige Plattenbauten mit Geschosshöhen von 2,80 m einordnen) ist beispielsweise für Wände gemäß § 27 MBO 2002 und Decken nach § 31 MBO 2002 eine Feuerwiderstandsklasse F90 (feuerbeständig) gefordert.

---

[96] Reuschel, M.: Gebäudediagnose aus bauphysikalischer Sicht. Energieeffiziente Gebäudesanierung, in Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt, Hrsg. Angelika Mettke, Cottbus, 2005.

[97] s. Kerschberger, A.: energetischer Umbau von Plattenbauten – Deutschland, Osteuropa, Russland, China [Toblacher Gespräche 2005: Bauen für die Zukunft, 22.09. – 24.09.2005].

[98] bauaufsichtliche Bezeichnung der Feuerwiderstandsklassen:

- feuerhemmend F30, F60; das Bauteil erfüllt im Brandfall mindestens 30 resp. 60 Minuten seine Funktion
- feuerbeständig F90; das Bauteil erfüllt im Brandfall mindestens 90 Minuten seine Funktion
- hoch feuerbeständig F120, F180; das Bauteil erfüllt im Brandfall mindestens 120 resp. 180 Minuten seine Funktion.

Tab. 28: Feuerwiderstandsklassen nach DIN 4102-4:2004-11

Bezeichnung	Feuerwiderstandsklasse nach DIN 4102-4:2004-11	
	mindestens	**maximal**
Geschossdecken[1)] (Stahlbetonplatten, unbekleidet) (Tab. 11; Zeile 1.1)	**F30** 95 % der Messergebnisse[1)]	**F60** 33 % der Messergebnisse[1)] **F90** 5 % der Messergebnisse[1)]
Geschossdecken [2)] (Stahlbetonplatten, unbekleidet) (Tab. 11; Zeile 1.1)	**F30** 100 % der Messergebnisse[2)]	**F60** 97 % der Messergebnisse[2)] **F90** 82 % der Messergebnisse[2)]
Nichttragende Wände (aus Beton und Stahlbeton) raumabschließend, einseitige Brandbeanspruchung (Tab. 35; Zeile 1.2.1 + 1.3.1)	**F30-A**	**F 90-A**
Tragende Wände (aus Beton und Stahlbeton) raumabschließend, einseitige Brandbeanspruchung (Tab. 35; Zeile 1.2.2.3 + 1.3.2.3)	**F30-A** 100 % der Messergebnisse[3) und 4)]	**F60-A** 100 % der Messergebnisse[3) und 4)] **F90-A** 85 % der Messergebnisse[3)] **F90-A** 58 % der Messergebnisse[4)]
Tragende Wände (aus Beton und Stahlbeton) raumabschließend, mehrseitige Brandbeanspruchung (Tab. 36; Zeile 1.1.3 + 1.2.3)	**F30-A**	**F 60-A**
Untersuchungsergebnisse zur Betondeckung		
Geschossdecken Plattendicke 140 mm [1)] Prüfung von 64 Elementen, schlaff bewehrt [2)] Prüfung von 66 Elementen, Spannbeton	**Innenwände, tragend** Wanddicke 150 mm [3)] Prüfung von 75 Innenwandelementen	**Außenwände** Wanddicke 240 mm [4)] Prüfung von 40 Außenwandelementen (nur an der Innenseite gemessen)

Nachstehend wird das versuchstechnische Ergebnis zum Brandverhalten von Stahlbeton- und Spannbetondecken skizziert. Die Ermittlung der Feuerwiderstandsdauer erfolgte an je zwei Stahlbeton- und Spannbetondeckenplatten. Die FG Bauliches Recycling beauftragte die MFPA Leipzig[99] zur Durchführung der Versuche. Untersucht wurden die Elemente 21 000 (Spannbetondeckenplatte), 21 120 und 21 119 (Stahlbetonplatte) vom Gebäudetyp P2 im Baualter von 28 Jahren. Gefertigt wurden die Elemente im WBK Cottbus. Verbaut waren sie in einem 5-Geschosser in Cottbus in der Turower Straße. Eigens der Untersuchung zum Brandschutzverhalten wurden die demontierten Betonelemente per Tieflader ca. 180 km bis Laue (bei Delitzsch) transportiert.

Entsprechend der DIN 4102-4:2004-11 erreichen die im Rahmen des Forschungsprojektes untersuchten Elemente der Typenserie P 2 mindestens die Feuerwiderstandsklassen F30-A. Bestätigt wird dies auch durch die Brandversuche. Jede Deckenplatte wurde einzeln geprüft; eingebaut als horizontaler Raumabschluss eines Deckenprüfofens. Die Belastung der Elemente betrug 3,25 kN/m² (vgl. Abschn. 2.3.3.4; zusätzliche Eigenlast g_1 = 1,00 kN/m², Verkehrslast p= 1,50 kN/m², Zuschlag für leichte Trennwände Δp= 0,75 kN/m²) und erfolgte mittels Totlasten in Form von Beton- und Stahlgewichten

[99] MFPA Leipzig GmbH, Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle nach Landesbauordnung, Bereich III Bauphysik, Baulicher Brandschutz.

(s. Abb. 41, 42). Zur Messung der Verformung wurde in Plattenmitte ein potentiometrischer Wegsensor (WS) installiert. Die Lage der Messstellen im Brandraum ist der Abb. 43 entnehmbar.

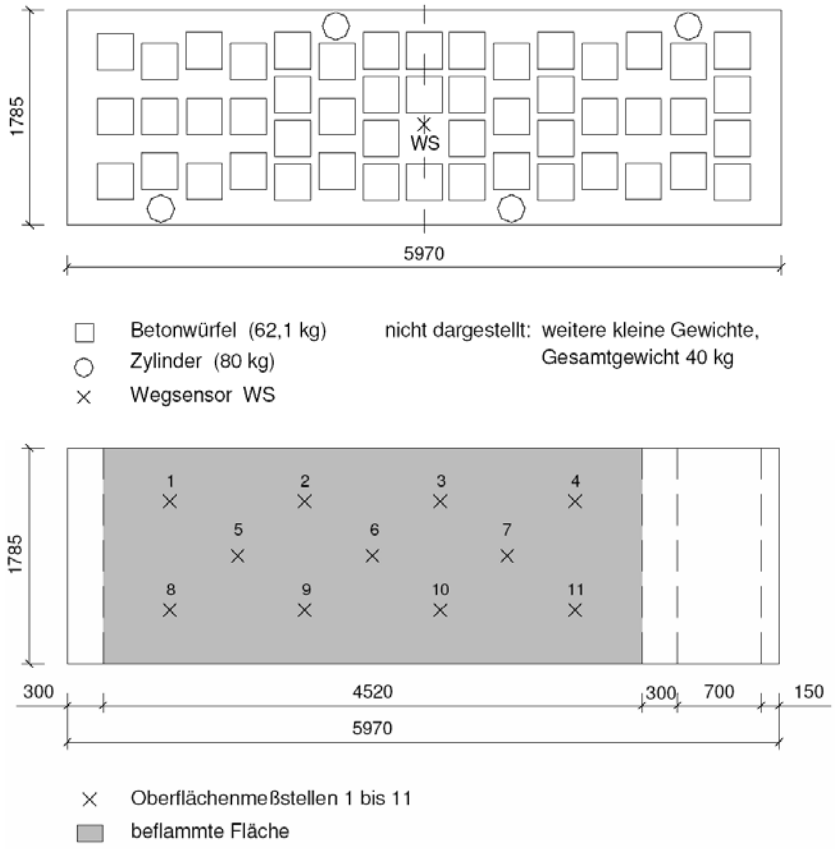


Abb. 41 : Exemplarische Darstellung der Messpunkte und des Belastungsplanes zur Untersuchung des Feuerwiderstandes – Spannbetondeckenplatte 21000

Abb. 42 : Brandraum (li.) und Simulation Belastung (re.)

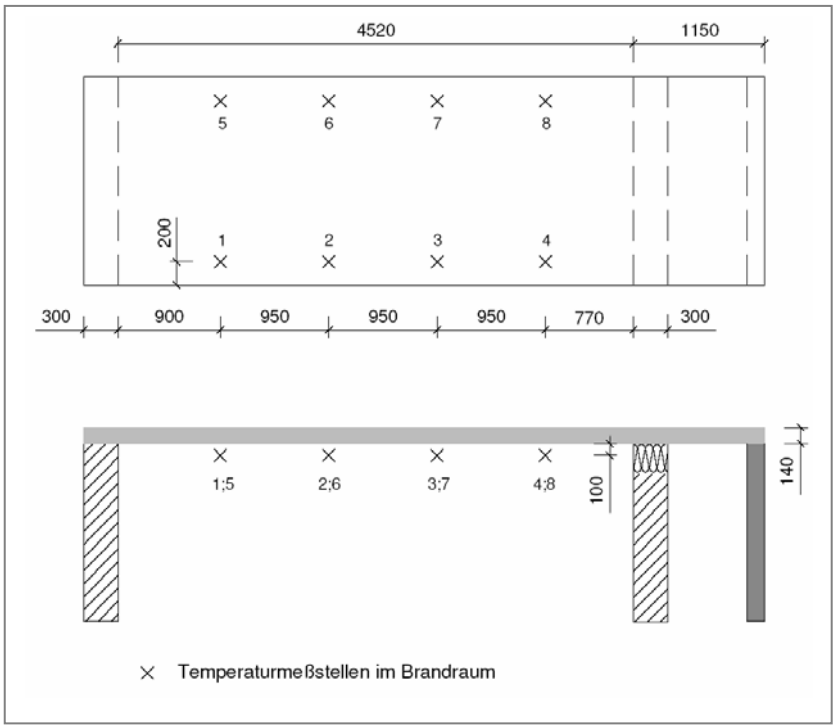


Abb. 43 : Prüfanordnung / Lage der Brandraummessstellen – Spannbetondeckenplatte 21000

Die Aufheizung des Brandraumes erfolgte entsprechend der Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) nach DIN 4102-2:1977-09.

Zu wesentlichen Prüfergebnissen[100]:

Die Beobachtungen während der Brandprüfungen ergaben an allen 4 Deckenplatten, dass sich die Platten langsam verformten. Nach Abbruch der Prüfung der Spannbetondeckenplatte I bzw. nach Ende der Prüfung der Spannbetondeckenplatte II haben die Platten die Horizontallage nahezu wieder erreicht. In nachstehender Tab. 29 sind wichtige Prüfergebnisse aufgezeigt. Abb. 44 gibt die Temperaturerhöhung auf der unbeflammten Deckenoberfläche exemplarisch für die Spannbetondeckenplatte 21000 (Probe I) an. Nach 30 Minuten Prüfdauer betrug die Temperaturerhöhung im Mittel 7,5 K, bei der Probe II waren es 10 K. die Stahlbetondeckenplatte 21120 wies auf der unbeflammten Deckenoberfläche bei einer Prüfzeit von 90 Minuten im Mittel 80 K, die Stahlbetondeckenplatte 21119 nach 85 Minuten 60 K auf.

[100] Hertel, Cl.: Prüfung des Brandverhaltens von Spann- und Stahlbetondeckenplatten zur Ermittlung der Deckenunterseite, Auszug aus Prüfbericht, i.A. der FG Bauliches Recycling, MFPA Leipzig GmbH, April 2003;
Mettke, A.: Nachnutzungsmöglichkeiten gebrauchter Betonbauteile, in: Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt, Hrsg. A. Mettke, Cottbus, 2005, S. 136 f.

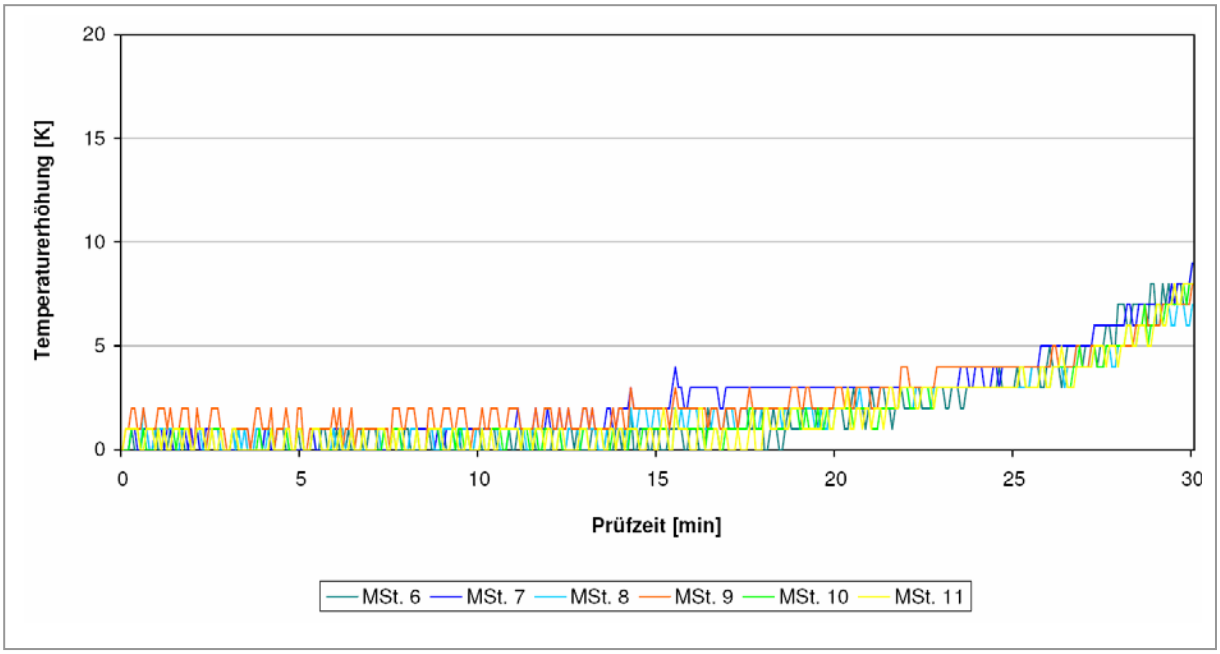


Abb. 44 : Temperaturerhöhung auf der unbeflammten Deckenoberfläche – Spannbetondeckenplatte 21000 (Probe I)

Tab. 29: Ergebnisse der Brandversuche

Spannbetondeckenplatte 21000 (vgl. Abb. 44)			
Normbezug nach DIN 4102-2:1977-09, Abschnitt	**Anforderungen**	**Probeplatte**	
		I	**II**
5.2.4 Tragfähigkeit	Beibehaltung der Tragfähigkeit unter Last	Die Tragfähigkeit blieb erhalten > 30 Minuten	
5.2.6 Durchbiegungsgeschwindigkeit	Einhaltung der zulässigen Durchbiegungsgeschwindigkeit $\Delta f/\Delta t = 570^2/(9.000 \times 13) =$ 2,8 cm/min	max. vorh. Durchbiegungsgeschwindigkeit	
		ca. 1 cm/min zwischen 25. und 27. Prüfminute	ca. 0,8 cm/min zwischen 19. und 20. Prüfminute
8.7	sonstige Angaben	max. Durchbiegung 30. Prüfminute in Plattenmitte	
		> 100 mm	104 mm
Feuerwiderstandsdauer		**> 30 Minuten**	
Stahlbetondeckenplatten (vgl. Abb. 45)			
Normbezug nach DIN 4102-2:1977-09, Abschnitt	**Anforderungen**	**Stahlbetondeckenplatte**	
		21120	**21119**
5.2.4 Tragfähigkeit	Beibehaltung der Tragfähigkeit unter Last	Die Tragfähigkeit blieb erhalten	
		> 90 Minuten	> 85 Minuten
5.2.6 Durchbiegungsgeschwindigkeit	Einhaltung der zulässigen Durchbiegungsgeschwindigkeit $\Delta f/\Delta t = 390^2/(9.000 \times 13) =$ 1,3 cm/min	max. vorh. Durchbiegungsgeschwindigkeit	
		ca. 4,0 cm/min zwischen 80. und 90. Prüfminute	> 1,3 cm/min zwischen 80. und 86. Prüfminute
8.7	sonstige Angaben	max. Durchbiegung in Plattenmitte	
		90. Prüfminute ca. 600 mm	86. Prüfminute schlagartiges Versagen
Feuerwiderstandsdauer		**ca. 80 Minuten**	

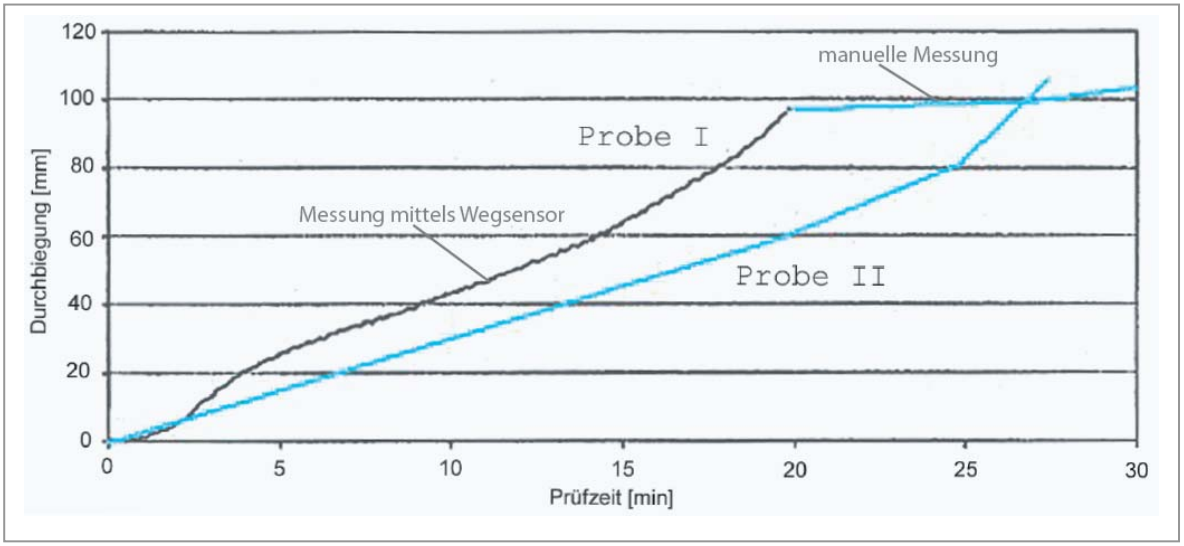


Abb. 45 : Durchbiegung in Richtung Brandraum – Spannbetondeckenplatten 21000 (P2-Typ)

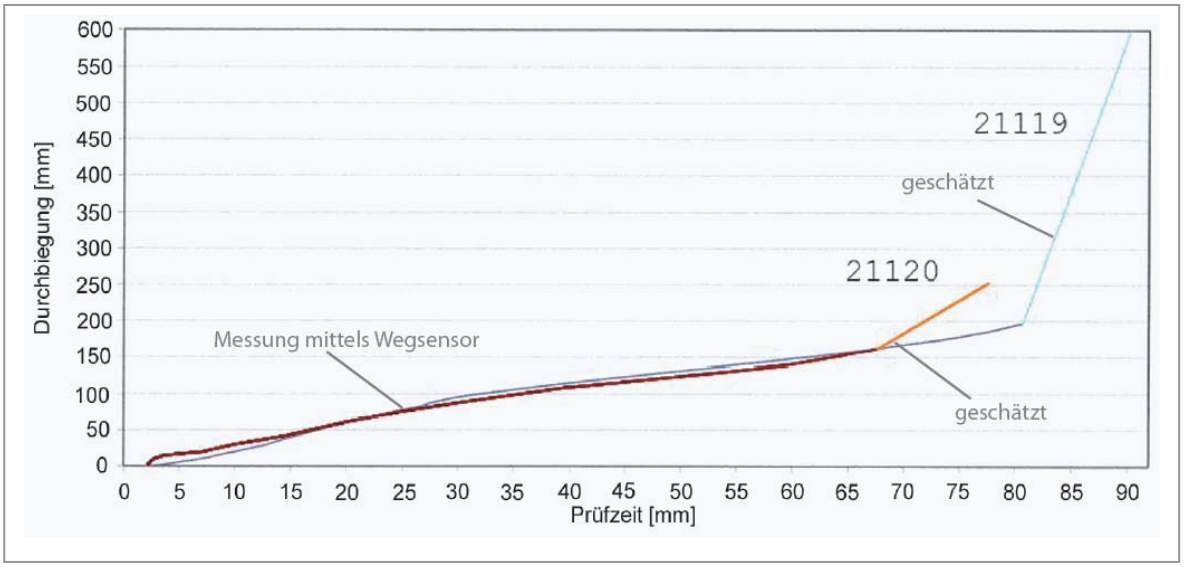


Abb. 46 : Durchbiegung in Richtung Brandraum – Stahlbetondeckenplatten21119, 21120 (P2-Typ)

Zusammenfassend wird festgestellt:

- Spannbetonplatten:

Die Anforderungen für F 30 wurden bei einer Feuerwiderstandsdauer > 30 min erfüllt. In der 30. Prüfminute betrug die maximale Durchbiegung in Plattenmitte > 100 mm bei der Probe I bzw. 104 mm bei der Probe II. Die Tragfähigkeit unter Last blieb über 30 min. erhalten.

- Stahlbetonplatten

Die Feuerwiderstandsdauer beträgt für beide Deckenplatten ca. 80 min. Die max. Durchbiegung wurde beim Element 21 120 in der 90. Prüfminute mit ca. 600 mm registriert. Beim Element 21 119 wurde ab der 80. Minute eine verstärkte Zunahme der Durchbiegung beobachtet, in der 86. Prüfminute versagte die Platte schlagartig.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Berechnungen zur Feuerwiderstandsdauer mit den im Versuch ermittelten Werten übereinstimmen. Damit lassen sich die Elemente, sofern sie nicht ertüchtigt werden, nur in Wohngebäuden mit einer Höhe bis zu 7 m wieder einbauen. Denn die Gebäudeklasse 3 erfordert nach § 27 und 31 MBO den Einsatz feuerhemmender Feuerwiderstandsklassen für Decken und Wände im Normalgeschoss. Bei einem sekundären Einsatz der Decken und Wände im Kellergeschoss ist dies bis zur Gebäudeklasse 2 (Wohngebäude mit einer Höhe bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m² Grundfläche) unaufgearbeitet möglich.

Auf mögliche Verbesserungen (Sanierungsmöglichkeiten) der bauphysikalischen Parameter bei der Wiederverwendung von Betonbauteilen wird in Abschn. 3.2 hingewiesen.

2.3.5 Fazit - Eignungsprüfung (Entscheidungsstufe 1)

Die eigene und recherchierten Untersuchungsergebnisse an ausgewählten Elementegruppen der Plattenbautypen WBS 70, P2, PN 36-NO u.a. bestätigen, dass die Altbetonbauteile im Baualter von etwa 20 – 30 Jahren noch über hohe Gebrauchseigenschaften verfügen.

Die visuellen Begutachtungen der Bauteile im eingebauten Zustand ergaben fast ausschließlich Einstufungen in die Bauzustandsstufe 1 und 2, welche die Funktionsfähigkeit der Bauelemente implizieren.

Gleiches gilt für die Ergebnisse der baustofflichen und -technischen Untersuchungen. Die Einhaltung der lt. Projektierung geforderten Betondruckfestigkeitsklassen konnte eindeutig nachgewiesen werden. Teilweise liegen die ermittelten Druckfestigkeitswerte bis zu 6 Klassen (nach DIN EN 206-1:2001-07) über den Anforderungen der Projektierung. Die hier nachgewiesene hohe Qualität der Betonbauteile konnte in den Untersuchungen zur Karbonatisierung bestätigt werden. Der Vergleich der Analyseergebnisse mit dem Verlauf der Zeitgesetzfunktion x_c zur Entwicklung der Karbonatisierungstiefe in Abhängigkeit von der Festigkeitsklasse und der Zeit zeigt, dass die ermittelten Werte deutlich unter den prognostizierten liegen. In der Gegenüberstellung der ermittelten Karbonatisierungshorizonte mit den Resultaten der Betondeckungsuntersuchungen stellt sich ein ausreichender Korrosionsschutz der Bauteile bei unveränderten Umweltbedingungen heraus. Die Anforderungen an die Betondeckung für den Einsatz der Elemente als Innenbauteile – Expositionsklasse XC 1 – konnten erfüllt werden. Ein sekundärer Einsatz als Außenbauteil - Expositionsklasse XC 4 - ist nur unter dem Einsatz entsprechender Schutzmaßnahmen möglich (s. Abschn. 3). Die Betondeckung stellt im Verhältnis zum Stabdurchmesser einen ausreichenden Haftverbund zwischen Beton und Bewehrungsstahl sicher.

Die zugrunde gelegten, vergleichenden Untersuchungen zur Tragfähigkeit basieren auf einem unveränderten Nutzungszweck im Vergleich zur primären Nutzung; also zum Wohnungsbau nach heute gültigen Vorschriften. Durch ergänzende Traglastversuche konnten die rechnerischen Nachweise belegt bzw. es konnten auch Tragfähigkeitsreserven an bestimmten Spannbetondeckenplatten nachgewiesen werden. Andererseits ergaben die rechnerischen Nachweise auch, dass sich bestimmte Deckenplatten des Drempelgeschosses sowie Dachplatten nicht zur Wiederverwendung für den glei-

chen Nutzungszweck eignen. Es ist jedoch möglich, die auf Biegung beanspruchten Bauteile zu ertüchtigen, um die sekundären Nutzungsanforderungen erfüllen zu können.

Eine Wiederverwendung von Altbetonbauteilen im Wohnungsbau erfordert auch Ertüchtigungsmaßnahmen betreffs der Verbesserung der bauphysikalischen Kennwerte. Hinsichtlich des Feuerwiderstandes können Deckenplatten nicht ohne Aufarbeitung in Hochhäusern eingesetzt werden, jedoch bei Gebäuden bis zur Gebäudeklasse 3 (Gebäude der Gebäudeklassen 1 bis 3 dürfen eine maximale Höhe der obersten begehbaren Geschossdecke von 7 m über der mittleren Gebäudehöhe haben). Dazu zählen z. B. Gebäude wie Einfamilienhäuser, Doppel- oder Reihenhäuser.

Die von der FG Bauliches Recycling durchgeführten Untersuchungen zur Eignungsprüfung (Entscheidungsstufe 1) belegen eindeutig die grundsätzliche Wiederverwendungseignung der demontierten Betonfertigteile aus industrieller Bausubstanz bei sachgemäßem Rückbau. Ein Abgleich der Ergebnisse mit den geltenden aktuellen technischen Baubestimmungen der Länder, in welchen die sekundären Betonelemente nachgenutzt werden sollen, ist dennoch erforderlich, wenngleich mit nur geringen Ausnahmen in den Ländern durchaus eine Identität der Anforderungen gegeben ist.

2.4 Entscheidungsstufe 2 - Hauptprüfung

Die Hauptprüfung der sekundären Betonbauteile erfolgt nach der Demontage. Sie bezieht sich hauptsächlich auf die Untersuchung von Beschädigungen oder Mängeln, welche durch den Demontageprozess auftreten können. Baustoffliche sowie bauphysikalische Parameter bleiben durch den Demontageprozess unberührt. Einzig kann der Bauzustand der Elemente durch den Rückbau resp. Trennverfahren negativen Veränderungen unterliegen. Dieser muss demnach durch eine wiederholte umfangreiche visuelle Begutachtung der Elemente nach dem Demontageprozess überprüft werden.
Um die Entwicklung des Bauzustandes der Elemente besser darstellen zu können, soll diese an einem Beispiel eines Rückbauvorhabens in Gröditz aufgezeigt werden. Demontiert wurden 1½ Eingänge eines 6-geschossigen WBS 70 Wohnblocks[101].

2.4.1 Bauzustandsstufenbewertung vor der Demontage

In einer Voruntersuchung wurden an den geprüften Elementen keine Mängel oder Schäden festgestellt.[102] Im Zuge der Markierung der Bauteile zur Wiederverwendung und der Kennzeichnung aller verbauten Deckenplatten, Innen- und Außenwände im eingebauten Zustand erfolgte eine zweite umfangreichere visuelle Prüfung des Bauzustandes (Eignungsprüfung). Hierbei wurde lediglich in einer Innenwand sowie in einer Deckenplatte ein Riss festgestellt. Somit konnten vor der Demontage 98 % der Innenwände, 99 % der Deckenplatten und 100 % der Außenwände in die Bauzustandstufe 1 (Merkmale s. Abschn. 2.3.2.1) eingestuft werden (s. Abb. 47).

[101] Mettke, A.; Heyn, S.: Partieller Rückbau eines Wohngebäudes der WBS 70 in Gröditz (Block 20) BTU Cottbus, 2005.
[102] Mettke, A.; Thomas, C.: Begutachtung von Elementen der WBS 70 hinsichtlich ihrer Wiederverwendungseignung am Standort Gröditz, BTU Cottbus, 2004.

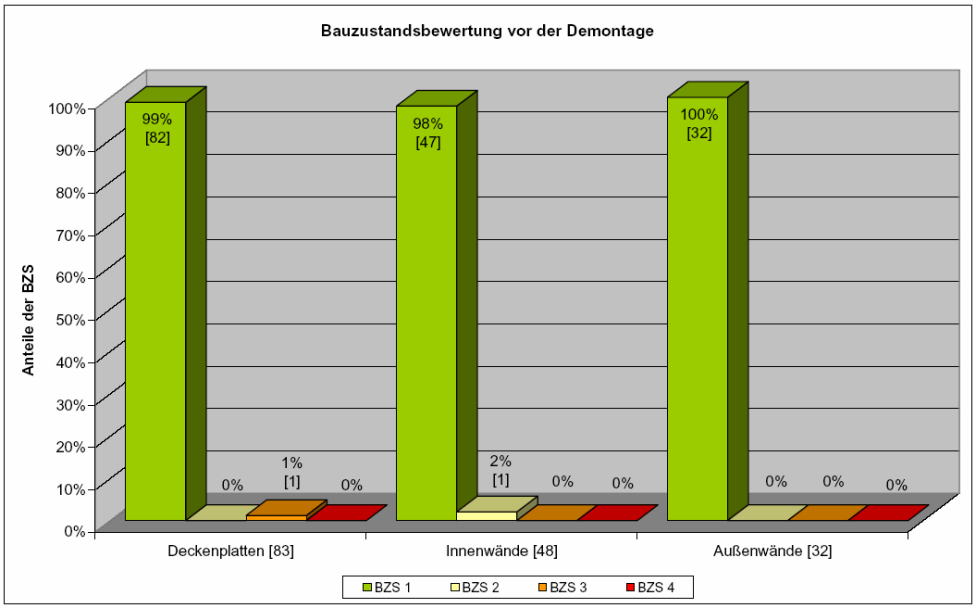


Abb. 47 : Vergleich der Anteile der Bauzustandstufen der Bauteile vor der Demontage (Fallbeispiel)

2.4.2 Bauzustandsstufenbewertung nach der Demontage

Weitergehende visuelle Untersuchungen erfolgten an Elementen, die für eine Wiederverwendung vorgesehen waren. Der Bauzustand der demontierten Bauteile wurde direkt während und nach der Demontage auf der Demontageebene bzw. am Zwischenlager der Demontagebaustelle geprüft. Die Ergebnisse stellen sich wie folgt dar.

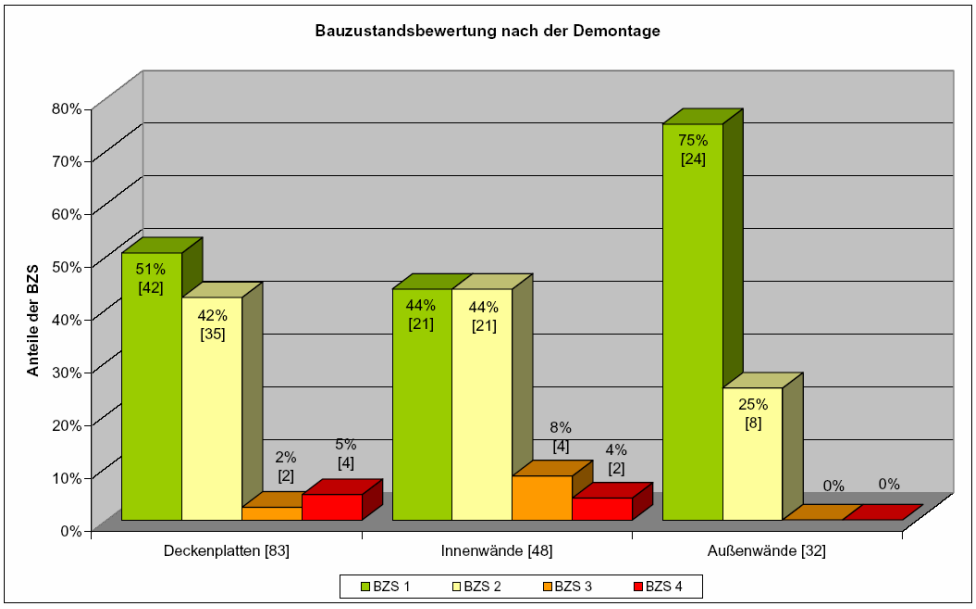


Abb. 48 : Vergleich der Anteile der Bauzustandstufen der Bauteile nach der Demontage (Fallbeispiel)

Ursachen für die Steigerung des Anteils von Elementen in die Bauzustandsstufe 2 sind vor allem Kantenabplatzungen und Ausbrüche an den Bauteilecken oder beschädigter Beton im Bereich der Tragösen sowie die eingebrachten Öffnungen für den alternativen Anschlag bei Innenwänden. Die Außen-

wandbauteile, die Risse im Bereich der Türschwelle von Balkontüren aufweisen, wurden ebenfalls der BZS 2 zugeordnet.

Der Bauzustandstufe 3 wurden Bauteile mit größeren Abplatzungen zugeordnet. Dies betraf die Längskanten von Deckenplatten, bei denen zum Teil Bewehrungsstähle freilagen oder Abplatzungen im Bereich des Auflagers vorlagen. Auch die Innenwandelemente mit gerissenen Schäften der Türöffnung wurden dieser Bauzustandsstufe zugeordnet (vgl. Abb. 48).

Insofern bei diesen Innenwänden der Schaft komplett gebrochen war, erfolgte die Einstufung in die Bauzustandsstufe 4. Das Gleiche erfolgte bei Deckenplatten, welche aufgrund nicht vollständig getrennter Verbindungseisen oder falscher Lagerung gebrochen waren.

Im Einzelnen traten für die Bauteile hauptsächlich folgende Mängel oder Schäden auf:

2.4.2.4 Schäden an Deckenplatten (Fallbeispiel Gebäudetyp WBS 70)

Als Hauptmängel der Deckenplatten nach der Demontage waren Abplatzungen entlang der aufgestemmten Fugen, bei denen zum Teil auch Bewehrungsstähle freigelegt wurden, festzustellen. Die Fugen wurden durch Stemmarbeiten mit dem Minibagger an den Auflagern zum Lösen des Elementes beschädigt. Ebenso wurden durch den Minibaggereinsatz teilweise die Elemente beim Freilegen der Tragösen durchstemmt. Diese Deckenplatten wurden je nach Beschädigungsgrad den Bauzustandsstufen 2 und 3 zugeordnet. Deckenplatten aus denen durch die FG Bauliches Recycling Bohrkerne zur Untersuchung der Betonrohdichte und -druckfestigkeit entnommen wurden, sind in die BZS 2 eingestuft worden.

Die Deckenplatten, die der Bauzustandstufe 4 zugeordnet wurden, sind zum überwiegenden Teil beim Lösen des Elementes zerstört worden, weil Verbindungseisen nicht vollständig durchtrennt waren und das Bauteil durch die Hebewirkung des Krans gebrochen wurde. Nur in einem Fall konnte die Beschädigung der Deckenplatte auf falsche Lagerung zurückgeführt werden. Hier wurden die Kanthölzer zu weit nach innen und somit nicht in den Auflagerbereich (außen an den Stirnseiten) gelegt. Die darüber liegenden Kanthölzer lagen dann wieder außen im Auflagerbereich, wodurch das Bauteil falsch belastet und gebrochen wurde.

2.4.2.5 Schäden an Innenwänden (Fallbeispiel Gebäudetyp WBS 70)

Innenwandelemente, welche Abplatzungen durch Stemmarbeiten an den Auflager- oder Vertikalfugen aufwiesen oder mit alternativen Anschlagslöchern versehen waren, wurden der Bauzustandstufe 2 zugeordnet. Bauteile mit Türöffnungen, deren Schäfte kleinere Risse (< 0,4 mm[103]) aufwiesen, wurden ebenso in Bauzustandstufe 2 eingestuft.

Bauzustandstufe 3 umfasst Innenwände mit größeren Abplatzungen, vor allem hervorgerufen durch das Herstellen alternativer Anschlagsöffnungen, welche zum Teil durch den Kettenzug weiter auf-

[103] Anforderungen an die Begrenzung der Rissbreite nach DIN 1045-1 s. Tab. 4, Abschn. 2.3.2.2.

gebrochen waren. Bauteile mit Türöffnungen mit Rissen höherer Breiten (> 0,4 mm) in den Schäften oder im Sturzbereich wurden auch der Bauzustandsstufe 3 zugewiesen.

Mit der Bauzustandstufe 4 wurden 2 Innenwandplatten bewertet bzw. als nicht wiederverwendungsfähig ausgesondert, wobei bei einer der Schaft der Türöffnung komplett gebrochen war. Die andere Innenwand wurde beim Versuch des Aufstemmens der alternativen Anschlagöffnung mittels Meißel am Minibagger zerstört.

2.4.2.6 Schäden an Außenwänden (Fallbeispiel Gebäudetyp WBS 70)

Die Einstufung von 25 % der untersuchten Außenwände in die Bauzustandstufe 2 erfolgte aufgrund geringer Mängel durch Abplatzungen an der Tragschicht im Bereich der aufzustemmenden Fugen. Diese waren sämtlich nur oberflächig. Einen Schwachpunkt stellen die Türöffnungen der Balkontüren dar. Teils entstanden Risse mit geringer Rissbreite (< 0,4 mm). Teilweise wurden Haarrisse im Bereich der Fensteröffnungen in der Wetterschale festgestellt. Hier konnte keine zeitliche Zuordnung der Entstehung und somit keine Ursachenforschung erfolgen.

Keine der untersuchten 32 Außenwandplatten wurde den Bauzustandstufen 3 oder 4 zugeordnet.

2.4.3 Fazit - Hauptprüfung (Entscheidungsstufe 2)

Eine allgemeine Gesamtbewertung, wie bei der Eignungsprüfung (Entscheidungsstufe 1) vorliegt, kann hier nicht gegeben werden. Grund dafür sind die unterschiedlichen Situationen denen der Demontageprozess unterliegt. Mit entscheidend sind eine qualifizierte Planung wie auch kompetente Ausführung der Rückbauprozesse.

Bei der wissenschaftlichen Begleitung verschiedener Rückbauvorhaben durch die Fachgruppe Bauliches Recycling stellten sich vor allem

- Betonabplatzungen an Ecken und Kanten der Betonelemente,
- Ausbrüche an Tragösen,
- freiliegende Bewehrung,
- Haar- und Biegerisse,
- Öffnungen für alternative Anschläge,
- anhaftende Tapetenreste,
- Anhaftungen von Beton- und Mörtelresten sowie von Ausbau- und Einbaumaterialien

als am häufigsten auftretende Mängel, Beschädigungen und/oder Schäden dar.

Von den 80 untersuchten Deckenplatten wiesen 2 (3 %) Risse auf, welche ≤ 0,20 mm Rissbreite (Anforderungswert nach DIN 1045-1:2001-07) aufwiesen.

Von den 43 untersuchten Innenwandelementen weisen 14 (33 %) Risse auf. Betroffen sind vor allem Bauteile mit Türöffnung (zu ca. 66 %). Die Risse treten meist im Bereich des Schaftes beziehungswei-

se im Sturzbereich (s. Abb. 51) auf. Für einen Einsatz als Innenbauteil (XC 1) ist eine Rissbreite bis maximal 0,40 mm zulässig. Drei der betroffenen Elemente weisen Risse mit größerer Rissbreite auf. Dies entspricht ca. 7 % der untersuchten Innenwandbauteile und 20 % der untersuchten Risse in diesem Elementesortiment.

Die Wetterschale der Außenwände kann vor allem im Bereich der Fenster- und Türöffnungen Risse aufweisen. Dies war bei 3 (8%) der untersuchten 36 Außenwandelemente der Fall. Es gilt für Außenwandbauteile eine Rissbreitenbeschränkung auf 0,30 mm (Expositionsklasse XC 4). Diese wurde durch Risse an 2 Bauteilen (6% der untersuchten Außenwandelemente) überschritten.

Abplatzungen an den Elementekanten sind auf die Stemmarbeiten zurückzuführen. Dies führt an den Längskanten der Deckenplatten teilweise dazu, dass die Bewehrung freigelegt wurde. Beim Freistemmen der Tragösen wurden die Elemente teilweise durchschlagen.

Bei Bauteilen mit bereits nicht mehr nutzbaren Tragösen wurden zum Teil Öffnungen für den Einsatz alternativer Anschlagmöglichkeiten (Kette, Spille) eingebracht. Diese können im Falle eines sekundären Einsatzes zur (Wieder-) bzw. Remontage durchaus für die erforderlichen TUL-Prozesse wieder genutzt werden.

2.5 Entscheidungsstufe 3 - Zusatzprüfung

Wie für die Hauptprüfung (Entscheidungsstufe 2) ist für die Zusatzprüfung eine visuelle Begutachtung des Bauzustandes erforderlich. Die Erläuterungen zu möglichen Bauzustandsänderungen durch die TUL-Prozesse sollen am Fallbeispiel WBS 70-Betonelemente[104] fortgeführt werden:

2.5.1 Bauzustandsstufenbewertung nach Umschlag, Transport und Zwischenlagerung

Bei der visuellen Untersuchung der Bauteile nach einer kurzen Zwischenlagerung am Rückbauobjekt und dem Transport zum Zwischenlagerplatz am Standort des Wiederneubaus (Transportentfernung ca. 2 km) konnten folgende Ergebnisse erzielt werden:

[104] Mettke, A.; Heyn, S.: Partieller Rückbau eines Wohngebäudes der WBS 70 in Gröditz (Block 20), BTU Cottbus, 2005.

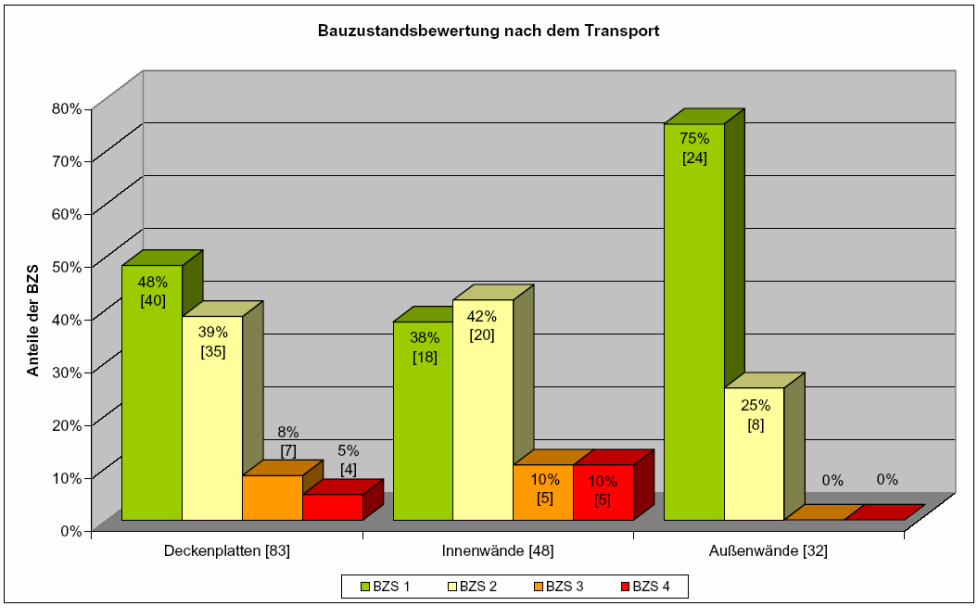


Abb. 49 : Vergleich der Anteile der Bauzustandstufen der Bauteile nach dem Transport (Fallbeispiel)

Gegenüber der Bauzustandsbewertung nach der Demontage wurde eine weitere, aber nur geringe Verlagerung der höheren in die niedrigere Bauzustandsstufe festgestellt. Die Verminderung des Bauzustandes bei den Innenwänden und Deckenplatten lässt sich zum Teil auf eine ungenügende Sorgfalt im Handling der teilweise schon von der Demontage beeinflussten Elemente zurückführen. Durch das wiederholte Umschlagen der Bauteile und den Transport wurden Risse mit zuvor geringer Rissbreite größer. Eine Deckenplatte ist sogar gebrochen. Gerade beim Verladen und Stapeln der Bauteile bewirkt ein Anstoßen des Bauteils an andere Elemente eine Bauzustandsverschlechterung.

Auch zeigt sich hier der Umgang mit den angewandten alternativen Anschlagmitteln als umständlich und schadensanfällig, da hier die aufgestemmten Öffnungen ohne Schutz, wie z.B. den Einsatz von Rohrhülsen, zum Durchführen der Schwerlastkette resp. Spille wiederholt belastet werden und vorhandene Ausbrüche erweitert werden.
Ebenso ist beim Transport sowie bei der erneuten Lagerung der Elemente eine ausreichende und fachgerechte Unterlage von Stapelbrettern und Kanthölzern erforderlich.

2.5.2 Fazit - Zusatzprüfung (Entscheidungsstufe 3)

Es hat sich gezeigt, dass eine visuelle Begutachtung der Bauteile auch in der Entscheidungsstufe 3 in Vorbereitung der sekundären Nutzung angebracht ist. Unerlässlich ist es, wenn der Standort des Wiederneubaus nicht dem des Rückbaus entspricht – das ist zumeist der Fall - und somit Transportmaßnahmen notwendig werden.

Beschädigungen der Bauteile treten hierbei fast ausschließlich durch unsachgemäßes Handling und/oder Zwischenlagerung der Elemente auf. Je mehr Umschlagprozesse für den Transport notwendig werden, desto höher sind die negativen Veränderungen des Bauzustandes. Um diese zu verringern, sind vorbeugende Schutzmaßnahmen an den Bauteilen selbst sowie eine Schulung des Rückbaupersonals für die TUL-Prozesse unabdingbar. Vorteilhaft ist, wenn die Rückbaubrigade auch die

Remontage übernimmt. Dies bewirkt in jeder Hinsicht resp. in jedem Prozessabschnitt einen sorgfältigen, vorausschauenden Umgang mit den Altbetonelementen. Die mechanischen Beschädigungen würden sich auf ein Mindestmaß reduzieren, um den Arbeitsaufwand bei der Remontage und damit die Kosten gering zu halten.

Nach derzeitigem Stand jedoch muss insgesamt mit Verlusten von ca. 5 bis 10 % an Deckenplatten, 10 bis 15 % an Innenwandbauteilen und bis 5 % an Außenwandbauteilen gerechnet werden (vgl. Abb. 50). – wie dieses Fallbeispiel zeigt. D.h. es sind in diesem konkreten Fall mind. 4 Deckenplatten, 5 Innenwandelemente und 2 Außenwandbauteile als Reserve zusätzlich zur Anzahl der für den Wiederneubau vorgesehenen Elemente einzuplanen und zu transportieren. Da unsere Analysen nur eine Trendaussage erlauben, sind weitere begleitende Untersuchungen notwendig. Insbesondere die Evaluation des Aspektes Rückbauunternehmen = Remontageunternehmen wäre hier interessant.

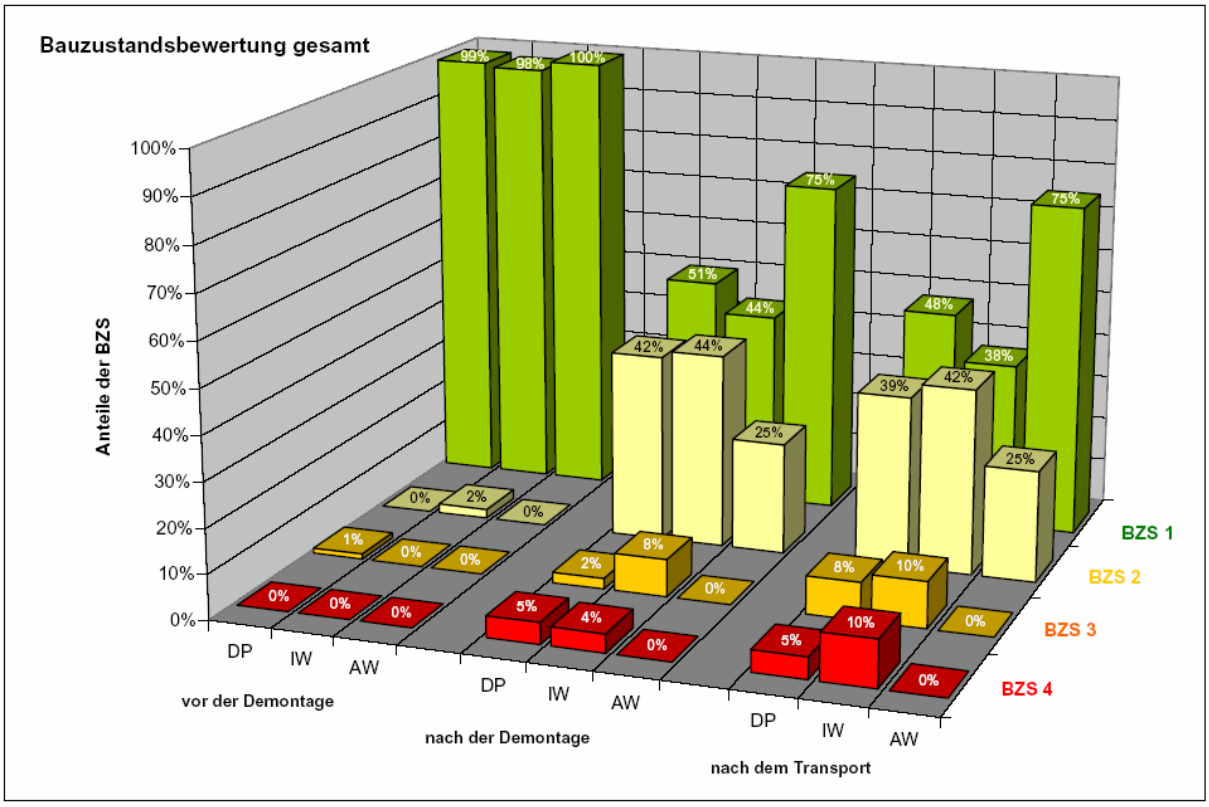


Abb. 50 : Zusammenstellung der Ergebnisse der Bauzustandsuntersuchungen über den gesamten Rückbauprozess (Fallbeispiel Gröditz)

2.6 Konsequenzen für die Wiederverwendung

Eigene, vor 10 Jahren durchgeführte, baustoffliche und –technische Untersuchungen an Altbetonfertigteilen am Sortiment der P2-Bauserie (hergestellt in den 1970er Jahren) ergaben, dass sich für Wiederverwendungen insbesondere die ehemals tragenden Innenwände und die Deckenplatten von den Normalgeschossen eignen[105]. Diese Erkenntnis gilt heute als gesichert – auch für andere Plattenbautypen. Bis auf die Trennwände und diejenigen mehrschichtigen Außenwände, in denen Kamilit als Dämmstoff verwendet wurde, ist darüber hinaus im Prinzip fast das gesamte Altbetonfertigteilsortiment nachnutzbar. Erprobt wurde, bspw. beim Bau der Stadtvillen in Cottbus[106], auch der wiederholte Einsatz von Sanitärzellen, Treppenläufen und –podesten. Allerdings ist der sekundäre Verwendungszweck bzw. sind die sekundären Anforderungen entscheidend, ob eine Ertüchtigung der Bauelemente erforderlich wird und wirtschaftlich vertretbar ist, im Vergleich zu einem neuen Bauelement. Die Untersuchungen zur Tragfähigkeit der Dachplatten und der obersten Geschossdecke (Drempelgeschoss) der PN 36-NO-Bauserie nach aktuellen bautechnischen Bestimmungen haben bspw. ergeben, dass sie nicht zur Wiederverwendung entsprechend des primären Verwendungszweckes geeignet sind. Deshalb ist es erforderlich, Anwendungsmöglichkeiten zu analysieren und zu testen, wo ihr Einsatz als Produkt ausreichend ist.

Die von der FG Bauliches Recycling durchgeführten Untersuchungen belegen eindeutig, dass demontierte Betonfertigteile resp. Altbetonbauteile bei sachgemäßem Rückbau, Transport und Zwischenlagerung in Größenordnungen für Wieder- oder Weiterverwendungen bereitgestellt werden können.

3 Aufarbeitung von Altbetonelementen

Entsprechend ihres sekundären Einsatzes sind gebrauchte Stahl- bzw. Spannbetonfertigteile in ihren ursprünglichen Gebrauchseigenschaften entweder zu erhalten bzw. wiederherzustellen und/oder an aktuelle technische Standards anzupassen. Sofern Elemente beschädigt sind oder Schäden aufweisen, sind sie entsprechend ihrem sekundären Verwendungszweck zu beheben. Denn wiederverwendbar sind nur solche Bauteile, die eine bestimmte, den Nutzungsanforderungen entsprechende Qualität aufweisen.

In diesem Kapitel sind mögliche Schadensbilder an ausgebauten/demontierten Betonelementen aufgeführt, die im Rahmen unserer begleiteten Analysen hauptsächlich festgestellt wurden. Daneben wird auf deren Ursache eingegangen. Im Anschluss daran werden, gemäß den Schadensbildern, Maßnahmen zur Vorbeugung der Beschädigung sowie zur Instandsetzung aufgezeigt. Hinweise zu bauphysikalischen Sanierungen schließen sich hier an.

[105] vgl. Mettke, A.; Thomas, C.: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, Materialien zur Abfallwirtschaft, S. 29 ff..
[106] Bauherrenpreis Modernisierung 2003, Aktion Hohe Qualität – Tragbare Kosten, S.14.

3.1 Typische Schadensbilder

Im Hinblick auf einen Wieder- und Weiterverwendungsprozess von Stahl- bzw. Spannbetonelementen führt METTKE[107] folgende mögliche Bauschäden, Beschädigungen und/oder Mängel an:

- bau- bzw. rückbauseitige Fehler (Planungsfehler, mangelhafte Elementeherstellung, unsachgemäße Montage sowie De- und Remontage),
  - Kantenbeschädigungen (im Rahmen der Demontage infolge unsachgemäßer Trennung der Bauelemente aus dem Verband bspw. durch mechanische Einwirkungen),
  - Strukturveränderungen (im Rahmen der Demontage, infolge unsachgemäßer Trennung der Bauelemente aus dem Verband durch thermische Einwirkungen),
- Abnutzungen, Verschleißerscheinungen (witterungs- und nutzungsbedingt),
- Verformungen (Durchbiegungen, Ausknicken etc.),
- Risse (statisch und konstruktiv bzw. technologisch bedingt),
- Korrosion.

Die von der FG Bauliches Recycling in den letzten Jahren (2000-2006) durchgeführten Untersuchungen an ausgebauten Betonelementen bestätigen dies, denn im Allgemeinen weisen sie folgende Schäden oder Beschädigungen auf:[108]

- Ausbrüche an Tragösen,
- Betonabplatzungen an Ecken und Kanten,
- freiliegende Bewehrung,
- Haar- und Biegerisse,
- kleinere und größere Anhaftungen von Beton- und Mörtelresten an den Fugenrändern,
- teilweise korrodierte bzw. nicht mehr vorhandene Verbindungsmittel aus Stahl,
- Beton- und Mörtelreste innerhalb und außerhalb der Hohlräume in Deckenplatten,
- noch anhaftende Ausbau- und Einbaumaterialien am Betonelement.

3.1.1 Typische Schadensbilder durch Demontage- und TUL-Prozesse

Nachstehend werden häufige Schadensbilder an Elementen der Großtafelbauweise/Plattenbauweise und der Mischbauweise skizziert, die von der FG Bauliches Recycling aufgenommen und dokumentiert wurden[109].

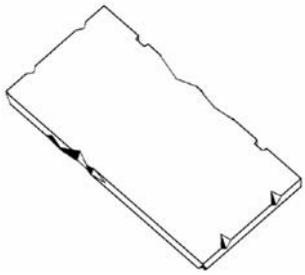
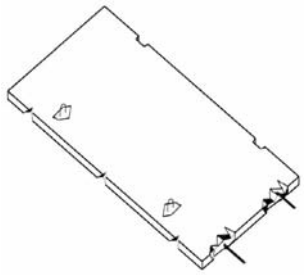
3.1.1.1 Schadensbilder an Deckenplatten

Hauptmängel am Bauzustand der Deckenplatten sind Abplatzungen entlang der aufgestemmten Fugen, bei denen zum Teil auch Bewehrungsstähle freigelegt wurden. Auch treten zum Teil Beschädigungen an den Auflagern des Elementes auf, welche aus den notwendigen Stemmarbeiten zum Lö-

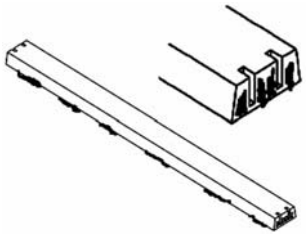
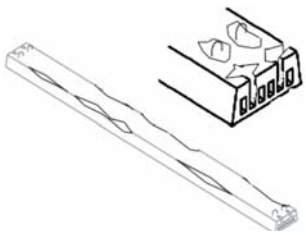
[107] Mettke, A.: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, S. 109.
[108] Mettke, A.; Lassan, B.; Britze, M.: Schadensbilder von demontierten Betonfertigteilen, BTU Cottbus, 2004, unveröffentlicht.
[109] ebenda.

sen des Bauteils resultieren. Ebenso können die Elemente beim Freilegen der Tragösen durch den Minibaggereinsatz teilweise durchschlagen werden.

Tab. 30: Schadensbilder von demontierten Deckenplatten der WBS 70

Mögliches Schadensbild nach der Demontage	Schadensbeschreibung	Schadensursache	Reale Darstellung
	Abplatzungen an Ecken und Kanten Typische Abplatzungen an den Stirnseiten der Elemente	Trennprozess	
	Beton- und Mörtelreste an den Seitenrändern Ausbrüche an freigelegten Tragösen	Aufstemmen der Tragösen zur Demontage	

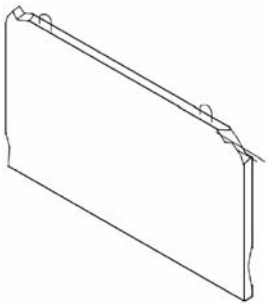
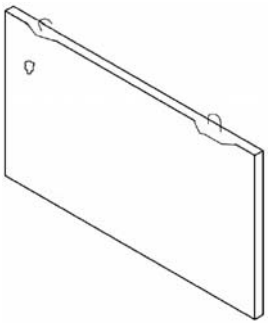
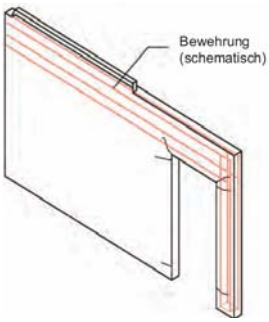
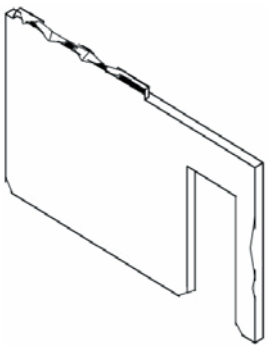
Tab. 31: Schadensbilder von demontierten Deckenplatten des Schultyps „Dresden“ (Mischbauweise)

Mögliches Schadensbild nach der Demontage	Schadensbeschreibung	Schadensursache	Reale Darstellung
	Deckenhohlräume mit Beton- und Mörtelresten gefüllt Beton- und Mörtelrückstände an den Fugenrändern	Durch Fugenverguss schon während der Bauphase	
	Oberflächenzerstörung Freiligende Bewehrungsstähle (vorwiegend an den Enden Betonausbrüche an den Tragösen Ecken- und Kantenabplatzungen Beschädigte Auflager	Nicht sachgemäßer Trennprozess Bewehrungskorrosion Mechanische Einwirkungen	

3.1.1.2 Schadensbilder an Innenwänden

Innenwandelemente weisen teilweise Abplatzungen durch Stemmarbeiten an den Auflager- oder Vertikalfugen auf oder sind mit alternativen Anschlagslöchern versehen, welche mitunter durch den Kettenzug weiter aufgebrochen sind. Bei Bauteilen mit Türöffnungen können sich Risse an deren Schäften oder im Sturzbereich einstellen.

Tab. 32: Schadensbilder von demontierten Innenwandelementen der WBS 70

Mögliches Schadensbild nach der Demontage	Schadensbeschreibung	Schadensursache	Reale Darstellung
	Betonabplatzungen an Ecken und Kanten Freiliegende Bewehrung Schäden treten häufiger an der Oberseite des Elementes auf	Nicht sachgemäßer Trennprozess	
	Beschädigungen von Tragösen Durchbohren des Elementes zur Demontage (alternatives Anschlagen) Ausbrüche an den Tragösen	Trennprozess Mechanische Einwirkungen	
	Oberflächenrisse Biegerisse	Spannungen bei der Demontage	
	Betonabplatzungen an Ecken und Kanten	Spannungen bei der Demontage Mechanische Einwirkungen	

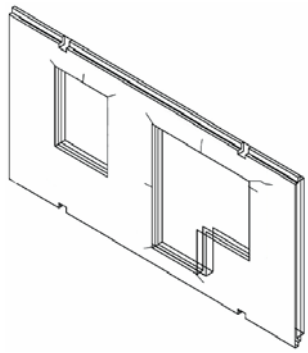
Tab. 33: Schadensbilder von demontierten Innenwandelementen des Schultyps „Dresden“ (Mischbauweise)

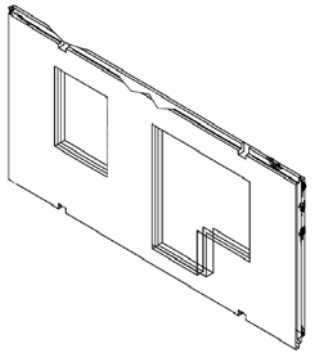
Mögliches Schadensbild nach der Demontage	Schadensbeschreibung	Schadensursache	Reale Darstellung
	Betonabplatzungen an Ecken und Kanten Ausbrüche an den Tragösen	Trennverfahren	
	Anhaftungen von Beton- und Mörtelrückstände an den Fugenrändern	Trennverfahren: Fugenmörtel besitzt hohe Festigkeit; guter Haftverbund zwischen Fugenmörtel und Betonelement	

3.1.1.3 Schadensbilder an Außenwänden

Außenwände können geringe Mängel durch Abplatzungen an der Tragschicht im Bereich der aufgestemmten Auflagerfugen zeigen. Teils entstehen Risse an den Türschwellen der Balkontüren und im Bereich der Fensteröffnungen durch ungenügendes Freilegen der Auflagerfuge.

Tab. 34: Schadensbilder von demontierten Außenwandelementen der WBS 70

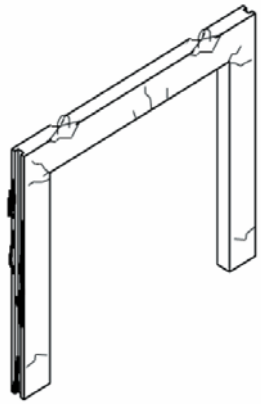
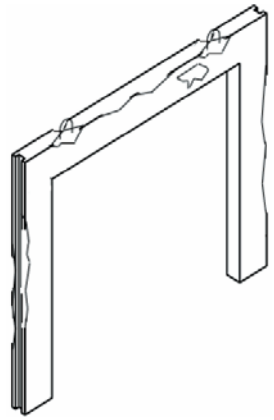
Mögliches Schadensbild nach der Demontage	Schadensbeschreibung	Schadensursache	Reale Darstellung
	Oberflächenrisse Biegerisse	Spannungen bei der Demontage	

	Leichte Betonabplatzungen an Ecken und Kanten vorwiegend außenseitig Beton- und Mörtelreste an Seitenrändern Freiliegende Bewehrung Verbindungsstähle freiliegend mit beginnender Korrosion	Trennprozess	

3.1.1.4 Schadensbilder an Innenwandrahmen

An einigen Innenwandrahmenelementen haften Materialien aus Ausbau- und haustechnischen Gewerken wie Putz, Tapeten, Fliesen, Farben. Leerrohre, Leitungsbündel.

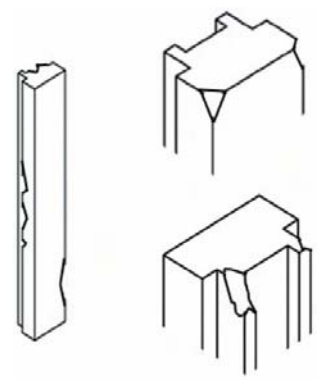
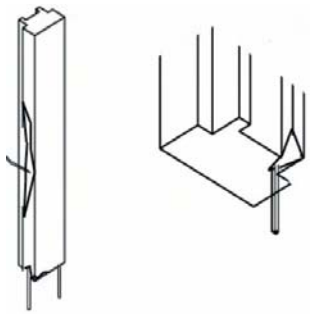
Tab. 35: Schadensbilder von demontierten Innenwandrahmen des Schultyps „Dresden“ (Mischbauweise)

Mögliches Schadensbild nach der Demontage	Schadensbeschreibung	Schadensursache	Reale Darstellung
	Haar- und Biegerisse Beton- und Mörtelreste an Fugenrändern Ausbrüche an Tragösen	Technologisch bedingt durch Umschlagprozesse	
	Abplatzungen an Ecken und Kanten Lokale flächenmäßige Betonabplatzungen	Nicht sachgemäßer Trennprozess Beginnende Bewehrungskorrosion	

3.1.1.5 Schadensbilder an Stützen

Die Verbindungsstellen der Stützen weisen Betonausbrüche an Ecken und Kanten auf. Augenfällig sind Deformationen der Steckverbindungsstähle.

Tab. 36: Schadensbilder von demontierten Stützen des Schultyps „Dresden“ (Mischbauweise)

Mögliches Schadensbild nach der Demontage	Schadensbeschreibung	Schadensursache	Reale Darstellung
	Oberflächenrisse Biegerisse Betonausbrüche an Verbindungsstellen, Ecken und Kanten	Mechanische Einwirkungen bei unsachgemäßer Demontage	
	Steckverbindungsstähle deformiert und zum Teil ausgebrochen Beton- und Mörtelreste an Seitenrändern	Mechanische Einwirkungen bei der Demontage	

3.2 Bewertung und Ableitung vorbeugender Maßnahmen zur Verminderung von Beschädigungen an Betonelementen durch Demontage- und TUL-Prozesse

Um den entstandenen Schadensbildern – wie in Abschnitt 4.1 umrissen - entgegen zu wirken, wird an dieser Stelle auf vorbeugende Maßnahmen hingewiesen. Diese Maßnahmen beziehen sich neben der fachgerechten Demontage auch auf die sachgemäße Lagerung der Elemente, da hier eine große Fehlerquelle zu verzeichnen ist.

Deckenplatten

Zur Verhinderung der oben angegebenen Mängel oder Beschädigungen empfiehlt sich eine Kontrolle der durchtrennten Verbindungseisen jedes Elementes vor der Demontage durch den Anschläger. Ebenso muss der Einsatz des Abbruchwerkzeugs am Minibagger zur Öffnung der Fugen mit der notwendigen Ruhe und Präzision ausgeführt werden. Für das Aufstemmen der Tragösen eignen sich handgeführte E- bzw. Presslufthämmer, um ein Durchschlagen der Deckenplatte zu vermeiden und evtl. Beschädigungen der Tragöse zu vermeiden.

Der konventionelle Handabbruch mit relativ geringer Leistung und hoher physischer Belastung des Arbeitnehmers ist durch den Einsatz von Minibaggern mit Werkzeugen zurückgegangen. Allerdings ist die Qualität des Fugenmörtels für die Wahl der Technik (manuell oder maschinell) mit entscheidend. Minderwertig hergestellter Fugenmörtel wirkt sich bei der Demontage positiv aus. Neben der Ausführung und der eingesetzten Technik spielt die Handhabung und Geschicklichkeit der Arbeitnehmer eine Rolle. Der anthropogene Faktor ist demzufolge mit entscheidend, wie oder ob überhaupt bspw. Kanten beschädigt werden. Bei entsprechender Einweisung des Beschäftigten sind solche Beschädigungen weitestgehend vermeidbar.

Die Zwischenlagerung der Deckenplatten ist wie bei der Montage fachgerecht abzuwickeln. Der Abschläger ist einzuweisen. Die Stapelhölzer müssen im Bereich des Auflagers (möglichst weit außen) genau übereinander ausgerichtet sein.

Innenwände

Hauptproblem bei der Innenwanddemontage stellen die Schäfte der Türöffnungen dar. Entgegen der Montage, bei der die Türöffnung im Türfuß mit einem Stabeisen aufgrund des schmalen Schaftes „gehaltert“ war, welche nach der Montage abgetrennt wurde, ist besonders der Türeckenbereich bei den TUL-Prozessen gefährdet. Hier kann bspw. durch das Anbringen eines Flachstahls oder Bandeisens im Fußbereich der Türöffnung der Schaft gegen ein Abscheren und Verdrehen während der Demontage gesichert werden. Diese Schiene kann durch eine Ausführung mit Dübeln und Schrauben oder mittels Durchstecksystem einfach montiert und nach der Remontage wieder abgebaut werden. Auch muss während der Zwischenlagerung der Schaft fachgerecht mit Bohlen oder Stapelhölzern unterlegt werden, um hier Scherkräfte durch ein Auskargen zu unterbinden.

Des Weiteren sind möglichst zerstörungsfreie Lösungen des alternativen Anschlagens zu wählen. Denkbar sind hier der Einsatz von Zangen oder Klemmen sowie das Anbringen von Anschlagmitteln an der Oberseite des Bauteils über Schwerlastdübel. Letzteres würde zudem den Zwischenlagerungsprozess erleichtern, da dann keine seitlich überstehenden Lastaufnahmemittel das Aneinanderreihen der Bauteile behindert.

Wie auch bei den Stemmarbeiten bei der Demontage der Deckenplatten ist auch hier der fachgerechte Umgang mit dem Hydraulikhammer des Minibaggers anzumerken. Die Stemmarbeiten müssen sorgfältig über die gesamte Länge der Auflagerfuge durchgeführt werden. Besonders gewissenhaft sind die vertikalen wie horizontalen Fugen am Schaft aufzustemmen, um hier den Eintrag von Scherkräften auszuschließen.

Außenwände

Hauptursache der Beschädigungen an Außenwänden ist wiederum die unzureichende Freilegung der Auflagerfugen. Generell ist die Auflagerfuge vorsichtig und komplett aufzustemmen. Insbesondere ist auf den Bereich der Balkontüren hinzuweisen, da dieser aufgrund des geringen Querschnitts die Schwachstelle bei der Demontage dieser Elemente darstellt.

Zur Lagerung der Bauteile muss bei den Außenwänden die Tragschale mit Bohlen unterlegt werden, damit die Wetterschale nicht belastet wird.

Es sind generell die Fugen komplett aufzustemmen. Ein Losreißen der Betonelemente aus dem Verbund ist untersagt. Die hier getroffenen Aussagen gelten nicht nur für Betonelemente der Baureihe WBS 70, sondern für alle in Plattenbauweise hergestellten Gebäudetypen.

Vorbeugende Maßnahmen zur Vermeidung von Beschädigungen an ausgewählten Betonelementen bei der Demontage und den erforderlichen TUL-Prozessen von Gebäuden in Block-, Streifen- und Mischbauweise sind:

Deckenplatten

Der Anschlag der Deckenplatten kann über ein Vierstranggehänge ausgeführt werden, wenn die Tragösen des Deckenelementes nachnutzbar sind. In diesem Fall können die Stränge auf einer Längsseite kürzer gehängt werden. Daraus resultiert ein leichtes Ankippen des Bauteils beim Abheben, wodurch sich die Auflagerfuge sowie die Längsfuge zum Nachbarbauteil löst. Somit ist nur das Aufstemmen einer Längsfuge des Deckenplattenverbundes über die Gebäudebreite erforderlich. Beschädigungen durch die Stemmarbeiten können so minimiert werden.

Beim Einsatz von Hebebändern oder Krangabeln müssen diese möglichst nah an den Auflagern der Deckenplatten angesetzt werden. Um einen senkrechten Krafteintrag zu ermöglichen, ist dabei der Einsatz einer Traverse empfohlen.

Deckenelemente sind grundsätzlich in Einbaulage zwischenzulagern und zu transportieren. Die Stapelhölzer müssen im Auflagerbereich senkrecht übereinander angeordnet sein, um schädigende Lasteinwirkungen durch darüber liegende Deckenelemente zu vermeiden.

Wandelemente/ -blöcke

Wie auch bei der Demontage von Wandelementen in Plattenbauweise ist das sorgfältige Aufstemmen der horizontalen Auflagerfugen als auch der Vertikalfugen ausschlaggebend für die Verminderung von Kantenausbrüchen und das Vermeiden von Rissen im Bauteil. Da insbesondere die vertikalen Bauteilfugen durch den vorhandenen Putzauftrag nur schwer erkennbar sind, sollten diese im Vorfeld der Demontage auf der Basis von Abstandsmessungen (Bauteilbreite nach Planungsunterlagen) markiert werden. Das Lösen der Auflagerfuge kann auch durch ein leichtes Ankippen des Bauteils im angeschlagenen und somit gesicherten Zustand erfolgen.

Das Anschlagen der Bauteile sollte über die nachnutzbaren Tragösen der Wandelemente erfolgen. Sind diese nicht mehr gebrauchsfähig oder wie z.B. beim Blockbau nicht vorhanden, empfiehlt sich der Einsatz von Zangen oder Klemmen, da diese ein zerstörungsfreies Anschlagen ermöglichen. Alternative Anschlagvarianten mittels Durchstecksystemen sind immer mit der Schaffung von Öffnungen und somit einer Beschädigung der Betonelemente verbunden.

Wandbauteile müssen stehend gelagert und transportiert werden.

Innenwandrahmen

Das Anschlagen der Innenwandrahmen zur Demontage sollte an den nachnutzbaren Tragösen erfolgen. Sind diese nicht gebrauchsfähig, können die Innenwandrahmen auch mittels Hebebänder ange-

schlagen werden. Diese sollten um den Sturz des Bauteils im Bereich der Stiele geschlungen werden. Um einen senkrechten Lasteintrag zu erzielen, empfiehlt sich der Einsatz einer Traverse. Die Auflager der Innenwandrahmen sind vollständig zu lösen. Der Estrich über dem Verbindungsstahl zwischen den unteren Stielenden ist vollständig abzustemmen.

Die demontierten Innenwandrahmen sind stehend zu lagern und zu transportieren.

Stützen

Auch bei der Stützendemontage sollten nachnutzbare Tragösen zum Bauteilanschlag mit einem Einstranggehänge (Hakenkette) genutzt werden. Ist die nicht möglich, empfiehlt sich der Einsatz von Zangen, Klemmen oder speziellen Stützengehängen, welche auch bei der Stützenmontage zum Einsatz kamen. Die Auflagerfuge ist vollständig freizustemmen. Die Lagerung und der Transport der Stützen erfolgt liegend, wobei das Ablegen und das Aufrichten des Bauteils mit der notwendigen Sorgfalt ausgeführt werden muss. Ein Verbiegen der Steckverbindungsstähle an der Ober- und Unterseite des Bauteils ist durch einen senkrechten Krafteintrag bei der Demontage und durch die Verwendung von Bohlen bei der Bauteillagerung zu vermeiden.

3.3 Maßnahmen zur Instandsetzung der Betonelemente

3.3.1 Generelles

Instandsetzungsarbeiten als Teil von Sanierungsmaßnahmen an Bauwerken und Bauwerksteilen aus Stahlbeton haben sich in den letzten Jahren zu einem eigenständigen Arbeitsgebiet entwickelt. Neben der Entwicklung von neuen Produkten und Verfahren gibt es spezielle Regelwerke, die als Grundlage für Ausschreibungen, Materialanforderungen, Abwicklung und zur Qualitätssicherung von Instandhaltungs- und –setzungsmaßnahmen dienen. Zu nennen ist hier an erster Stelle, die seit Ende 2004 in allen Bundesländern bauaufsichtlich eingeführte Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, kurz: Instandsetzungsrichtlinie (Instandsetzungs-Rili)[110]. Das Ausführen, Prüfen und Überwachen von Arbeiten nach der Instandsetzungsrichtlinie erfordern den Einsatz von qualifiziertem Fachpersonal.

Die in der Instandsetzungsrichtlinie **geregelten Arbeiten** sind[111]:

- Herstellung des dauerhaften Korrosionsschutzes der Bewehrung bei unzureichender Betondeckung,
- Wiederherstellung des Korrosionsschutzes bereits korrodierter Betondeckung,
- Erneuerung des Betons im oberflächennahen Bereich (Randbereich), wenn der Beton durch äußere Einflüsse oder infolge Korrosion der Bewehrung geschädigt ist,
- Füllen von Rissen und Hohlräumen,
- Vorbeugender zusätzlicher Schutz der Bauteile gegen des Eindringen von beton- und stahlangreifenden Stoffe,
- Erhöhung des Widerstandes von Betonoberflächen gegen Abrieb und Verschleiß.

[110] DAfStb-Richtlinie – Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungsrichtlinie) Stand 10/2001.
[111] ebenda, Teil 1, Abschn. 1, Abs. (2).

Ziele dieser Arbeiten im Sinne der Instandsetzungsrichtlinie sind[112]:

- die Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Betonbauteile gegen das Eindringen betonangreifender oder korrosionsfördernder Stoffe oder gegen mechanische Einwirkungen an der Bauteiloberfläche,
- der dauerhafte Ersatz von zerstörtem oder abgetragenen Beton durch Beton oder Mörtel sowie den dauerhaften Schutz der Betonbauteile,
- der dauerhafte Korrosionsschutz der Bewehrung, soweit korrodierender Bewehrungsstahl wegen unzureichender Dicke oder Dichtheit der Betondeckung als Schadensursache in Betracht kommen,
- das Füllen von Rissen und Hohlräumen zur Erhaltung oder Wiederherstellung der Tragfähigkeit, Gebrauchsfähigkeit und Dauerhaftigkeit.

Nach einer ausreichenden Untergrundvorbereitung kommen gemäß der Instandsetzungsrichtlinie folgende **grundsätzliche Maßnahmen** zur Ausführung[113]:

- Füllen von Rissen und Hohlräumen mit Reaktionsharz, Zementleim oder Zementsuspension,
- Ausfüllen örtlich begrenzter Fehlstellen mit Mörtel oder Beton,
- großflächiges Auftragen von Mörtel oder Beton,
- Auftragen von Hydrophobierungen,
- Auftragen von Imprägnierungen,
- Auftragen von Beschichtungen.

Diese Maßnahmen können je nach Ziel der Schutz- und Instandsetzungsmaßnahme auch kombiniert angewandt werden.

Durch das Verschließen bzw. Füllen von Rissen oder Hohlstellen soll das Eindringen korrosionsfördernder Stoffe verhindert werden. Es dient der Wiederherstellung eines monolithischen Bauteilverhaltens. Das Ausfüllen örtlich begrenzter Fehlstellen soll die ursprüngliche Bauteiloberfläche wiederherstellen (Reprofilierung). Dies ist nur bei Schäden möglich, welche nicht durch korrodierende Bewehrung entstanden sind. Das großflächige Auftragen von Mörtel oder Beton kann über folgende Verfahrensweisen ausgeführt werden.

- Herkömmliches **Anbetonieren**: Am Bauwerk, d.h. im remontierten Zustand, wird der fehlende Beton durch praktisch gleiches Material in einer Schalung an den vorbereiteten, d.h. sorgfältig gereinigten Untergrund aufgebracht. Besonderes Augenmerk gilt dabei dem Haftverbund zwischen Untergrund und „Neubeton“.[114]

- Anbetonieren und Ausbessern mittels **Spritzbeton**: Bei diesem Verfahren wird ein Zement-Zuschlagstoffgemisch unter hohem Druck auf die betreffende Betonoberfläche gespritzt. Als Ausgangsstoff wird ein Bindemittel-Sandgemisch (Körnung 0 – 8 mm) mit einem Feuchtegehalt von 4 – 5 % eingesetzt. Für eine gute Haftung des Spritzbetons ist ein Vornässen des Untergrundes wich-

[112] DAfStb-Instandsetzungsrichtlinie (10/2001) Teil 1, Abschn. 5.1, Abs. (1) –(4).
[113] ebenda,, Abschn. 5.3.1 Abs. (1).
[114] Fitz, S.: Sanierung von Bauwerken, in: Handbuch des Umweltschutzes, S. 333.

tig, damit vermieden wird, dass die zum Abbinden notwendige Feuchtigkeit zu rasch aufgesogen wird.[115]

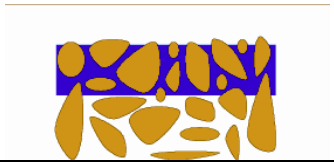
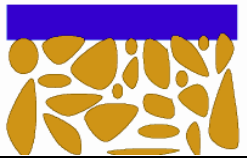
Um den verschärften Umweltbedingungen der Gegenwart vorzubeugen und somit die Dauerhaftigkeit der Elemente für einen sekundären Nutzungsprozess sicherzustellen, gibt es eine Reihe von Oberflächenschutzsystemen, welche eine Schadstoffdeposition behindern, im günstigsten Fall sogar verhindern:

- **Hydrophobierung**: „Schutzbehandlung, die eine Baustoffoberfläche dadurch wasserabweisend macht, dass deren Saugfähigkeit durch ungleichmäßige Auskleidung der Porenwandungen herabgesetzt wird. Als Hydrophobierungsmittel kommen pigment- und füllstofffreie Produktgruppen (vorwiegend Silane, Siloxane und Silicone) zur Anwendung, die nicht filmbildend wirken.“[116] Hydrophobierungsstoffe dringen je nach Betongüte bis zu 5 mm in den Betonuntergrund ein. Damit wird das Eindringen beton- und stahlangreifender Stoffe behindert. Optisch wird die Betonoberfläche nur unwesentlich verändert, was auf die fehlende Filmbildung zurückzuführen ist. Der Abperleffekt lässt mit der Zeit nach, was aber kein Syndrom für das Nachlassen der Schutzwirkung ist. Neigungen zu Verschmutzungen wie auch der Befall von Algen, Moosen und Pilzen werden vermindert[117]. Es ist allerdings mit einer begrenzten Schutzwirkungsdauer von 5 bis 10 Jahren zu rechnen. Hydrophobierungen bieten folglich eine Möglichkeit für den Schutz von Innenbauteilen, welche sekundär im Außenbereich eingesetzt werden.
- **Versiegelung**: Dabei werden die oberflächennahen Kapillarporen des Betonuntergrundes, bei gleichzeitiger Bildung eines dünnen zusammenhängenden Oberflächenfilms, teilweise ausgefüllt. Versiegelungen sind die Vorstufe einer Beschichtung. Sie reduzieren die Wasseraufnahme, die Aufnahme von in Wasser gelösten Schadstoffen und die CO_2-Diffusion.[118]
- **Beschichtung**: Neben der Reduzierung/Verhinderung des Eindringens von Wasser und wassergelösten Schadstoffen lassen sich mit Hilfe bestimmter Bindemittelgruppen und Schichtdicken gezielt weitere Eigenschaften beeinflussen, wie z.B. Diffusionswiderstand, Rissüberbrückung, Verschleißfestigkeit und Chemikalienbeständigkeit.[119] Als Werkstoffe werden Acrylate gelöst, Epoxidharze, Polymerdispersionen und Zementschlämme eingesetzt[120].

Eine Gegenüberstellung der Oberflächensysteme unter den Aspekten Vor- und Nachteile ist nachfolgender Tabelle entnehmbar.

[115] Fitz, S.: Sanierung von Bauwerken, in: Handbuch des Umweltschutzes, S. 334.
[116] Luley, H. et.al.: Instandsetzen von Stahlbetonoberflächen: Köln, 1994, S. 110.
[117] Mettke, A., Lassan, B., Britze, M.: Betoninstandsetzung und Oberflächenschutz von Betonfertigteilelementen, BTU Cottbus, 2005, S. 16.
[118] Luley, H. et.al.: Instandsetzen von Stahlbetonoberflächen, Köln, 1994, S. 50.
[119] ebenda, S. 51.
[120] Mettke, A., Lassan, B., Britze, M.: Betoninstandsetzung und Oberflächenschutz von Betonfertigteilelementen, BTU Cottbus, 2005, S. 16.

Tab. 37: Synopse der Vor- und Nachteile von Oberflächenschutzsystemen[121]

Oberflächen-schutz-system	Hydrophobierung	Versiegelnde Imprägnierung	Beschichtung
Symbolische Darstellung			
Vorteile	▪ leichte, schnelle Verarbeitung ▪ günstiger Schutz ▪ Verbesserung des Frost-Tausalz-Widerstandes ▪ die Aufnahme von Schadstoffen wird behindert ▪ begrenzte Reduzierung der kapillaren Wasseraufnahme bei eigen-ständiger Maßnahme	▪ keine Adhäsionprobleme ▪ keiner mechanischen Belastung ausgesetzt ▪ hohe Verschleißfestigkeit ▪ Druckwasserdicht ▪ Ableitfähigkeit ▪ geeignet für rückseitige Durchfeuchtung	▪ Reduzierung des Eindringens von Wasser und wassergelösten Stoffen ▪ Beeinflussung des Diffussionswiderstandes ▪ Rissüberbrückungsfähigkeit ▪ Verbesserung der Verschleißfestigkeit ▪ Verbesserung der Chemiekalienbeständigkeit
Nachteile	▪ keine Verfestigung der Betonoberfläche ▪ keine Abdichtung gegen drücken-des Wasser ▪ keine Verbesserung des Karbonatisierungswiderstandes	▪ kein Rauhigkeitsausgleich möglich	▪ Adhäsionsprobleme ▪ Mechanische Belastung ausgesetzt ▪ hohe Materialmengen erforderlich

Bekannt ist, dass jedwede Betoninstandsetzung einer gründlichen Vorbereitung des Untergrundes bedarf. Im Bereich von Abplatzungen, Rissen und Hohlstellen sind sämtliche lockeren Gefügeteile zu entfernen. Möglich ist dies mittels:

- Sandstrahlen,
- Flammstrahlen,
- Hochdruckwasserstrahlen,
- Fräsen (zum Entfernen von Schichten > 1 mm Dicke).

Bezug nehmend auf die vorangestellten Schadensbilder demontierter Betonelemente sollen im folgenden Abschnitt Möglichkeiten der Betonsanierungsarbeiten und Oberflächenschutzsysteme umrissen werden.

[121] Mettke, A., Lassan, B., Britze, M.: Betoninstandsetzung und Oberflächenschutz von Betonfertigteilelementen, BTU Cottbus, 2005, S. 17.

3.3.2 Einzelmaßnahmen zur Instandsetzung der Betonbauteile

- **Füllen von Rissen und Hohlräumen**

  Das Schließen der Risse kann durch Tränkungen (ohne Druck bzw. Druck < 0,1 bar) oder durch Injektionen (Füllen der Risse unter Druck) erfolgen.

  Beim Schließen von Rissen durch Tränkung werden Epoxidharze, Zementleim oder Zementsuspensionen eingesetzt. Die Tränkung darf nur auf annähernd horizontalen Flächen erfolgen. Risse und Risszonen sind vor der Tränkung zu säubern.

  Zum Schließen und Abdichten von Rissen und Hohlräumen durch Injektionen setzt man Systeme auf Basis von Epoxidharzen (EP-I), Polyurethanen (PUR-I) bzw. Zementleimen (ZL-I) und Zementsuspensionen (ZS-I) ein.

  Das Einbringen von Injektionsgut unter Druck zur vollständigen Verfüllung des Risses geschieht mit Hilfe von Einfüllstutzen (Packer). Dabei haben sich zwei Hauptarten durchgesetzt:, der Klebepacker und der Bohrpacker.

  Für das *dehnfähige* Verbinden kommen Polyurethansysteme (PUR-I) zum Einsatz.

  Trockene Risse werden mit Wasser vorinjiziert, um die Dehnfähigkeit zu gewährleisten (Porenbildung durch Reaktion der Polyurethane mit Wasser).

  Zum *kraftschlüssigen* Verbinden eignen sich Epoxidharzsysteme (EP-1) bei trockenen Rissufern. Die Zugfestigkeit beim Einsatz von EP-1 wird hierbei durch die Qualität des Betons bestimmt und bei Verwendung von Zementleim (ZL-I) bzw. Zementsuspension (ZS-I) von den Füllguteigenschaften.

  Nachstehende Tabelle vermittelt überblicksmäßig rissfüllspezifische Anwendungsbedingungen für Injektionen.

Tab. 38: Rissfüllspezifische Anwendungen für Injektionen nach Instandsetzungs-Rili[122]

Merkmal	Epoxidharz EP-I	Polyurethanharz PUR-I	Zementleim ZL-I	Zementsuspension ZS-I
Rissart	Trennriss oder oberflächennaher Riss	Trennriss	Trennriss	Trennriss oder oberflächennaher Riss
Rissbreite w	≥0,10 mm	≥0,30 mm; kleiner beim Ziel Abdichtung	≥0,30 mm	≥0,25 mm
Feuchtezustand	trocken	Feucht (evtl. vornässen); wasserführend	Feucht (evtl. vornässen); wasserführend	Feucht (evtl. vornässen); wasserführend

- **Sanierung örtlich begrenzter Fehlstellungen/Ausbrüchen im Beton, Kantenabplatzungen an Fugenrändern mit Mörtel oder Beton[123]**

  Ziel ist es die Bauteiloberfläche wieder herzustellen. Diese Maßnahme greift nur, wenn der Schaden nicht durch korrodierende Bewehrung hervorgerufen wurde. Als Materialien kommen zementgebundene mit Kunststoff vergütete Mörtel oder Betone (PCC), rein kunststoffgebun-

[122] DAfStb-Instandsetzungsrichtlinie (10/2001) Teil 2, Abschn. 6, Tab. 6.4.
[123] ebenda, Teil 1, Abschn. 5.3.2.2.

dener Mörtel (PC) und reaktionsharzgebundene Mörtel oder Betone in Frage[124]. Der Auftrag erfolgt von Hand, im Spritzverfahren oder auch in Schalung. Abhängig ist dies – wie bei allen Sanierungsvarianten – von Sanierungsumfang.

- **Flächiges Auftragen von Mörtel und Beton**

  Diese Maßnahme dient bspw. der Erhöhung der Betondeckung der Bewehrung, der Herstellung eines neuen Oberflächenprofils oder zur Verstärkung des Betonquerschnitts. Es kommen zementgebundene Mörtel oder Betone mit und ohne Kunststoffmodifizierung zum Einsatz. Der Auftrag erfolgt i.d.R. als Ortbeton (bei nicht horizontalen Flächen in Schalung) oder im Spritzverfahren (z.B. bei Wänden, Stützen, Untersichten)[125].

- **Korrosionsschutz der Bewehrung**

Für die Herstellung bzw. Wiederherstellung eines dauerhaften Korrosionsschutzes von nicht vorgespannter Bewehrung sieht die Instandsetzungs-Rili vier Korrosionsschutzprinzipien vor[126], die in Abhängigkeit des jeweiligen Ist-Bauzustandes als Grundlage für die Instandsetzung dienen.

- Korrosionsschutz durch die Wiederherstellung des alkalischen Milieus (Instandsetzungsprinzip R)

  Durch das Auftragen zementgebundener Stoffe bildet sich erneut auf der Stahlbetonoberfläche eine Passivschicht aus (Repassivierung entspr. Wiederherstellung des alkalischen Milieus.

  Unterschieden wird hier zwischen der Grundsatzlösung R1: Realkalisierung durch flächigen Auftrag von alkalischem Beton bzw. Mörtel und der Grundsatzlösung R2: örtliche Ausbesserung mit alkalischem Beton oder Mörtel.

- Korrosionsschutz durch Begrenzung des Wasserhaushaltes im Beton (Instandsetzungsprinzip W)

  Durch eine Absenkung des Wassergehaltes im Beton wird die elektrolytische Leitfähigkeit so stark reduziert, dass die Korrosionsgeschwindigkeit praktisch vernachlässigbar ist.

- Korrosionsschutz durch Beschichtung der Bewehrung (Instandsetzungsprinzip C)

  Durch die Beschichtung der Stahlbetonoberfläche wird die anodische Eisenauflösung verhindert. Als Beton Ersatzsystem kann ein Reaktionsharzsystem oder ein Zementmörtel mit Kunststoffzusatz verwendet werden.

- Kathodischer Korrosionsschutz (Instandsetzungsprinzip K)

  Die Korrosion der Bewehrung wird verhindert, in dem sie gezielt mit Fremdstrom beaufschlagt wird, so dass die gesamte Bewehrung kathodisch wirkt.

[124] DAfStb-Instandsetzungsrichtlinie (10/2001) Teil 2, Abschn. 4.
[125] ebenda, Teil 2, Abschn. 4.
[126] ebenda, Teil 1, Abschn. 6.

In Abhängigkeit der vorgesehenen Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen, die wiederum von dem sekundären Einsatz der Bauteile abhängt, gibt die Instandsetzungs-Rili weitere technische und Technologische Details für Planer und Ausführende vor. Auf diese soll hier jedoch aber nicht näher eingegangen werden. Außerdem verlangt die Richtlinie vom Personal sowie der Ausstattung des ausführenden Unternehmens den Einsatz einer qualifizierten Führungskraft, eines Bauleiters und Baustellenfachpersonal mit ausreichenden Kenntnissen und Erfahrungen im Sanierungsbau. Die Aufgabenbereiche werden für die genannten Personen in der Instandsetzungs-Rili beschrieben, wie auch die Überwachung der Baumaßnahmen[127]. Die Richtlinie legt zudem fest, dass für alle Baumaßnahmen ihres Regelungsbereiches eine aus Eigen- und Fremdüberwachung nach DIN 18200 bestehende Güteüberwachung zu erfolgen hat. Art, Umfang und Häufigkeit der Prüfungen sind verankert.

In nachstehender Tab. 39 sind Einzelmaßnahmen zusammengestellt, die zur Behebung möglicher Beschädigungen resp. Schäden an demontierten Betonelementen herangezogen werden können.

Tab. 39: Instandsetzungsmaßnahmen bei typischen Bauschäden im Plattenbau[128]

Schäden	Instandsetzungsmaßnahmen
örtliche Betonabplatzungen, Kantenabplatzungen an Fugenrändern	Betonuntergrund mit einer Haftbrücke versehen, Ausbruchstellen mit Instandsetzungsmörtel verfüllen.[1)] Es bieten sich an: • Zementmörtel (CC)[2)] • kunststoffmodifizierter Zementmörtel (PCC)[3)] • Reaktionsharzsysteme (PC)[3)]
flächige Betonabplatzungen mit freiliegender Bewehrung	Reprofilierung durch: • Spritzbeton (SCC)[2)] • Spritzmörtel/ -beton mit Kunststoffzusatz (SPCC)[3)]
Risse im Beton bis 0,3 mm über 0,3 mm	Aufbringen einer Oberflächenbeschichtung mit CO_2-bremsender, wasserabweisender und rissüberbrückender Wirkung Aufschneiden d. Risse und Verfüllung mit Reparaturmörtel
korrodierte Bewehrung	• Entfernen des karbonatisierten Betons sowie loser Teile und Staub vom Betongrund • korrodierte Betonstähle metallisch blank entrosten • Korrosionsschutz[4)] durch zweimaliges Beschichten der Bewehrung • Auftragen einer Haftbrücke • Auffüllen der Schadstelle mit Reparaturmörtel • Oberflächenschutzbeschichtung
poröse Betonoberflächen	Aufbringen einer Oberflächenbeschichtung mit CO_2-bremsender, wasserabweisender und rissüberbrückender Wirkung als abschließende und vorbeugende Maßnahme

Anmerkungen:

1) Die Materialbasis ist meistens mit der des Reparaturmörtels identisch. Der Auftrag des Reparaturmörtels muss erfolgt sein, bevor die Haftbrücke völlig angetrocknet ist (Verarbeitung „frisch in frisch“).[129]
2) Es handelt sich um normmäßig erfasste Baustoffe nach DIN 1045 bzw. DIN 18551.
3) Nichtgenormte, kunststoffhaltige Baustoffgruppen die bei geringen bis mittleren Schäden zum Einsatz kommen. Auf Antrag des Materialherstellers ist ein Eignungsnachweis über eine Grundprüfung zu führen.
4) Korrosionsschutz gemäß den Instandsetzungsprinzipien.

[127] DAfStb-Instandsetzungsrichtlinie (10/2001) Teil 3, Abschn. 2.
[128] Cziesielski, E.: Sanierungsgrundlagen Plattenbau, Katalog Instandsetzung und Modernisierung von vorgefertigten Außenwänden, S. 76 f. (Auszug).
[129] Luley, H. et.al.: Instandsetzen von Stahlbetonoberflächen, Köln, 1994, S. 34 f.

3.3.3 Bauakustische Verbesserungen

Zur Realisierung des heutigen Schallschutzstandards werden von der Ingenieurgesellschaft für Bauphysik GbR nachstehend aufgeführte bauakustische Grundlösungen empfohlen[130]. Zu Grunde gelegt werden ausgewählte Bauelemente des P2-Typs, die besonders wiederverwendungsgeeignet sind.

Wohnungstrenndecken, Wohnbereich (14 cm Deckensystem)

Zusätzliche Unterhangdecken oder der Einbau eines neuen schwimmenden Estrichs lassen ein heute üblicherweise vorgefundenes Schallschutzniveau von R'_w > 55 dB erwarten. Das mit dem Spannteppich gegebene sehr gute Trittschallschutzniveau (vgl. Tab. 22) kann mit einlagigen Kunststoffbelägen nicht erreicht werden. Eine Alternative bilden zusätzliche Trittschallunterlagen oder Textilbeläge (Teppichbeläge).

a) Deckensysteme mit schwimmendem Estrich (geschätzte Kosten 40 €/m²)
Der schwimmende Estrich kann in Trockenbauart oder Massivbauart hergestellt werden:
Einbau eines Trockenestrichsystems mit

0,5 - 1,0 cm Trockenschüttung
2,0 cm Trittschalldämmung
3,0 cm Fußbodenplatte

bzw.

2,0 cm Trittschalldämmung
4,5 cm Massivestrich

Der Bodenbelag ist frei wählbar.

Von dem Deckensystem ist ein Luftschallschutz von R'_w = 56dB und ein Trittschallschutz von $L'_{n,w}$ = 50 dB zu erwarten.

b) Deckensysteme mit biegeweicher Unterdecke
Diese Variante macht möglicherweise dann Sinn, wenn aus optischen Gründen die Deckenuntersicht verbessert werden soll.
Hinsichtlich eines durchgängigen guten Trittschallschutzes wird die Lösung etwas problematisch gesehen, beispielsweise bei Verlegung von keramischen Plattenbelägen in Bädern oder von Parkett. Bodenbeläge müssen ein Trittschallschutzverbesserungsmaß von $\Delta L_{w,R}$ = 18 dB für vertikale Raumzuordnungen besitzen, was bei Plattenbelägen auf Trittschallunterlagen in der Regel nicht erreicht wird. Alternativ können Grundrisslösungen so geplant werden, dass Räume mit Plattenbelägen nicht über schutzbedürftigen Räumen liegen.
Mit nachstehendem konzeptionellen Fußbodenaufbau (geschätzte Kosten 40 €/m²):

Bodenbelag ($\Delta L_{w,R} \geq 18$ dB)
5 cm Verbundestrich
14 cm Rohdecke
7 cm biegeweiche Unterhangdecke

[130] Jackisch, R.: Rechnerischer und messtechnischer Nachweis der Luft- und Trittschalldämmung von Standardkonstruktionen des Typs P2, Prüfbericht i.A. der FG Bauliches Recycling, 2002, S. 30 ff.; hier werden nur für ausgewählte Elemente bauakustische Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt.

kann ein Schallschutz von R'_w = 58 dB und $L'_{n,w}$ = 53 dB erwartet werden.

Wohnungstrenndecken, Badzelle

Schon aus optischen Gründen ist zwangsläufig eine Verbesserung des Badzellenbodens erforderlich. Üblicherweise werden Bodenbeläge aus Kunststoff (geschätzte Kosten ca. 20 €/m²) oder keramischen Plattenbelägen (geschätzte Kosten ca. 65 €/m² für den Plattenbelag auf Trittschalldämmung) eingesetzt. Bei Realisierung eines Trittschallschutzverbesserungsmaßes von $\Delta L_{w,R}$ = 10 dB werden die heutigen DIN-Anforderungen zum Trittschallschutz gut eingehalten.

Treppenanlagen

Empfohlen wird, Kunststoffbeläge oder Plattenbeläge mit einem Trittschallschutzverbesserungsmaß von $\Delta L_{w,R}$ = 10 dB einzusetzen. Erstere Variante kann wie folgt realisiert werden: Herstellung eines Spachtelausgleichs und Verklebung i.d.R. von Kautschukbelägen (geschätzte Kosten: ca. 20 €/ Stufe; ca. 25 €/m²). Alternativ bietet sich folgende Möglichkeit: Herstellung eines Bodenausgleichs und Verklebung eines speziellen Bodensanierungssystems mittels Keramikbelägen auf Trittschallunterlagen oder sonstige Fertigteillösungen (geschätzte Kosten: ca. 25 – 30 €/Stufe, ca. 70 – 75 €/m²).

Wohnungstrennwandsysteme, Haustrennwandsysteme (15 cm Innenwandsystem)

Haustrennwände für Doppelhäuser oder Reihenhäuser werden in der Regel zweischalig errichtet.

a) Wohnungstrennwände mit biegeweicher Vorsatzschale
   Mit dieser Möglichkeit wird das heutige Mindestschallschutzniveau von R'w = 53 dB gerade erreicht.
   Prinzipiell können Wohnungstrennwandsysteme in mehrgeschossigen Wohnungsbauten auch zweischalig ausgeführt werden. Hierbei kann zumindest für horizontale Raumzuordnungen ein sehr hoher Luftschallschutz erreicht werden. Dieser Ansatz macht möglicherweise Sinn, wenn Stahlbetonplatten in ausreichender Zahl zur Verfügung stehen.

b) Haustrennwände
   Eine zweischalige Ausführung von Haustrennwänden mit

   15 cm Stahlbetonwand
   7 cm Fuge mit Mineralwollefüllung
   15 cm Stahlbetonwand

und Trennfuge im Außenwandbereich bietet einen sehr hohen Luftschallschutz mit einem Erwartungswert von ca. R'_w = 72 dB - zumindest für alle Obergeschossbereiche.

3.3.4 Verbessernde Maßnahmen des Wärmeschutzes

In Abhängigkeit des sekundären Einsatzortes der Altbetonelemente werden nachstehend für Innenwand-, Decken- und Außenwandplatten verbessernde wärmeschutztechnische Maßnahmen vorgeschlagen.

Grundsätzlich sind bei der Wiederverwendung dieser Elemente im Hausbau die wärmeschutztechnischen Anforderungen für Neubauten einzuhalten.

Der Nachweis der Einhaltung der Wärmeschutzanforderungen nach Energieeinsparverordnung ist dabei für das Gesamtgebäude einschließlich der Haustechnik zu führen. Die einzelnen Bauteile müssen außerdem den Mindestanforderungen nach DIN 4108-2 entsprechen.

Die Dämmstoffdicken der nachfolgend beschriebenen Standardlösungen orientieren sich an den Empfehlungen nach DIN 4108 Beiblatt 2 und stellen lediglich Vorschläge dar. Für konkrete Bauvorhaben ist eine zusätzliche Nachweisführung für das Gesamtgebäude erforderlich.

Nachfolgend empfohlene Sanierungslösungen basieren auf Berechnungen zum Wärmedurchgangskoeffizienten und zum Wärmedurchlasswiderstand, die von der Ingenieurgesellschaft für Bauphysik GbR[131] vorgenommen wurden.

- **Wandsysteme**

Außenwände

Bei Einsatz der Innen- oder Außenwandplatten als Außenwände ist eine mindestens 10 cm starke Dämmung der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040 notwendig. Da die Außenwandplatten bereits eine Kerndämmung besitzen, ist eine Reduzierung der Außendämmung auf 6 cm möglich.

Der Wärmedurchgangskoeffizient von Außenwandelementen mit 6 cm Zusatzdämmung beträgt U = 0,38 W/(m² · K) und der Wärmedurchlasswiderstand R = 2,50 m² · W/K.

Bei Verwendung einer ungedämmten Innenwand mit 10 cm Zusatzdämmung ergibt sich U = 0,36 W/(m² · K) und R = 2,6 m² · W/K.

Die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 sind eingehalten.

Treppenraumwände

Werden die Innenwandelemente als Trennwand zwischen normal beheizten Räumen und beheizten Räumen mit Innentemperaturen $\theta i > 10$ °C angeordnet, sind keine zusätzlichen Dämmmaßnahmen erforderlich. Bei einer Innentemperatur im Treppenraum von 0 °C $< \theta i \leq 10$ °C ist eine zusätzliche Wärmedämmung erforderlich. Die Dämmung muss bei einer Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040 eine Mindestdicke von 1 cm erreichen und sollte auf der kalten Seite angebracht werden.

[131] Grosch, V.; Pöthing, St.: Wärmeschutz von Standardkonstruktionen des Wohnbautyps P2, Prüfbericht i.A. der FG Bauliches Recycling, 2002, S. 34ff..

Wohnungstrennwände

Bei der Wiederverwendung der 15 cm starken Stahlbetoninnenwände als Wände zwischen fremdgenutzten Räumen oder Wohnungstrennwände sind keine zusätzlichen Dämmmaßnahmen erforderlich.

- **Deckensysteme**

Bei einer Wiederverwendung der 14 cm dicken Spannbetondeckenplatten für Wohngebäude wird von folgendem Fußbodenaufbau ausgegangen:

- Bodenbelag
- 4,5 cm Zementestrich
- Trennfolie
- 2 - 6 cm Trittschalldämmstoff/Wärmedämmung, Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040
- 14 cm Spannbetondeckenplatte.

Kellerdecke

Bei der Wiederverwendung der Spannbetondeckenplatten als Trenndecke zwischen einem normal beheizten und einem unbeheizten Raum kann die erforderliche Wärmedämmung vorzugsweise im Fußbodenaufbau oberhalb der Deckenplatte angeordnet werden. Die erforderliche Dämmstärke beträgt der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040 mindestens 6 cm. Die Berechnung der wärmeschutztechnischen Kennwerte für einen Aufbau mit 6 cm Wärmedämmung ergibt einen Wärmedurchgangskoeffizient von U = 0,50 W/(m² · K) und einen Wärmedurchlasswiderstand von R = 1,65 m² · K/W. Die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 sind erfüllt.

Alternativ ist auch eine Aufteilung des Dämmstoffs in eine Trittschalldämmung im Fußbodenaufbau (z.B. 2 cm) und eine unterseitige Deckendämmung (z.B. ≥ 4 cm) möglich.

Wohnungstrenndecke

Bei Einsatz der Deckenelemente als Wohnungstrenndecken genügt eine 2 cm starke Trittschalldämmung der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040, um die Anforderungen hinsichtlich des Wärmeschutzes zu erfüllen. Der Wärmedurchgangskoeffizient dieses Deckenaufbaues beträgt U = 1,01 W/(m² · K) und der Wärmedurchlasswiderstand R = 0,65 m² · K/W. Die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 sind erfüllt.

Decke zum belüfteten Dachraum

Werden die Deckenplatten zwischen einem beheizten Raum und einem nicht ausgebauten Dachraum eingebaut, so ist auf den Deckenplatten eine mindestens 14 cm starke Dämmung der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040 zu verlegen. Der Wärmedurchgangskoeffizient dieser Konstruktion beträgt U = 0,26 W/(m² · K) und der Wärmedurchlasswiderstand R = 3,60 m² · K/W. Die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 sind eingehalten.

Decke gegen Außenluft / Flachdach

Empfohlen wird der Einsatz einer mindestens 16 cm starken Dämmung der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040. Der Wärmedurchgangskoeffizient dieser Konstruktion beträgt U = 0,23 W/(m²·K) und der Wärmedurchlasswiderstand R = 4,10 m²·K/W. Die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 sind eingehalten.

3.4 Fazit - Aufarbeitungsmethoden

Für die Wiederverwendung von Altbetonelementen ist festzustellen, dass Schäden bei der Demontage, dem Transport und der Zwischenlagerung auftreten können. Insbesondere ist dem Umgang mit Innenwänden mit Türaussparungen besondere Aufmerksamkeit zu widmen, da es sonst zu Rissbildungen am Schaft kommen kann. Geringfügige Abplatzungen an den Ecken und Kanten führen nicht zwangsläufig zu einer Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit. Die notwendigen Maßnahmen zur Aufarbeitung von sekundären Betonbauteilen sind in der DAfStb-Richtlinie – Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen - verbindlich aufgeführt.

Auf Grundlage des Ist-Zustandes an Standardkonstruktionen des P2-Typs zu bauphysikalischen Erfordernissen ist festzustellen, dass die Rohbau-Bauteile unter Berücksichtigung der aktuellen Anforderungen einen gewissen Aufwand erfordern, generell jedoch aufgearbeitet werden können. Je nach sekundärem Einsatzort werden entsprechende Sanierungsvorschläge unterbreitet. Die Sanierungsempfehlungen sind auf andere industriell errichtete Gebäudetypen mit adäquat verbautem Sortiment übertragbar.

4 Transport, Umschlag, Lagerung gebrauchter Bauteile

Einen wichtigen Part zur Sicherung beschädigungsfreier oder zumindest -armer Bauteile übernehmen die sachgerechten Durchführungen der Transport- und Zwischenlagerprozesse einschließlich der Umschlagvorgänge. Unsachgemäßes Lagern und Transportieren ist eine entscheidende Ursache für auftretende Schäden und Mängel an demontierten Bauelementen. Müssen be- oder geschädigte Altbetonbauteile am Remontageort ausgesondert werden, hat dies zusätzliche Aufwendungen zur Folge. Zum einen betrifft dies den Entsorgungsprozess (Vorzerkleinerung, Transport zur Recyclinganlage, Annahmegebühren) und zum anderen sind die Bauteile durch neu gefertigte Elemente kostenintensiv zu ersetzen.

4.1 Allgemeine Anforderungen und Hinweise

Eine erste Zwischenlagerung der demontierten Betonbauteile erfolgt i.d.R. am Demontageort, eine zweite wird vor Beginn des Wiederneubaus am Remontageort erforderlich - soweit der Ab- und Antransport der Bauteile nicht just in time erfolgt. In beiden Fällen ist meist von beengten Platzverhältnissen auszugehen. Die zu errichtenden Bauteilstapel sind dabei vorzugsweise so anzuordnen, dass diese für Verladekran und die eingesetzten Transportmittel gut erreichbar und für den An- und

Abschläger sicher zugänglich sind. Die verwendeten Anschlagmittel müssen gefahrlos befestigt und gelöst werden können.

Bereits bei der Einrichtung des Zwischenlagers am Spendergebäude (Demontageobjekt) ist die Lagerordnung relevant. Sie trägt zur Ordnung und Sicherheit auf der Baustelle bei. Im Hinblick des Abtransportes der ausgewählten Elemente zur Wieder- oder Weiterverwendung ist diese außerdem von Vorteil, denn Umstapelungen können so vermieden werden. Die sekundären Bauteile sollten sichtbar mit ihrer Sortimentnummer zwischengelagert werden.

Bei der Nutzung von unbefestigten Flächen zur Einrichtung des Zwischenlagers ist der Untergrund so zu stabilisieren, dass ein Einsinken oder Schiefstellen der Stapel unterbunden wird. Am Rückbaustandort empfiehlt sich dabei die Herstellung einer flächigen Unterlage mittels Altbetonelementen, welche nicht für die Wieder- oder Weiterverwendung vorgesehen sind.

Grundsätzlich sind die Altbetonelemente immer in Einbaulage umzuschlagen, zu lagern und zu transportieren. Es sind nur gleichartige Bauteile in einem Stapel zu lagern (vgl. Abb. 51). Bei der Lagerung von Deckenelementen, Dachkassettenplatten und Loggiadecken ist darauf zu achten, dass nur Elemente mit annähernd gleicher Länge und Breite übereinander gestapelt werden. Die Stapelhöhe für die Lagerung sollte die 1,5 fache Breite der Bauteile bzw. 3 m nicht überschreiten[132]. Bei den Deckenmaßen von P2- oder WBS 70-Deckenplatten von 1,8 m Breite und 0,14 m Dicke ergibt dies eine Maximalanzahl von ca. 14 - 16 Bauteilen inkl. Stapelhölzer (vgl. Abb. 52).

Bei längerfristigen Zwischenlagerungen – i.d.R. unweit vom Demontageobjekt – wird empfohlen, die Altbetonbauteile gegen Witterungseinflüsse (z.B. mittels Abdeckfolien) zu schützen.

Abb. 51 : Zwischenlagerung und Transport von Deckenplatten

Die Stapelhölzer zwischen den Deckenelementen sind im Auflagernähe (s. Abschn. 4.2.1) anzuordnen, um Rissbildungen oder gar Bauteilbrüche durch unvorhersehbare (falsche) Lasteinträge zu vermeiden. Abb. 52 re. zeigt die Auswirkungen einer unsachgemäßen Stapelung.

[132] Bundesvorstand des FDGB: Montage von Fertigteilen, Verlag Tribüne Berlin, 1970, S. 22.

Abb. 52 : Anordnung der Stapelhölzer bei Deckenplattenstapeln (li., mi.); Bauteilbruch durch unsachgemäße Anordnung der Stapelhölzer (re.)

Wand- und Drempelelemente werden in Einbaulage stehend i.d.R. an ein Stapelgestell (z.B. A-Bock[133]; s. Abb. 53) gelagert. Dabei sollten nicht mehr als 10 Elemente bei einer maximalen Plattenneigung von 10° aneinander gestellt werden. Bei Außenwänden darf die Wetterschutzschicht nicht belastet werden. Zum Schutz der überstehenden Wetterschale muss ein Holzklotz am Elementfuß angeordnet werden. Der Schutz der Sichtflächen kann über zwischen gelegte Trenngummis erfolgen. Ansonsten sind zwischen den Wandelementen mind. 2 Bretter anzuordnen. Bei Innenwandelementen mit Türöffnung müssen diese zusätzlich mit Balken oder Stapelbrettern und sollten zudem mittels Flachstahlverbindungen (vgl. Abschn. 3.2) gesichert werden, um ein Auskargen und somit Reißen dieser zu unterbinden.

Da nicht immer A-Böcke verfügbar waren, dienten Deckenplattenstapel zur Anlehnung von Wandelementen (vgl. Abb. 53 re.).

Die Elemente sind beim Transport gegen Kippen (z.B. Paketsicherung) mittels Spanngurten zu sichern. Zwischen den Wandelementen sollten 2 Stck. Hängebretter (ca. 2,00 m x 0,1 m x 0,03 m) angeordnet werden, um Beschädigungen während des Transportes auszuschließen.

Abb. 53 : A-Bock, Transportvorbereitung, Sicherung der Türschäfte und Zwischenlagerung von Außenwandelementen (v.l.n.r.)

[133] Stahlgerüst in A-Form mit Aufstands- und Anlegeflächen.

4.2 Allgemeines zum Transport der Altbetonbauteile

Für den Transport der demontierten Betonfertigteile sind aus ökonomischer als auch ökologischer Sicht optimale Lösungen unter Beachtung der Bedingungen am Demontage- wie auch Remontageort anzustreben. Es gilt also zu ermitteln, welche Transportwege bzw. Transportmittel möglich und effizient sind.

Für den Transport der Altbetonbauteile gelten die gleichen Bedingungen wie für neue Betonbauteile. Generell sind die Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasser geeignet. Grundsätzlich müssen über den Verkehrsträger oder die gewählte Kombination aus diesen der Demontageort und der Remontageort erreichbar sein. Das heißt, bei der Nutzung der Verkehrsträger Schiene und Wasser sind üblicherweise Vor- und Nachläufe über die Straße erforderlich, da die meisten Spendergebäude und Standorte der Wiederneubauten keinen direkten Gleis- oder Hafenanschluss aufweisen. Somit ist die Nutzung dieser Verkehrsträger mit zusätzlichen Umlade- und Zwischenlagervorgängen verbunden, die womöglich eine Erhöhung des Beschädigungsrisikos der Bauteile zur Folge haben. Vor- und Nachteile des Transportierens und Umschlagens sind deshalb vorhabenspezifisch zu ergründen. Die einfachste Transportabwicklung ist dann gegeben, wenn der Beförderungsvorgang zwischen „Absender“ und „Empfänger“ – Demontagebaustelle und Remontagebaustelle – mit einem Verkehrsmittel ohne Umladung des Transportgutes erfolgt. Diese Transportabwicklung wird als direkter oder ungebrochener Güterverkehr bezeichnet. Aus ökonomischen und ökologischen Gründen sind jedoch, je nach Transportentfernung und Standortbedingungen, Verkehrsmittelkombinationen zu eruieren.

4.2.1 Verkehrsträger Straße

Zum Transport der großformatigen Betonelemente auf der Straße eignen sich Sattelzugmaschinen mit Sattel- bzw. Satteltiefladeanhänger oder Zugmaschinen mit Plattform- bzw. Tiefladeanhänger (s. Abb. 54).

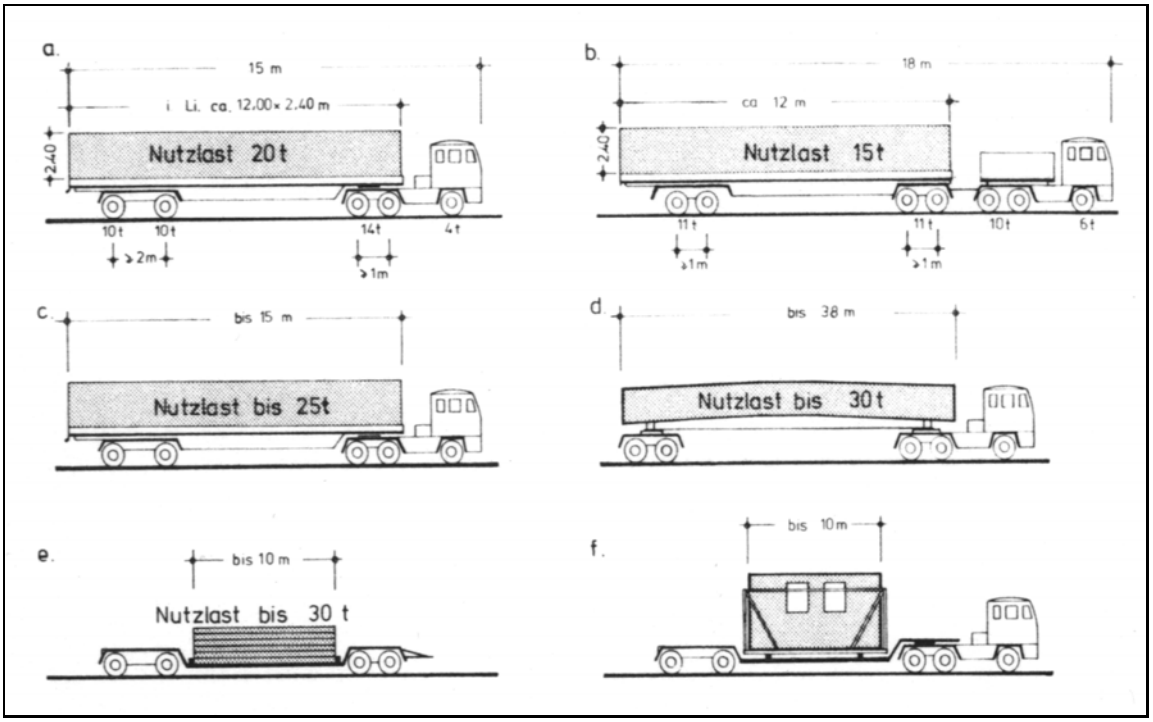


Abb. 54 : Fahrzeuge für den Straßentransport von Fertigteilen a) Sattelzug gemäß StVZO b) Zugmaschine mit Plattformanhänger gemäß StVZO c) Sattelzug mit Plattformauflieger d) Sattelzug mit Nachläufer e) Tiefladeanhänger zum Transport von Deckenplatten auf Palette f) Tieflader-Sattelzug mit absetzbarem Ladegerüst zum stehenden Transport von Wandelementen[134]

Zu DDR-Zeiten kamen hauptsächlich die Varianten e) und f) gemäß Abb. 54 für den Transport zum Tragen. Dabei kamen verschiedene Fahrzeuge zum Einsatz, wie z.B. TATRA, Tieflader SL40 mit und ohne Palette zum Transport von stehenden und liegenden Elementen zum Einsatz. Die Anhängetechnik hatte aufgrund ihrer Fahrzeugkonstruktion unterschiedliche maximale Belastungsgrenzen, was bei der Erarbeitung der Lieferscheine und der Beladung berücksichtigt wurde. Die Nutzlast z.B. des SL40 betrug 40 t einschließlich der Palette (3,0 – 5,0 t). Der Tieflader SL40 wurde für den Transport von Wandelementen mit der Palette und für den Transport der Deckenelemente ohne Palette eingesetzt. Diese EQ-Paletten (Einheits-Querrolltechnik) wurden extra für den Transport der Betonelemente des Wohnungsbaus entwickelt und in allen ehemaligen Wohnungsbaukombinaten eingesetzt. Diese Paletten waren 3,0 m breit und ca. 7,0 m lang. Die feingliedrigen Elemente wie Dachkassettenplatten wurden nicht mit dieser Technik transportiert, da der Tieflader zu starr gebaut war (fast keine Federung) und es zu erheblichen Transportschäden gekommen wäre[135].

Beim Transport auf der Straße sind folgende Parameter zu beachten:

- Art der Straße (Autobahn, Bundesstraße, Land- und Kreisstraßen, kommunale Straßen, Privatwege)
- Zustand und Verlauf der Straßen (Straßenbelag, Fahrbahnbreite, Zulässige Belastung, Straßenführung, Steigung/Gefälle, Hindernisse),

[134] Ludewig, S.: Montagebau, Berlin, 1972, S. 307 ff.
[135] Kunde, D.; Lätsch, E.: Elementefertigung und Transporttechnologien am Beispiel eines Betonwerks, Bericht, i.A. der FG Bauliches Recycling, 2005, S. 27f..

- Unterführungen (Durchfahrtshöhe, Durchfahrtsbreite),
- Brücken (Fahrbahnbreite, Fahrbahnbelastung),

- Rechtliche Vorgaben (Nachtfahrverbote, Ortsdurchfahrtsverbote, Verbot der Nutzung für bestimmte Fahrzeuge, Begleitfahrzeuge, verkehrsrechtliche Situation beim Grenzübertritt).

Nach § 32 StVZO[136] kann auf der Straße ohne Ausnahmegenehmigung nur transportiert werden, wenn die Abmessungen folgende Werte nicht überschreiten:

1. Breite über alles 2,55 m,
2. Höhe über alles 4,00 m,
3. Länge über alles bei Zügen 18,00 m,
4. Länge über alles bei Sattelzügen bis 15,5 bzw. 16,50 m.

Nach § 34 StVZO dürfen Achslast und Gesamtgewicht folgende Werte nicht überschreiten:

1. Achslast der Einzellast 10 bis 11,5 t,
2. Zul. Gesamtgewicht Sattelfahrzeuge 40,0 t.

Darüber hinausgehende Werte bedürfen der Sonderzulassung nach § 70 und § 29 StVZO und der Genehmigung für Leerfahrten bis 42 t. Bereits bei Überschreitung eines der vorgegebenen Grenzwerte für Länge, Breite, Höhe oder Gewicht ist ein entsprechender Nachweis nach § 29 StVZO zu führen.

Mit einer maximalen Bauteillänge von 6,00 m bei Decken- und Wandplatten und einer Höhe von 2,85 m der Wände dürften diese Dimensionen kein Transportproblem darstellen. Da die Bauteile in Einbaulage, also Wandbauteile stehend und Deckenplatten liegend transportiert werden müssen, kann sich hierbei einzig die Breite einiger Dachkassettenplatten der WBS 70 von über 3,00 m (mit Aufkantung) als problematisch herausstellen. § 46 StVZO enthält Aussagen über Ausnahmegenehmigungen und die Erlaubnis von Spezialtransporten. Danach können die Straßenverkehrsbehörden für bestimmte Antragsteller Ausnahmen genehmigen.

Bspw. können auf einen Sattelzug mit maximaler Nutzlast von 24 bis 25 t 6 bis 7 Deckenplatten mit den Abmessungen 6,00 x 1,80 x 0,14 m und einem durchschnittlichen Gewicht von 3,5 t transportiert werden. Auf den Querträgern des Fahrzeugs sind je Deckenplattenstapel 2 Stück Kanthölzer (ca. 1,80 m x 0,15 m x 0,10 m) zu legen. Darauf ist die unterste Deckenplatte abzusetzen. Zwischen den weiteren Deckenplatten sind genau senkrecht über den Kanthölzern Zwischenlagen aus Holz oder evtl. Gummi (ca. 1,80 m x 0,15 m x 0,03 m) anzuordnen. Die Kanthölzer und Zwischenlagen dürfen max. 0,30 bis 0,50 m vom Elementeende entfernt sein[137].

Für den senkrechten Transport von Wandelementen eignen sich Innenlader, Tiefladeranhänger oder –Sattelzüge mit einem absetzbarem Ladegerüst oder Spezialsattelzüge für Plattentransporte. Die Nutzlast dieser Fahrzeuge ist i.d.R. auf 26 t begrenzt.

[136] Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung in der Fassung vom 01.06.2007, § 32 Abmessungen von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen.
[137] Kunde, D.; Lätsch, E.: Elementefertigung und Transporttechnologien am Beispiel eines Betonwerks, Bericht, i.A. der FG Bauliches Recycling, 2005, S. 30.

Abb. 55 : Innenlader (li.), A-Bock (mi.), Plattentransportsattelzug (re.)

Ungünstig für den Transport durch LKW wirken sich Leerfahrten aus. Günstig ist es, wenn Last-Last-Transporte zurealisieren sind. So können wirtschaftliche und ökologische Nachteile durch Leerfahrten reduziert werden. Diese Aufgabe übernehmen oft Speditionsunternehmen, die sich bereits bei der Auftragsvergabe um die Auslastung der Rücktransporte bemühen und dadurch günstigere Konditionen anbieten können.

4.2.2 Verkehrsträger Schiene

Da sich im unmittelbaren Bereich der Spendergebäude (Demontageort) und der zu errichtenden Wiederneubauten in der Regel keine Gleisanschlüsse befinden, ist in jedem Fall bei der Nutzung dieses Verkehrsträgers der An- und Abtransport der Altbetonbauteile über die Straße erforderlich. Dass dies immer mit zusätzlichen Umladeprozessen und ggf. auch Zwischenlagerungen der Bauteile verbunden ist, wurde bereits im Abschn. 4.2 erläutert. Um die TUL-Prozesse zu vereinfachen und Beschädigungen der Bauteile durch diese zu minimieren, ist ein Zusammenfassen der Einzelbauteile in größeren Ladeeinheiten – wie es zu DDR-Zeiten erfolgte - empfehlenswert. Demzufolge eignen sich für Kombitransporte der Komplettumschlag von z.B. Deckenplattenstapeln auf Paletten oder andere Transportgestelle und –systeme sowie der Komplettumschlag von Wandplatten auf A-Böcken, Kammträgern oder Paletten als Lastträger (s. Abb. 56). Auch ist das Verladen und Transportieren der Bauteile in Containern möglich (s. Abb. 57).

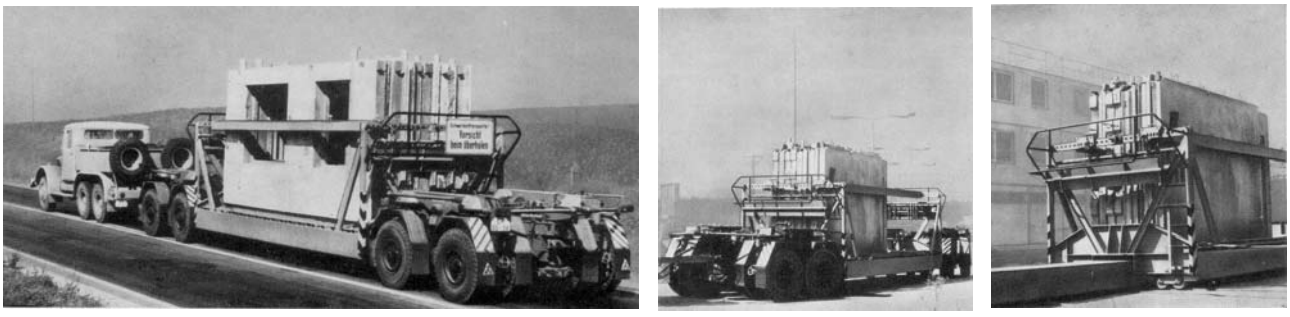


Abb. 56 : Einsatz von Paletten für Wandelemente des VEB Baumechanik Heringsdorf[138]

[138] Ludewig, S.: Montagebau, Berlin, 1972, S. 307 ff..

Bei der Bündelung der Einzelbauteile ist allerdings die hohe Masse der bestückten Ladeeinheiten für die Umschlagprozesse zu berücksichtigen. Zudem sind die verwendeten Transportsysteme wieder zurückzuführen, was ökonomisch wie ökologisch ineffektiv ist, wenn es sich um Leertransporte handelt.

Abb. 57 : Einsatz von Containern für den Bauteiltransport

Ein Transport der Altbauteile über die Schiene ist somit nur unter monetären Gesichtspunkten sinnvoll, wenn die zusätzlichen Aufwendungen für Umschlag, Zwischenlagerung, Vor- und Nachläufe mittels Straßentransport geringere Kosten verursachen als ein Transport ausschließlich auf der Straße. Die Vorteile der Bahntransporte liegen im großen Transportvolumen mit geringerem Personalaufkommen, in weiten Transportwegen und in der Witterungsunabhängigkeit.

Zusammenfassend können für das Verkehrsmittel Schiene unter Beachtung der Ladevorschriften folgende Prozesse festgehalten werden:

- i.d.R. Transport von der Demontagebaustelle zum Bahnhof,
- Ver- und Entladung nur an vorgegebenen Bahnhöfen (Freigleis ohne Oberleitung für Stückgutumschlag),
- Transport von der Entladestation zur Remontagebaustelle,
- ggf. Zwischenlager des Transportgutes erforderlich.

4.2.3 Verkehrsträger Wasser

Bei einem Transport über den Verkehrsträger Wasser erfolgt der Elementetransport generell in Kombination mit einem Vor- und Nachlauf über die Straße. Eine Erschließung über den Wasserweg ist geografisch begründet und noch weniger ausgebildet als über den Schienenweg. Somit ergeben sich hier i.d.R. längere Vor- und Nachlaufwege über die Straße als dies beim Bahntransport der Fall ist. Ausgeglichen werden kann dieser Fakt nur über die deutlich höheren Transportkapazitäten des Schifftransportes gegenüber dem Verkehrsträger Schiene.

Zusammenfassend lassen sich die vorgestellten Verkehrsträger wie folgt bewerten:

Tab. 40: Stärken und Schwächen der unterschiedlichen Verkehrsträger

Verkehrsträger/ Transportmittel	Stärken/Vorteile	Schwächen/Nachteile
Straße/ Tieflader	▪ flächenabdeckend einsetzbar ▪ kein zusätzlicher Verladevorgang notwendig ▪ geringe Gefahr der Beschädigung von Bauteilen (nur 1 x Be- und 1 x Entladung) ▪ Flexibilität bei der Wahl der Streckenführung	▪ geringe Nutzlast pro Transport ▪ Einfluss von Witterungsbedingungen auf den Transport (Behinderungen besonders im Winter) ▪ Fahrverbote an Sonn- und Feiertagen ▪ terminliche Zuverlässigkeit ist geringer im Vergleich zu Bahn- u./o. Schiffstransport
Schiene/ Güterzug	▪ terminliche Zuverlässigkeit i.d.R. gegeben ▪ weitgehende Witterungsunabhängigkeit ▪ hohe Nutzlast ▪ keine Beschränkung durch Fahrverbote an Sonn- und Feiertagen	▪ i.d.R. kein Einsatz am De- bzw Remontageort möglich ▪ Vor- und Nachlauf auf der Straße notwendig ▪ Umladungen notwendig ▪ evtl. Zwischenlagerung erforderlich ▪ Gefahr der Beschädigung von Bauteilen durch zusätzliche Ladevorgänge erhöht sich
Wasser/ Binnenschiff	▪ höchstmögliche Nutzlast ▪ keine Beschränkung durch Fahrverbote an Sonn- und Feiertagen	▪ i.d.R. kein Einsatz am De- und Remontageort möglich ▪ Vor- und Nachlauf auf der Straße u./o. Schiene notwendig ▪ Umladungen erforderlich ▪ evtl. Zwischenlagerung notwendig ▪ Gefahr der Beschädigung von Bauteilen durch zusätzliche Verladevorgänge erhöht sich ▪ Einfluss von Witterungsbedingungen auf den Transport (Wasserstände der Flüsse schwankend) ▪ geringe Flächenabdeckung der Binnenschifffahrtswege

Welcher Verkehrsträger für die Beförderung der Altbetonbauteile vom Anfall- zum Einsatzort verwendet wird, ist abhängig von der verkehrstechnischen Anbindung dieser und von der Art, Masse und Menge der zu transportierenden Bauteile. Was die Frage der ökologischen Vertretbarkeit des Transportes über die Straße betrifft, ist von wirtschaftlicher Seite derzeit nicht relevant. Gesamtlast und Nutzlast stehen im Vergleich zum Bahn- und Schiffstransport in einem schlechten Verhältnis, was sich durch einen hohen Energieverbrauch Kraftstoff/Tonne Betonbauteil niederschlägt. Weiterhin belastet der Straßenverkehr die ohnehin oft schon zu stark frequentierten Straßen. Allerdings erfordern Bahn- und Schiffstransporte Umschlagprozesse für die Vor- und Nachlaufvorgänge sowie gegebenenfalls für Zwischenlagerungen, die über den notwendigen Kraneinsatz Energie- und Ressourcen (Energieträger) verbrauchen und Emissionen freisetzen.

Für den Tieflader-Einsatz gilt es die Transportkapazitäten auszulasten und Leerfahrten zu reduzieren, um so Kosten zu sparen.

5 Grundgedanken zur Ausführung der Bauteilremontage

Insgesamt ist der Bau mit Altbetonbauteilen einem höheren Aufwand der Planung unterworfen. Dieser bezieht sich außer den Leistungsphasen 1 – 6 nach HOAI[139] hauptsächlich auf die logistischen Probleme der Bauteilwiederverwendung für den Antransport sowie für die Baustellenlogistik. Es kann hervorgehoben werden, dass insbesondere die Wiederverwendung kompletter geometrisch unveränderter Betonbauteile den Verfahrensprozess erleichtert, da neben Betonsägearbeiten das Schaffen alternativer Anschlagmöglichkeiten entfällt. Außerdem kann mit der (nahezu) ausschließlichen Verwendung Altbetonbauteile der Bauprozess beschleunigt werden. Zusätzliche Arbeiten wie die Herstellung von Mauerwerk und die Ausbildung von Ringankern und deren Anbindung an die restliche Bausubstanz können entfallen oder eingeschränkt werden. Ein hundertprozentiger Einsatz von Altbetonbauteilen ist beim Hausbau durchaus möglich. Die Spannbetondecken mit einer Systemlänge von 6 m lassen dem Architekten viel Freiheit für die Nutzung verschiedenster Gestaltungsoptionen offen.

Der Einsatz von Altbetonteilen (Innen- und Außenwände) im Außenwandbereich ist auf Grund der wärmetechnischen Anforderungen immer mit der Ausführung einer Wärmeschutzfassade verbunden. Somit ist auch der Fassadengestaltung des Bauwerkes keine Grenze gesetzt. Es kann – wenn der Wunsch besteht - der Charakter eines Plattenbaus (Fugenbild) hervorgehoben oder versteckt werden. Gleiches gilt für den Innenausbau. Es gelten die gleichen Optionen wie für jede andere konventionelle Bauweise.

5.1 Planung von Wohnhäusern unter Verwendung von Altbetonbauteilen - Prinzipielles

Generell sind die Anforderungen der DIN 1045-1:2001-07 und DIN 1045-3:2001-07 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton Teil 1 Bemessung und Konstruktion und Teil 2 Bauausführung für die Montage von neu hergestellten Fertigteilen auch für den Einsatz von Altbetonbauteilen gültig. Neben den allgemeinen Aussagen der DIN 1045-1:2001-07 wird im Abschnitt 4 auf den Mindestumfang der bautechnischen Unterlagen eingegangen. Zu den erforderlichen bautechnischen Unterlagen gehören demnach die für die Ausführung des Bauwerks notwendigen Zeichnungen, die statische Berechnungen, Verlegepläne der Bauteile mit Positionsnummern der einzelnen Teile, Positionsliste, Montageanleitungen und ergänzende Projektbeschreibungen sowie etwaige bauaufsichtliche Zulassungen und Prüfbescheide. Bei der Verwendung von Altbetonbauteilen ist[140]

- die Art der Fertigteile,
- Typ- oder Positionsnummer und Eigenlast der Fertigteile,

[139] Honorarordnung für Architekten und Ingenieure.
[140] nach DIN 1045-1:2001-07 Abschn. 4.

- Art, Lage und zulässige Einwirkungsrichtung der für den Transport und die Montage erforderlichen Anschlagmittel (z.B. Transportanker), Abstützpunkte und Lagerungen,
- ggf. zusätzliche konstruktive Maßnahmen zur Sicherung gegen Stoßbeanspruchung,
- die auf der Baustelle zusätzlich zu verlegende Bewehrung

anzugeben.

Zudem müssen Angaben zu der Ausführung zeitweiliger Stützungen und Aufhängungen, über das Ausrichten der Bauteile, über für die Gebrauchs- und Tragfähigkeit entscheidende Zwischenzustände sowie die Lagerung der Elemente in den Planungsunterlagen und der Montageanleitung gegeben werden.

Die Montageanweisung muss gemäß DIN 1045-3:2001-07 auf der Baustelle verfügbar sein und Angaben für Handhabung, Lagerung, Versetzen und Einbau der Fertigteile enthalten. Hinsichtlich der Handhabung müssen alle Lasten und Anschlagpunkte (vor allem der Einsatz alternativer Anschlagmittel), die Anordnung der Hebevorrichtungen und ggf. besondere Hilfseinrichtungen sowie das Gesamtgewicht für jedes Bauteil angegeben werden. Die Angaben zur Lagerung müssen die Anordnung der Auflagerpunkte und die maximale Höhe der Lagerstapel sowie die erforderlichen Maßnahmen zur Sicherstellung der Standsicherheit der Stapel beinhalten. Für das Versetzen müssen Aussagen zur Anordnung der Lager und Unterstützungen sowie vorübergehende Sicherungsmaßnahmen getroffen werden. Des Weiteren sind die Ausführung der Bauteilverbindungen, der Einbau zusätzlicher Bewehrung sowie der Einbau von Beton darzustellen.

Ausdrücklich wird in der Norm darauf hingewiesen, dass Fertigteile mit Beschädigungen, welche die Standfestigkeit und Gebrauchstauglichkeit gefährden, nicht eingebaut werden dürfen.

5.2 Baustelleneinrichtung, Arbeitskräfte- und Geräteeinsatz

Die Remontage der Elemente kann grundsätzlich mit den üblichen Geräten und Arbeitsmitteln und gleichem Arbeitskräfteeinsatz wie bei der Montage neuer Fertigteilelemente ausgeführt werden. Die Grundausstattung der Baustelleneinrichtung ist somit die gleiche wie bei konventionellen Bauten. Neben der Sicherung des Baustellengeländes durch einen Bauzaun gehören zusätzliche Sanitär- und Aufenthaltsbereich für die Beschäftigten sowie abschließbare Unterstellmöglichkeiten für Kleingeräte und Materialien. Gegebenenfalls muss für den Bauprozess ein Gerüst gestellt werden.

Hauptarbeitsgerät für die Remontage ist der Kran. Bei der Kranauswahl sind die einzusetzende Kranart, die Anordnung des Kranes, die erforderliche Krananzahl und die Krangröße ausschlaggebend. Die Kranauswahl ist dabei vor allem von der Gebäudegeometrie, der Maximallast und der Dauer des Montagevorhabens abhängig.

Weiterhin werden folgende Maschinen, Geräte und Arbeitsmittel benötigt:

- Betonmischer zur Herstellung des Fugenmörtels bei kleineren Bauvorhaben sonst Transportbeton,
- Schweißgerät zur Herstellung der Bauteilverbindungen,
- Elektrohammer zur Beseitigung anhaftender Mörtelreste,

- Bohrmaschine zum Anbringen von Montagstreben,
- Montagestreben zum Sichern und Ausrichten von Wandelemente,
- Montagestützen zum Sichern (Abstützen) von Deckenplatten,
- Schalungsmaterial zum Fugenverschluss,
- Leiter, Schaufeln, Kellen, Wasserwaage, Hämmer, Brechstange etc.

Neben dem Kranführer werden mind. 3 - 6 Arbeitskräfte im Einsatz sein.

5.3 Abwicklung der TUL-Prozesse

Das evtl. erforderlich werdende Zwischenlager der Altbetonelemente für den Remontageprozess ist so einzurichten, dass die Bauteile in der technologisch vorgegebenen Reihenfolge der Remontage entnommen werden können. Dabei ist auch die Verwendung von alternativen Anschlägen zu berücksichtigen. Diese stellen zum Teil erhöhte Anforderungen an die Zugänglichkeit der einzelnen Bauteile. Zum Beispiel erfordert der Einsatz von Durchstecksystemen den Zugang von beiden Seiten des Bauteils. Der Anschlag der sekundären Bauteile sollte daher über die vorhandenen originalen Tragösen erfolgen, so weit diese noch vorhanden und nicht durch die Demontage oder TUL-Prozesse beschädigt wurden. Der Kranstandort ist so zu wählen, dass eine Entnahme und der Einbau der Betonbauteile ohne zusätzliches Umsetzen möglich sind. Die Bauteile sind vor der Remontage visuell auf evtl. Schadstellen (Risse, Abplatzungen u.a.) zu prüfen. Sofern dies zutrifft, sind die Bauteile zu kennzeichnen, Aufarbeitungsmaßnahmen zu planen oder die Betonelemente sind auszusondern.

Sind Betonsägearbeiten erforderlich oder bereits erfolgt, ist die Schaffung von alternativen Anschlägen unumgänglich, da die vorhandenen originalen Tragösen durch Schneidearbeiten zumeist abgetrennt oder unbrauchbar werden.
Für den Transport zum Einbauort (Gebäude) ist ein Kran entsprechend dem schwersten Element (bis ca. 6,5 t) zu wählen. Als Anschlagmittel sind Seil- und Kettengehänge üblich, wenn die ursprünglichen Tragösen nachnutzbar sind. Zu beachten ist, dass bei Stranggehängen der Neigungswinkel von 60° nicht überschritten wird, d.h. der Spreizwinkel darf nicht größer als 120° sein. Deckenelemente sind mit einem Vierstrang-Gehänge und Wandelemente mit einem Zweistrang-Gehänge anzuschlagen.
So weit vorhanden und nutzbar, sollte an den primären Tragösen angeschlagen werden. Vor der Nachnutzung müssen diese allerdings auf ihre Funktionsfähigkeit visuell überprüft werden. Werden Einkerbungen, Verformungen, Deformierungen, Aufzwängungen bzw. Verengungen, Schweißspritzer und Einbrandkerben festgestellt, sind die Tragösen nicht zu nutzen. Dies ist erforderlich, da beschädigte Tragösen nicht besonders gekennzeichnet wurden und eine Sichtkontrolle für den Anschläger über eine kurze Sichtkontrolle leicht möglich. Im Falle einer beschädigten Tragöse sind alternative Anschlagmöglichkeiten zu wählen. Dies kann mittels Durchstecksystemen mit Anschlaghaken oder zugelassenen Ösen mit Anschraubplatte realisiert werden.

5.4 Remontagetechnologie

Notwendige Reprofilierungs- und/oder Aufarbeitungsmaßnahmen an Betonelementen können entweder im Vorfeld der Remontage oder im eingebauten Zustand ausgeführt werden. Die Aufarbeitung von Abplatzungen und Ausbrüchen im Fugenbereich kann bspw. im eingebauten Zustand im Zuge des Fugenverschlusses erfolgen.

Der Montagebau der DDR wurde in Trocken- oder Nassmontage ausgeführt. Der Toleranzausgleich bei der Trockenmontage erfolgte über ausgleichende Fugenelemente aus Gummi, Plasten, Stahlblechen, Keilen, Schraubmechanismen und wurde zum Teil nach der Montage mit Mörtel unterfüttert.[141] Bei der Nassmontage wurden die Auflagerflächen mit einer Mörtelschicht (Betongüteklasse B 160 – B 225[142]) versehen. Entsprechend der DIN EN 206-1:2001-07 bedeutet dies mindestens die Betonfestigkeitsklasse C 16/20.

Tab. 41: Montagefolge der Nass- und Trockenmontage bei Wandkonstruktion (TGL 22720/02)[143]

Nassmontage	**Trockenmontage**
Kontrolle der Lagerfläche	Kontrolle der Lagerfläche
Auflegen der Fugenlehre	Justieren der Höhepunkte
Aufgeben und Abziehen der Lagerfuge	Versetzen der Elemente
Versetzen der Elemente	Herstellen der Elementeverbindung
Herstellen der Elementeverbindung	Unterstopfen oder Auspressen der Lagerfuge
Verstreichen der Lagerfuge	Entlasten der Justierpunkte
Einbringen des Vergussbetons in die Vertikalfuge	Einbringen des Vergussbetons in die Vertikalfuge

Vor Beginn der Remontage eines Altbetonbauteils sind die Auflager von Anhaftungen (Mörtelreste u.a.) zu befreien, zu säubern und vorzunässen, um eine optimale Verbindung des Auflagermörtels mit dem Untergrund und dem Altbetonelement sicher zu stellen. Auf Mörtelfugen dürfen tragende Bauteile nicht mehrfach gerichtet werden. Auch dürfen die Bauteile nicht mit Ziegel- oder Fliesenstücken unterfüttert werden.

Die Sicherung bis zur Fertigstellung einer tragfähigen Verbindung und die vertikale und horizontale Ausrichtung der Wandbauteile erfolgt über Montagestreben. Diese sind sicher in den Untergrund und im Bauteil zu befestigen. Die Anbindung an den Untergrund kann über Schwerlastdübel (Einschlagbolzen) realisiert werden. Für die Befestigung der Montagestreben an den Wandelementen eignen sich Durchstecksysteme, da diese leicht entfernt und die entstanden Löcher verschlossen werden können. Erst mit der vollendeten Sicherung der Wandbauteile durch die Montagestreben kann das Bauteil abgeschlagen werden. Zur Sicherung von Deckenplatten können Montagestützen eingesetzt werden.

Bei ausschließlichem Einsatz von Altbetonbauteilen aus dem Plattenbau kann der Ringanker über die Verschweißung der bereits vorhandenen Ringankerbewehrung in den Bauteilen geschlossen werden.

---

[141] Ludewig, S.: Montagebau, Berlin, 1972, S. 484.
[142] ebenda, S. 484.
[143] ebenda, S. 485.

Dabei müssen die Enden der Verbindungsstähle freigelegt und gesäubert werden. Die Verbindung erfolgt über die Zulage von Stählen gleichen Abmaßes. Ebenso können zur Herstellung der Deckenscheibe die Verbindungseisen der Altbetondeckenplatten wieder miteinander verbunden werden. Bei der Verwendung von Bauteilen aus dem Block- bzw. Streifenbau oder bei Einsatz verschiedener Wandbauarten (Mauerwerk) empfiehlt sich die Herstellung eines neuen Ringankers. Hierbei muss die kraftschlüssige Verbindung des Ringankers mit den Altbetonwänden sowie die Anbindung der Deckenscheibe sichergestellt werden. Es ist zu beachten, dass über die Bauteilverbindung die Übertragung von Druck-, Zug- und Schubkräften und somit ein robustes Tragverhalten des Tragwerks gewährleistet sein muss. Folgende Verankerungen werden gemäß DIN 1045-1:2001-07 für die Berücksichtigung außergewöhnlicher Ereignisse gefordert[144]:

- Wirksamer, über den Umfang des Tragwerks umlaufender Ringanker in jeder Dach- und Deckenebene, um eine Scheibenwirkung zur Sicherung der Gesamtstabilität zu gewährleisten.
- Innenliegende Zuganker, die in jeder Dach- und Deckenebene in zwei zueinander etwa rechtwinkligen Richtungen liegen, über die gesamte Bauwerksbreite bzw. –länge durchlaufend sind und an ihren freien Enden in den Ringanker verankert oder als horizontale Zuganker bis zu Stützen oder Wänden fortgesetzt werden.
- Horizontale Verankerung der tragenden und aussteifenden Außenwände (und Randstützen) in jeder Dach- und Deckenebene.

Erst nach endgültiger Fertigstellung aller Verbindungen und dem Aushärten des Fugenmörtels (70% der Endfestigkeit) kann mit der Montage des nächsten Geschosses begonnen werden.

Von der Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau wurde eine Muster-Montageanweisung für den Betonfertigteilbau[145] erstellt. Hinsichtlich der Wiederverwendung von Altbetonfertigteilen wurde diese durch NAGORA[146] und später durch das IFF Weimar[147] angepasst und überarbeitet. Daraus und den Erfahrungen der FG Bauliches Recycling durch die wissenschaftliche Begleitung verschiedener Remontageprojekte resultieren die nachfolgend aufgeführten Vorschläge von Montagevorschriften für wandartige Fertigteile sowie Decken- und Dachplatten.

[144] Künzel, E.; Blume-Wittig, J.; Kott, M.; Ost, C.: Technischer Leitfaden Plattenbau, Bauforschung für die Praxis, Band 70, Institut für Fertigteiltechnik und Fertigbau Weimar e.V., 2004, S 76 f..
[145] Muster-Montageanweisung für den Betonfertigteilbau, FDB Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau e.V., 3. korrigierte und überarbeitete Auflage, April 1998.
[146] Nagora, A.: Demontage von Plattenbauten unter Berücksichtigung der Wiederverwendung (Remontage) ausgewählter Fertigteile aus baubetrieblicher und bauwirtschaftlicher Sicht, dargestellt am Beispiel der Plattenbauserie P2, Dissertation, BTU Cottbus, 2002.
[147] Künzel, E.; Blume-Wittig, J.; Kott, M.; Ost, C.: Technischer Leitfaden Plattenbau, Bauforschung für die Praxis, Band 70, Institut für Fertigteiltechnik und Fertigbau Weimar e.V., 2004.

5.4.1 Vorschlag einer Remontagevorschrift für sekundäre Wandbauteile

Tab. 42: Vorschlag einer Remontagevorschrift für sekundäre Wandbauteile

1	**Schaffung von Baufreiheitsbedingungen**
2	**Vorbereitungen zur Remontage**
	▪ Auflager säubern und kontrollieren; bei Nassmontage vornässen ▪ Auflagerhöhe nachmessen und ausgleichen, Lager auflegen ▪ Bei Nassmontage Fugenmörtel ausbringen und abziehen
3	**Remontage**
	▪ Wetterschale der Außenwandbauteile dürfen nicht belastet werden ▪ Horizontale und vertikale Ausrichtung des Elementes über Montagestreben ▪ Krananschlag bleibt bis zur endgültigen Sicherung durch Montagestreben erhalten ▪ Herstellung der Bauteilverbindungen ▪ Unterstopfen/Auspressen der Lagerfuge bei Trockenmontage; Verstreichen der Lagerfuge bei Nassmontage ▪ Verschalen und Ausbetonieren der Vertikalfugen
4	**Remontagebedingte Nebenarbeiten**
	▪ Anbringen und Lösen evtl. Transport- und Remontagesicherungen (bspw. Sicherungsbügel für Wandstiele an Türöffnungen) ▪ Anbringen und Lösen der Montagstreben (Anzahl entsprechend Bauteilgröße) ▪ Herstellung der Auflagerfugen (Nassmontage) ▪ Schalen und Betonieren der Vertikalfugen
5	**Erforderliche Remontagehilfsmittel**
	▪ Montagestreben
6	**Arbeitskräftebedarf**
	▪ 4 AK Remontagekolonne (Anschläger, Abschläger, Monteur, Schweißer) ▪ 1 - 2 AK Nebenarbeiten
7	**Besondere Maßnahmen der Arbeitssicherheit**
	▪ Absturzsicherungen Es gelten die gleichen Vorschriften wie bei konventionellen Baumaßnahmen

5.4.2 Vorschlag einer Remontagevorschrift für sekundäre Deckenelemente

Tab. 43: Vorschlag einer Remontagevorschrift für sekundäre Deckenbauteile

1	**Schaffung von Baufreiheitsbedingungen**
2	**Vorbereitungen zur Remontage**
	▪ Auflager säubern und kontrollieren; bei Nassmontage vornässen ▪ Lager auflegen ▪ Bei Nassmontage Fugenmörtel ausbringen und abziehen
3	**Remontage**
	▪ Ausrichtung der Deckenplatte, kontrollieren der gleichmäßigen Lagerung ▪ Krananschlag lösen ▪ Herstellung der Bauteilverbindungen ▪ Verstreichen der Auflagermörtelfugen ▪ Verschalen und Ausbetonieren der Bauteilfugen
4	**Remontagebedingte Nebenarbeiten**
	▪ Unterstützungen durch Montagestützen bei zus. Aufbringen von Ortbeton ▪ Herstellung der Auflagerfugen (Nassmontage) ▪ Schalen und Betonieren der Bauteilfugen
5	**Erforderliche Remontagehilfsmittel**
	▪ ggf. Montagestützen
6	**Arbeitskräftebedarf**
	▪ 4 AK Remontagekolonne (Anschläger, Abschläger, Monteur, Schweißer) ▪ 1 - 2 AK Nebenarbeiten
7	**Besondere Maßnahmen der Arbeitssicherheit**
	▪ Absturzsicherungen Es gelten die gleichen Vorschriften wie bei konventionellen Baumaßnahmen.

5.5 Fazit zur Remontage

Dass sich demontierte Betonfertigteile aus industriell errichteten Gebäuden hochwertig nachnutzen lassen, wird im Abschn. 6 dargelegt. Was bei der Umsetzung derartiger Vorhaben zu beachten ist, wurde im Abschn. 5.1ff. beschrieben. Ergänzend wird auf Folgendes hingewiesen:

Vorteilhaft ist, wenn die Planung der Wiederverwendung von Betonfertigteilen an ein konkretes Rückbauvorhaben (Spendergebäude) gekoppelt wird. So kann der Architekt den Wiederneubau direkt an das verfügbare Elementesortiment des Spendergebäudes anpassen. Sägearbeiten zur Veränderung der Größe/Geometrie des Ursprungselementes sollten u.E. aus folgenden Gründen weitestgehend vermieden werden:

- Erhöhung der Baukosten durch zusätzlich erforderliche (Schneid-)Arbeiten,
- alternative Anschlagpunkte müssen geschaffen werden.

Der Architekt/Planer ist daher aufgefordert, die demontierten Betonfertigteile bestmöglich in ihrer originären Form und Gestalt wieder einzusetzen. Alle zusätzlichen Ergänzungen durch Maurerarbeiten bzw. zusätzliche Schalungen verzögern den effizienten Montageablauf und bedingen zusätzliche Kosten. Das Gebäude sollte demnach so konzipiert werden, dass weitestgehend die verfügbaren Betonfertigteile ohne weitere Ergänzungen verwendet werden können. D.h. die Vorteile des industriellen Bauens sollen beibehalten werden. Ausgenommen hier von sind Maßnahmen wie beispielsweise die Vergrößerung oder Verkleinerung von Fenster- und Türöffnungen. Diese können nach der Montage erfolgen und behindern damit nicht den Bauablauf.

Die Verfügbarkeit des gewünschten Elementesortiments ist direkt auf der Demontagebaustelle im eingebauten Zustand zu prüfen, die benötigten Betonfertigteile sind zu begutachten und zu kennzeichnen. Der direkte Kontakt und eine zeitnahe Absprache mit dem ausführenden Unternehmen sind für das Gelingen des Wiederneubaus von entscheidender Bedeutung. Die Rückbaufirma muss zu größtmöglicher Sorgsamkeit bei der Demontage der Betonfertigteile angehalten werden, um Beschädigungen durch den Demontageprozess weitestgehend zu vermeiden. Weiterhin muss die ausführende Firma die gekennzeichneten, wieder verwendbaren Betonelemente gesondert und fachgerecht zwischenlagern. Ideal wäre eine direkte Verladung der Elemente im Zuge des Rückbaus und wenn die Rückbaufirma auch den Zuschlag für den Wiederaufbau erhält, sofern sie dafür qualifiziert ist. Eine direkte Verladung wird allerdings i.d.R. nicht möglich sein, da erfahrungsgemäß die benötigten Elemente so im Rückbauobjekt verteilt sind, dass eine aufeinander folgende und zeitnahe Demontage dieser Fertigteile praktisch kaum zu realisieren ist. Der Abtransport der Bauelemente ist mit der Rückbaufirma abzustimmen, damit alle benötigten Elemente zum Tag des Transportes verfügbar sind. Es hat sich bewährt, wenn der Planer einige Tage vor dem Abtransport die zwischengelagerten Elemente vor Ort noch einmal in Augenschein nimmt und die Anzahl bzw. das Sortiment überprüft. So kann noch rechtzeitig reagiert werden, falls Elemente zu stark beschädigt sind und/oder noch fehlen.

Auf der Remontagebaustelle sollten die Elemente entsprechend ihrer Einbaureihenfolge sortiert und fachgerecht zwischengelagert werden. So vermeidet man Verzögerungen durch Umstapelungen im Zuge der Montage sowie Beschädigungen infolge unsachgemäßer Lagerung. Das ist so einzurichten, dass die Bauteile in der technologisch vorgegebenen Reihenfolge entnommen werden können. Dabei ist auch die Verwendung von alternativen Anschlagspunkten zu berücksichtigen. Diese stellen zum Teil erhöhte Anforderungen an die Zugänglichkeit der einzelnen Bauteile. Zum Beispiel erfordert der Einsatz von Durchstecksystemen einen Zugang von beiden Seiten des Bauteils. Der Anschlag der sekundären Bauteile sollte daher möglichst über die vorhandenen originalen Tragösen erfolgen, so weit diese noch vorhanden und nicht durch die Demontage oder TUL-Prozesse beschädigt wurden. Eine Inaugenscheinnahme der Ösen hinsichtlich ihrer Nachnutzbarkeit ist unabdingbar. Notwendige Reprofilierungs- und/ oder Aufarbeitungsmaßnahmen können ebenfalls bereits im Vorfeld der Remontage ausgeführt werden. Die Aufarbeitung von Abplatzungen im Fugenbereich kann bspw. im eingebauten Zustand im Zuge des Fugenverschlusses erfolgen. Dazu sind meist Schalarbeiten erforderlich.

Vor der Remontage sind die Bauteile iterativ auf evtl. Schadstellen (Risse, Abplatzungen u.a.) zu prüfen. Die Montage der Elemente kann mit den üblichen Maschinen und Geräten sowie Arbeitsmitteln und gleichem Arbeitskräfteeinsatz wie bei der Montage neuer Fertigteilelemente ausgeführt werden.

Insgesamt ist das Bauen mit Altbetonbauteilen einem höheren Planungsaufwand unterworfen, aber es verwirklicht einen neuen Denkansatz, der zur Nachhaltigkeit beiträgt. Eine Vielzahl von Architekten und Ingenieuren stellen sich diesem anspruchsvollen Tätigkeitsfeld.

6 Wiederverwendung in der Praxis

Dass der Bau von Häusern unter Verwendung von Altbetonbauteilen technisch machbar, ökologisch sowie preislich vorteilhaft ist und kreativen Gestaltungsspielraum zulässt, ist durch eine Vielzahl von Entwürfen und vor allem durch realisierte Pilotprojekte unter Beweis gestellt worden.[148] In „Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendungen“[149], im Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“ [150] und in der Fortsetzung der Tagungsreihe[151] werden viele erfolgreiche Beispiele zur Wieder- und darüber hinaus zur Weiterverwendung vorgestellt.

Der breite Spielraum für die Wieder- und Weiterverwendung gebrauchter Betonbauteile zeigt sich in den bereits fertig gestellten, derzeit ausgeführten, geplanten und in der Entwurfsphase befindlichen Bauten und Bauwerken. Diese Einsatzmöglichkeiten umfassen die Bereiche

- Wohnungsbau: Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäuser, Ferienhäuser und Bungalows,
- Gesellschaftsbau: Vereinshäuser, Sportstätten, Sozialbauten, Pavillons,
- Mehrzweckbau: Überdachungen für Fahrradständer, Carports, Garagen und Werkstätten,
- Landschafts-, Park- und Gartenbau: Kletterfelsen, Boulderwände, Freitreppen, Platz- und Wegbefestigungen, Sitzgelegenheiten, gestalterische Elemente,
- Umweltschutzmaßnahmen: Lärmschutzwände, Deichbau,
- Landwirtschaftsbau: Silos, Platzbefestigungen etc..

6.1 Wiederverwendung von gebrauchten Betonbauteilen im Wohnungsbau

Insbesondere durch die zunehmende Wohneigentumsbildung in Deutschland v.a. in Ostdeutschland wird im Bericht der Leerstandskommission von 2000 ein Neubauvolumen von ca. 900.000 Wohneinheiten in Ein- und Zweifamilienhäusern bis 2020 vorhergesagt. Zurückgeführt wird dies darauf, dass die geburtenstarken Jahrgänge aus den 1970-iger Jahren das „Eigentumsalter“ (30 – 40 Jahre) erreichen und auf Grund des in Ostdeutschland reichlich verfügbaren Baulandes ihren Traum von dem eigenen Heim erfüllen können[152]. Somit kann davon ausgegangen werden, dass sich auch ein Markt für den Einsatz von gebrauchten Betonelementen im Kleinhausbau entwickeln kann. Voraussetzun-

[148] Eine detaillierte Betrachtung der wirtschaftlichen und ökologischen Vorteile erfolgt in den nachfolgenden Abschnitten.
[149] Mettke, A. (Hrsg.): Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendungen – Anwendungskatalog II, BTU Cottbus, 2003.
[150] Mettke, A. (Hrsg.): Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt, Tagungsband, BTU Cottbus, 2005.
[151] Mettke, A. (Hrsg.): Alte Platte – Neues Design – Teil 2“, Tagungsband, BTU Cottbus, 2007
[152] Bericht der Kommission „Wohnungswirtschaftlicher Strukturwandel in den in den neuen Bundesländern, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Nov. 2000, S. 3.

gen dafür sind in erster Linie: ein uneingeschränktes Qualitätsniveau der Altbetonbauteile und preisgünstige Konstellationen gegenüber dem Bauen mit neuen Materialien. Da ersteres nachweislich ist und wie nachfolgend aufgeführte Fallbeispiele zeigen, der Rohbau preisgünstig herstellbar ist, sollte dies genügend Anreiz sein.

Zunächst soll an einem Fallbeispiel die Wiederverwendung gebrauchter Betonbauteile zur Errichtung eines Einfamilienhauses näher beschrieben werden.

6.1.1 Remontage eines Wohngebäudes – am Fallbeispiel „Haus Pieper“

6.1.1.1 Vorbemerkung

2004 kontaktierte eine private Bauherrengemeinschaft die Fachgruppenleiterin Bauliches Recycling zwecks der Errichtung eines Eigenheims unter Verwendung von gebrauchten Betonbauteilen. Nach umfassenden Erläuterungen und mehrmaligen Absprachen entschied sich die Bauherrengemeinschaft für eine Wiederverwendungsmaßnahme. Geplant wurde dieses Vorhaben von einem jungen Architekten. Das Haus erhielt von der FG Bauliches Recycling den Namen „Haus Pieper“. Das Baugrundstück befindet sich in Werneuchen, ca. 26 km nordöstlich von Berlin-Marzahn entfernt.

Spendergebäude

Zeitgleich zur Anfrage wurde in Berlin-Marzahn das Vorhaben „Ahrensfelder Terrassen“ der WBG Wohnungsbaugesellschaft Marzahn mbH umgesetzt[153]. 11-geschossige Wohnblöcke (Baujahr 1987, WBS 70) sind zu einer abgestuften, 2- bis 6-geschossigen Gebäudekombination zurückgebaut worden. Die FG Bauliches Recycling hatte in Abstimmung mit der WBG und dem Rückbauunternehmen Innen- und Außenwände, Geschossdeckenelemente und Dachkassettenplatten für das „Haus Pieper“ ausgewählt und den Bauzustand bewertet. Dieses Elementesortiment bildete schließlich die Planungsgrundlage.

Planung

Entsprechend den Wünschen der Bauherrengemeinschaft wurde ein 2-geschossiger Baukörper mit Pultdach und zurückgesetztem Obergeschoss (Terrasse) projektiert.[154]

Dabei mussten die vorgegebenen Parameter (Wohnfläche, Gestalt des Gebäudes) wechselseitig mit dem verfügbaren Bauteilsortiment abgeglichen werden; auch unter der Maßgabe, den Wiederverwendungsgrad in der Rohbausubstanz zu maximieren, die bautechnischen Qualitäten der gebrauchten Bauteile im Sinne einer räumlichen Flexibilität optimal zu nutzen und die Elemente möglichst ohne bzw. nur mit geringen konstruktiven Eingriffen (Kostenstabilität) einzubauen.

---

[153] Näheres s. Al-Ahdab, Jaqueline: Erfahrungen der WBG Marzahn mbH beim Rückbau von Plattenbauten. Das Projekt „Ahrensfelder Terrassen“, in: Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt, Hrsg. Angelika Mettke, 2005, S. 69 ff..

[154] Angaben: MWM objects freie Architekten, Dipl.-Ing. (FH) David Seidl: Planung/Genehmigung nach § 2 BbgBO (Geschossigkeit), § 8 BbgBO(Gestaltung) und § 34 BauGB (Einfügen in das Ortsbild).

Konstruktion

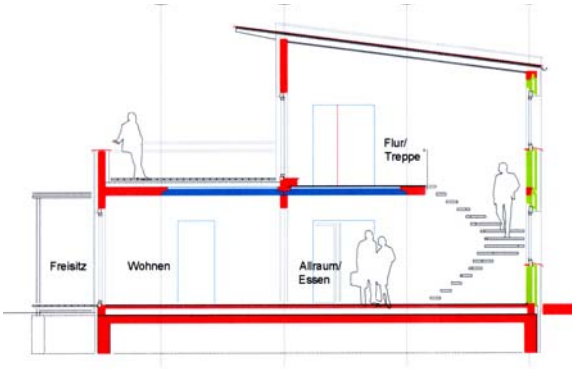
Das Konstruktionsprinzip basiert auf der Grundlage des statischen Systems des Spendergebäudes (vgl. Teil 1, Abschn. 2.7.2). Der Abb. 60 ist der Grundriss des Erd- und der Obergeschosses zu entnehmen.

Aus statischen (Stabilisierung), konstruktiven (Rohbauanpassung) und gestalterischen Gründen wurden Mauerwerksverbände ergänzt, so dass ein „Rohling“ (flexible Rohbauhülle) bereitsteht, der für die haustechnische Installation, den variablen Ausbau und jegliche Art von Witterungsschutz für die Rohbausubstanz vorgerichtet ist.

Im Hinblick auf die Dämmung und äußere Gestaltung wünscht der Bauherr einen Naturfaserdämmstoff mit hinterlüfteter Holzfassade.

Das Dach ist als Warmdach konzipiert. Die gebrauchten Dachkassetten (Stahlbeton) bilden die eigentliche Dachkonstruktion. Geplant ist, das Dach extensiv zu begrünen.

Abb. 58 : Modelldarstellung „Haus Pieper“



Legende:
grün - Außenwand;
blau – Innenwand;
rot – neu Mauerwerk oder Beton

Abb. 59 : Schnitt „Haus Pieper“

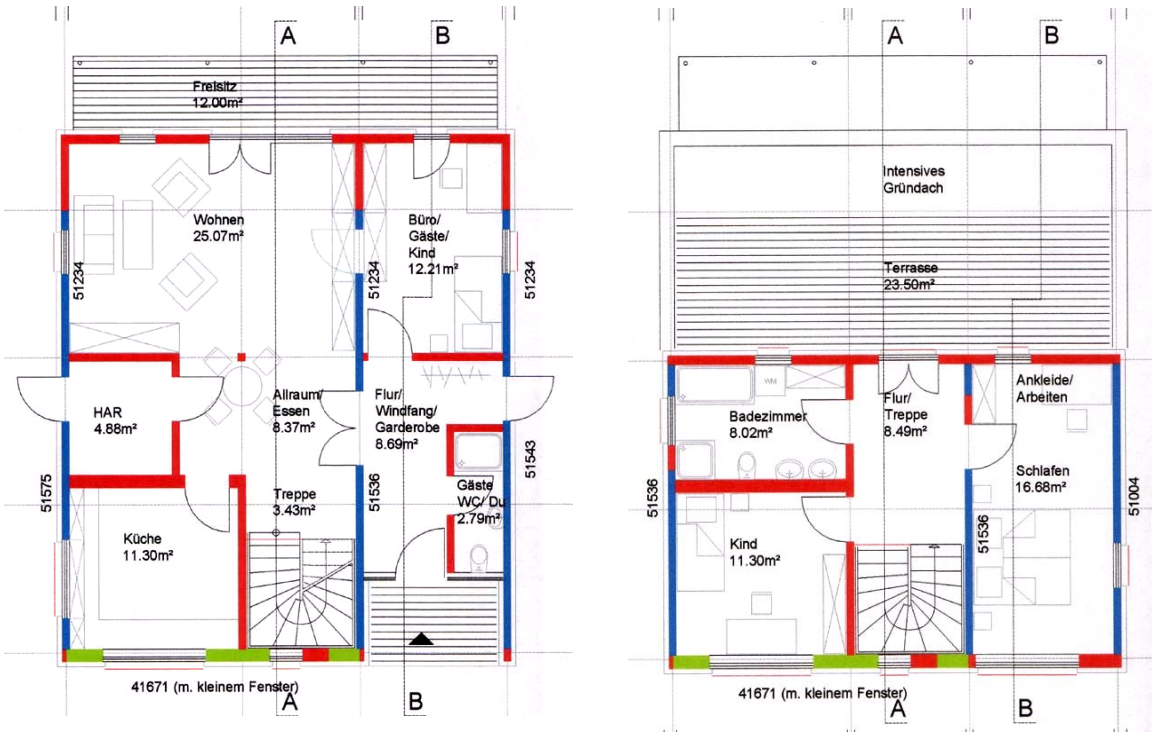


Abb. 60 : Grundriss des Erd- und Obergeschosses (blau / grün dargestellt: wiederverwendete Elemente)[155]

Insgesamt wurden 2 Außenwandelemente, 7 Innenwandelemente, 6 Deckenplatten und 3 Dachkassettenplatten der WBS 70 wiederverwendet. Daraus resultieren folgende Kennwerte bezogen auf den Konstruktions-Rauminhalt (KRI)[156] von 83,4 m³ zum Wiederverwendungspotenzial.

Tab. 44: Wiederverwendungsgrad bezogen auf den Konstruktions-Rauminhalt (Rohbaukonstruktion)

Kennwerte	WBS 70 - Elemente	Mauerwerk	Ortbeton
Außenwand	48 %	52 %	
Innenwand	34 %	66 %	
Decke	83 %		17 %
Dach	95 %		5 %

6.1.1.2 Wiederverwendungseignung des Elementesortimentes

Gemäß der Entscheidungsstufen zur Wiederverwendungseignung (s. Abschn. 2) wurden von der FG Bauliches Recycling Analysen zum Bauzustand der zur Wiederverwendung vorgesehenen Betonelemente im eingebauten Zustand vorgenommen. Demnach bestand die erste Phase der Selektion aus der visuellen Bauzustandsuntersuchung und der anschließenden Kennzeichnung der als wiederver-

[155] MWM objects freie Architekten, Dipl.-Ing. (FH) David Seidl.
[156] DIN 277-1:2005-02 Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau, Teil 1: Begriffe, Ermittlungsgrundlagen, Abschn. 3.2.2 Konstruktions-Rauminhalt.

wendungsgeeignet eingestuften Elemente. Im Rahmen der Eignungsprüfung wurden die Betondruckfestigkeit und die Betonüberdeckung ermittelt. Insgesamt sind diesbezüglich 10 Deckenelemente, 2 Außenwände und 11 Innenwände untersucht worden. Hinsichtlich der Betondruckfestigkeit und der Abhängigkeit der Mindestbetonüberdeckung vom Stahldurchmesser erfüllten alle Elemente die Anforderungen.

Die ausgewählten und gekennzeichneten 18 Betonelemente wurden auf der Demontagebaustelle bis zum Abtransport zur Remontagebaustelle ordnungsgemäß zwischengelagert. Vor dem Abtransport der Elemente prüfte die FG Bauliches Recycling iterativ das Sortiment. Festgestellt wurde, dass beide Außenwände mit kamilit gedämmt waren (s. Teil 1, Abschn. 3.4). Folglich wurden diese Außenwände von der Wiederverwendung ausgeschlossen. Beide ausgesonderten Elemente wurden durch Außenwandplatten ersetzt, die eine Polystyrol-Dämmschicht beinhalteten.

Auf dem Zwischenlager des Baugrundstücks wurden im Rahmen der Zusatzprüfung (Entscheidungsstufe 3) an 2 Innenwänden mit Türaussparung Risse im Schaftbereich festgestellt.

6.1.1.3 Bauablauf

Im Juli und im September 2004 wurden die ausgewählten 18 Elemente mit einem Gesamtgewicht von rd. 93 t nach Werneuchen transportiert. Die Stahlbetonelemente wurden mittels Turmdrehkran, der auf der Baustelle in Berlin-Marzahn im Einsatz war, auf Sattelzüge verladen. Die Deckenelemente, wie auch die Dachkassettenplatten sind ordnungsgemäß entsprechend ihrer Einbaulage im Gebäude, liegend transportiert worden. Zum sach- und fachgerechten Lagern der Elemente auf dem Sattelzug wurden Stapelhölzer mit einem Querschnitt von 2,5 x 4 cm zwischen den Fertigteilen an den Auflagern verlegt. Insgesamt waren für die 6 Decken- und 3 Dachkassettenplatten 3 Transporte notwendig. Die Breite der Dachkassettenplatten betrug auf Grund einer längsseitigen Aufkantung der Bauteile mehr als 3,00 m, nämlich 3,08 m. Da bei einem Transport von Bauteilen mit einer Breite größer 3,00 m ein Transportzuschlag wegen Überbreite zu entrichten ist, wurden die Aufkantungen an den Längsseiten der Dachelemente vor ihrem Abtransport auf dem Zwischenlager der Demontagebaustelle abgeschlagen.

Innen- und Außenwände sind ebenso ordnungsgemäß transportiert worden. Hierfür wurde ein A-Bock verwendet (s. Abb. 53 und 55).

Für das Abladen auf der Remontagebaustelle stand ein 60 t Teleskopautokran zur Verfügung. Die Zwischenlagerung erfolgte genauso wie der Transport nach statischen Anforderungen für Wände stehend und für Decken- und Dachelemente liegend.

Im Juli 2006 wurden das Streifenfundament (ausgebildet als Frostschürze) und die Bodenplatte hergestellt (s. Abb. 59). Die Sauberkeitsschicht ist als Schaumglasschüttung ausgeführt worden. Ende August 2006 erfolgte die Remontage der Wandelemente im Erdgeschoss.

Die Montage von 3 Innenwänden, einer Außenwand sowie das Schneiden von 2 Innenwandelementen und deren Montage konnte in 3 Stunden realisiert werden (entspr. ca. 78 m² Wandfläche). Zur Halterung und Ausrichtung der Wandelemente wurden jeweils 2 Montagestreben verwendet. Die an

den Betonfertigteilen vorhandene Anschlussbewehrung wurde wieder genutzt und um Zulagestähle ergänzt. Zusätzlich ist ein Ringanker eingebaut worden (s. Abb. 63). Dadurch konnten gleichwohl die Höhenunterschiede der verwendeten Wände ausgeglichen werden.

Die Außenwände wurden im Sockelbereich mit Bitumendichtbahn und Styrodur Hartschaumplatte abgedichtet. Das Erdgeschoss ist aus statischen, konstruktiven und funktionalen Gründen um Mauerwerksverbände ergänzt worden. Zum einen, um die Stabilisierung und Aussteifung des Bauwerks und zum anderen, um die Rohbauanpassung sowie die Fassadengestaltung zu realisieren.

Im Oktober 2006 konnte die Decke über dem Erdgeschoss montiert werden. Auch hier wurden die Anschlussbewehrungen weiter genutzt. Inklusive Schneidarbeiten an 4 Deckenelementen dauerten die Arbeiten 4 Stunden. Bis das Mörtelbett ausgehärtet war und der Ringanker umschließend befestigt worden ist, kamen Montagestreben als Sicherungsmaßnahme zum Einsatz (Abb. 62).

Im November 2006 erfolgte innerhalb von 2 Stunden die Montage der letzten Wandelemente (1 Außenwand und 2 Innenwände) im Obergeschoss.

Die Ausführung der Dachkonstruktion aus 3 Dachkassettenplatten erfolgte erst im Mai 2007. Die Remontage einer Dachkassettenplatte dauerte dabei durchschnittlich 20 Minuten. Hier mussten aufgrund der für den Transport abgeschlagenen Aufkantungen zusätzliche Schal- und Betonierarbeiten erfolgen, um die Fugen zwischen den Dachbauteilen zu schließen.

In nachfolgender Übersicht ist der Bauablauf zur Errichtung des Rohbaus des „Haus Pieper“ zusammengefasst. Ersichtlich ist, dass die Bauzeit für den Rohbau, nach einer 2 jährigen Zwischenlagerung der Betonelemente auf dem Baugrundstück, über 1 Jahr betrug.

Tab. 45: Übersicht Bauablauf Rohbau „Haus Pieper“

Jahr	Monat	Leistung
2004	Juli	Transport von Innenwänden und Deckenplatten
	September	Transport von Innenwänden, Außenwänden und Dachkassettenplatten
2006	Juli	Fundament und Bodenplatte hergestellt
	August	Remontage Wandelemente EG
	Oktober	Remontage Deckenplatten EG
	November	Remontage Wandelemente OG
2007	Mai	Remontage Dachkassettenplatten

Abb. 61 : Zwischenlagerung und Schneiden der sekundären Betonbauteile

Abb. 62 : Remontage der Wandelemente

Abb. 63 : Ringanker (li.); zusätzliche Sicherung der remontierten Wandbauteile (mi., re.)

Abb. 64 : Montagezwischenzustand: Abstützung der Deckenelemente (li.), Remontage der Dachkassettenplatten

Mehr Informationen sind im Internet unter „Die Idee war geboren“ abrufbar[157].

6.1.1.4 Kostenschätzung

Für den Rohbau wurde seitens des Planungsbüros MWM objects eine Leistungsbeschreibung inkl. Kostenschätzung erstellt. Vergleicht man die Kosten für die Remontage mit denen eines konventionellen Mauerwerksbaus wird deutlich, dass beim reinen Rohbau durch die Wiederverwendung ca. 25 % der Kosten eingespart werden können. Basis für die Gegenüberstellung bildete eine Kostenberechnung mit Bauelementen nach DIN 276, der eine CAD-gestützte Massenermittlung zugrunde liegt[158]. Zur vereinfachten Darstellung und wegen der Vergleichbarkeit wird an dieser Stelle lediglich die Kostengruppe 300 herangezogen.

Tab. 46: Kostenkalkulation Kostengruppe 300 (Bauwerk - Baukonstruktion)

Position	Wiederverwendung [€]	Konventionelle Bauweise [€]
311 Baugrube	1.520	1.520
320 Gründung	12.625	12.625
330 Außenwände	11.560	17.053
340 Innenwände	2.243	3.270
350 Decke	2.260	4.380
360 Dachkonstruktion	2.550	4.650
Summe KG 300:	**32.758**	**43.498**

Die Bauherrengemeinschaft gab an, dass für die Materialien zur Herstellung der Bodenplatte insgesamt ca. 10.350 € investiert wurden.

Die Transportkosten inkl. Abladen beliefen sich auf 1.280 €. Darin enthalten sind die Kosten für den Autokran mit 880 € für 2 Tage à 5 Stunden mit An- und Abfahrt.

Zu den tatsächlichen Gesamtkosten für dieses Vorhaben können keine Angaben gemacht werden, da dieses Pilotvorhaben nicht als solches im Rahmen unserer wissenschaftlichen Begleitung gewertet werden kann. Während des Bauens kam es zudem zu weiteren Veränderungen hinsichtlich des Bauumfangs, da sich die junge Familie vergrößerte. Der 2-Personen-Haushalt änderte sich in einen 4-Personen-Haushalt.

[157] Die Bauherrengemeinschaft Andreas Pieper und Mandy Putbrese stellen ihr Vorhaben auf einer Webseite der Google-Suchmaschine vor.
[158] MWM objects freie Architekten, Dipl.-Ing. (FH) David Seidl.

6.1.1.5 Fazit - Projekt

Bei diesem Projekt sollte es sich um ein Demonstrativbauvorhaben handeln, das auf einem Grundstück im Wohngebiet „Stienitzaue“ in Werneuchen, nordöstlich von Berlin realisiert wurde. Eine private Bauherrengemeinschaft erfüllt sich hier ihren Wunsch vom eigenen Heim unter Wiederverwendung gebrauchter Plattenbauteile. Die Entscheidung wurde aus ökonomischen aber auch ökologischen Gründen getroffen. Die Bauherrengemeinschaft schätzt an dieser Konstruktion die Möglichkeit, Kosten durch maximale Eigenleistung einzusparen.

Das Beispiel zeigt, dass der Einsatz sekundärer Betonelemente im Verbund mit konventioneller Bauweise einen breiten Spielraum für die Gestaltung der Räume und auch der Fassade erlaubt. Das gewählte Elementesortiment der Wände macht allerdings die Ausführung eines zusätzlichen Ringankers notwendig. Bei ausschließlichem Einsatz von Altbetonelementen kann der vorhandene Ringanker in den Bauteilen durch das Verschweißen der Verbindungseisen unter Verwendung Zulagestählen weiter genutzt werden.

Mit der Ausführung einer hinterlüfteten Holzfassade ist die Verwendung von Innenwandelementen im Außenwandbereich möglich. Zur Kostenminimierung sollten die Altbetonbauteile möglichst in ihrem originären Zustand eingesetzt werden. Zusätzliche Betonsägearbeiten zur Bauteilanpassung – wie hier an 2 Elementen ausgeführt - erhöhen den Kostenrahmen deutlich. Gleichfalls müssen bei geschnittenen Bauteilen alternative Anschlagmöglichkeiten greifen. Diese beruhen zum großen Teil auf Durchstecksystemen, was wiederum ein nachträgliches Verschließen der Öffnungen notwendig macht.

Bei Bauteilbreiten über 3,00 m - wie bei den verbauten Dachkassettenplatten - ist ein Transportzuschlag für Überbreite einzukalkulieren. Im Falle der Reduzierung der Bauteilabmaße durch Betonschneiden oder wie in diesem Falle Abschlagen von überstehenden Aufkantungen ist mit zusätzlichen Aufwendungen für den Bauteilanschlag bzw. die spätere Bauteilverbindung zu rechnen.

Die Bauzeit der Erstellung des Rohbaus von 1 Jahr und 3 Monaten ist nicht auf die Verwendung der Altbetonbauteile zurückzuführen. Insofern distanzierte sich die FG Bauliches Recycling bei diesem Vorhaben als Demonstrations- bzw. Pilotvorhaben. Der Fakt, dass Altbetonelemente verbaut wurden, ist aus Nachhaltigkeitsgründen jedoch zu begrüßen.

Insgesamt lässt sich aus der wissenschaftlichen Begleitung des Vorhabens „Haus Pieper“ deutlich erhöhter Planungsaufwand im Vergleich zum traditionellen Bauen mit neuen Materialien feststellen. Dieser begründet sich vor allem in der erforderlichen Flexibilität in der Planung und Ausführung unter Beachtung der zur Verfügung stehenden Altbetonbauteile sowie der logistischen Ansprüche eines Wiederneubaus.

6.1.2 Entwurf eines Doppelhauses[159]

Durch die PGM Planungsgruppe Mitte GmbH in Gotha wurde ein Doppelhaus unter Verwendung Altbetonfertigteilen der WBS 70 entworfen. Das Musterhaus ist in Abbildung 65 von seiner Vorder- und Rückansicht dargestellt. Das Konzept umfasst zwei vollständige Wohneinheiten auf einer Etage ohne Keller. Ein Dachausbau ist nicht eingeplant.

Die äußeren Abmaße des Hauses sind durch die Verwendung der Altbetonbauteile in unveränderter Geometrie festgelegt, wobei ehemalige Außen- und Innenwand- sowie Deckenelemente des Typs WBS-70 zum Einsatz kommen sollen. Verbaut werden sollen insgesamt 27 Fertigelemente. Dies sind 10 Deckenplatten, 13 Außenwandelemente und 4 Innenwandbauteile. Tabelle 47 gibt einen genaueren Überblick über die Bezeichnung, die Abmaße und die Masse der Elemente.[160]

Abb. 65 : Musterhaus, Vorderansicht oben, Hinteransicht unten

Von der PGM GmbH ist vorerst nur die Anfertigung des Rohbaus als Ausbauhaus geplant. Dabei kann die Aufteilung der Innenräume durch die Verwendung von herkömmlichem Material in Leichtbauweise den individuellen Wünschen der Bauherren angepasst werden. Der Grundriss des Musterhauses ist in Abbildung 66 aufgeführt.

[159] Entwurf PGM Planungsgruppe Mitte GmbH, Gotha; Dipl.-Arch. Norbert Sprinz.
[160] Lüdtke, M.: Kostenuntersuchungen zum Einsatz von Altbetonbauteilen anhand eines Referenzobjektes, Diplomarbeit, FG Bauliches Recycling, 2007.

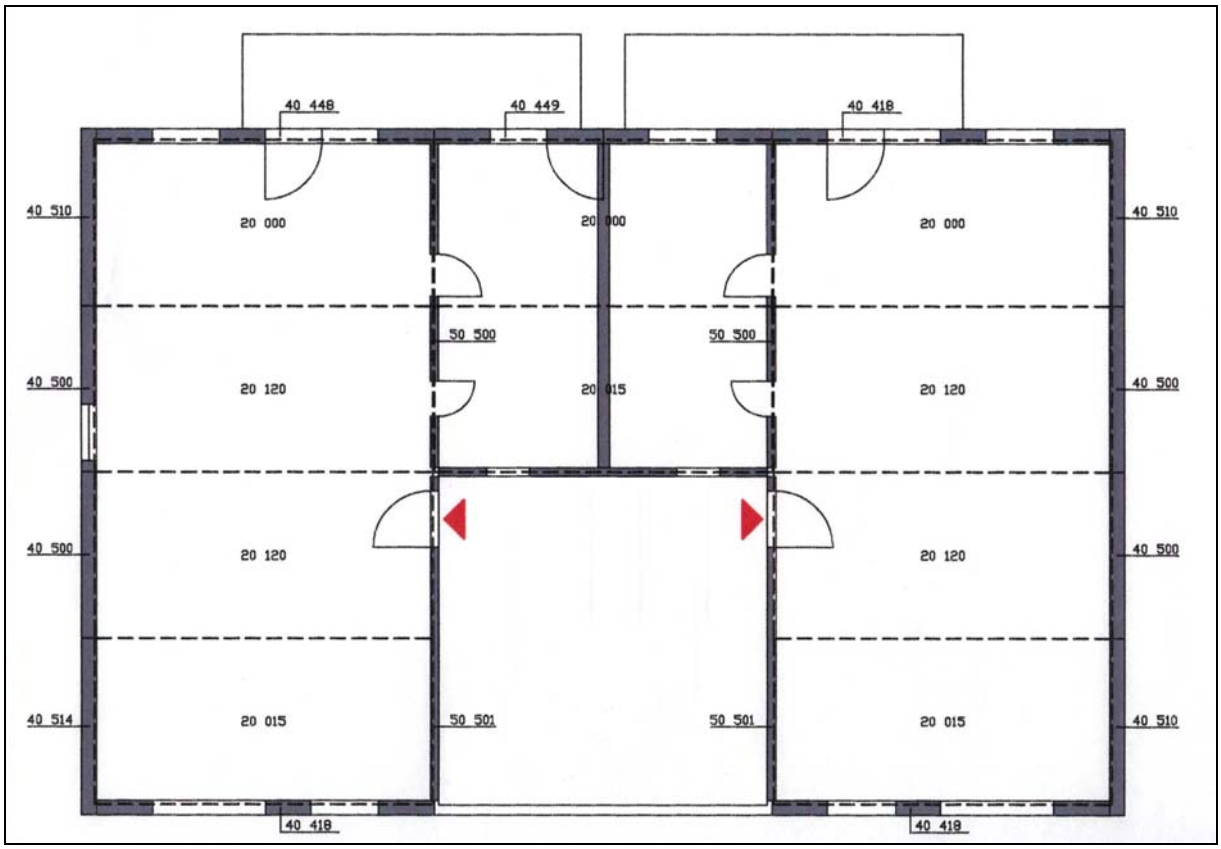


Abb. 66 : Grundriss des Musterhauses

Tab. 47: Aufstellung der zur Wiederverwendung geplanten WBS-70 Betonfertigteile

Kategorie	Anzahl	Element-bezeichnung	Länge in mm	Höhe in mm	Dicke in mm	Masse je Element in kg	Masse gesamt in t
Deckenplatte	3	20000	5.980	2.980	140	5.872	17,6
	4	20120	5.980	2.980	140	5.913	23,7
	3	20015	5.980	2.980	140	5.838	17,5
Außenwand	3	40510	3.175	2.865	260	3.972	11,9
	1	40514	3.175	2.865	260	3.972	4,0
	1	40448	5.980	2.865	260	5.646	5,6
	1	40449	5.980	2.865	260	5.646	5,6
	4	40500	2.980	2.865	260	3.955	15,8
	2	40418	5.980	2.865	260	5.798	11,6
	1	40419	5.980	2.865	260	5.798	5,8
Innenwand	2	50501	5.810	2.630	150	4.859	9,7
	2	50500	5.810	2.630	150	5.454	10,9
Masse gesamt in t							**139,8**

Gegründet wird das Gebäude auf einer 20 cm starken Bodenplatte mit einer Gesamtfläche von 190 m², worauf die Außen- und Innenwandelemente errichtet werden. Durch Einbringen eines wärmedämmenden Fußbodenaufbaus wird die Raumhöhe reduziert. Um die geforderte Mindesthöhe von 2,50 m zu erreichen, kann zum einen das Auflager der Wandelemente mittels Sockel erhöht werden. Eine andere Möglichkeit ist, eine zusätzliche Wärmedämmschicht unter der Bodenplatte einzubauen (s. Abb. 67). Die Sockelvariante mit einer Sockelhöhe von 15 cm kann in Ortbeton oder Mauerwerk ausgeführt werden.

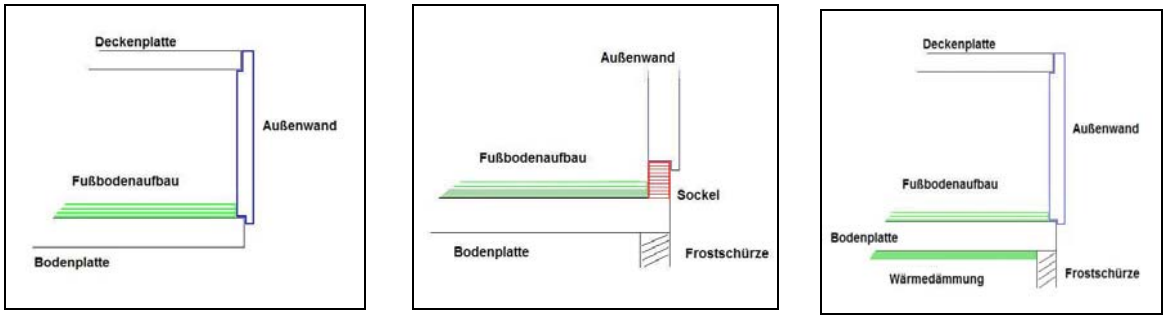


Abb. 67 : Alternativen zur Gestaltung der Raumhöhe durch Fußbodenaufbau, Sockel, Wärmedämmung (v.l.n.r.)

Die horizontale Abdichtung ist durch handelsübliche Abdichtbahnen unter den Wandelementen zu realisieren. Die primären Verbindungen der wiederverwendeten Bauteile sollen wieder genutzt werden. Das Satteldach soll aus schließlich aus Neumaterialien hergestellt werden. Die Außenhülle erhält eine zusätzliche Wärmedämmschicht.

Ein Kostenvergleich zwischen der Verwendung von Alt-/RC-Betonelemente in Szenarien gegenüber der Verwendung von Neumaterial weist einen Vorteil für die Wiederverwendung zwischen 25 und 42 % auf[161].

Die Umsetzung des Entwurfs in die Praxis ist für 2009 geplant, wobei eine Siedlung mit mehreren Doppelhäusern entstehen soll.

6.1.3 Wiederneubauten in Brielow[162]

In Brielow nahe Brandenburg entstanden im Blumenviertel mehrere Einfamilienhäuser im Bungalowstil unter der Verwendung gebrauchter Betonbauteile. Diese wurden zum großen Teil aus den Rückbauprojekten der Ahrensfelder Terrassen in Berlin-Marzahn gewonnen. Auf dem Zwischenlager der Entsorgungsfirma wurden die Bauelemente auf die gewünschte geometrischen Abmessungen geschnitten. Von dort aus erfolgte der Transport nach Brielow per Schwerlasttransport. Die Transportentfernung betrug ca. 100 km.

Zum Einsatz kamen hierbei Innenwand- und Deckenelemente der WBS 70/11. Die geschnittenen Betonelemente ermöglichten Variationen der Fensteranordnung und den Einsatz anderer Fenstergrö-

[161] Lüdtke, M.: Kostenuntersuchungen zum Einsatz von Altbetonbauteilen anhand eines Referenzobjektes, Diplomarbeit, FG Bauliches Recycling, 2007, S. 72f..
[162] Projektentwicklung Mischker und Projekthaus GmbH; Brandenburg.

ßen. Die Innenwandelemente wurden auch im Außenwandbereich verbaut und nachträglich mit einer Wärmedämmung sowie Putzauftrag versehen. Die Dachkonstruktion ist als Zeltdach ausgeführt.

Die fertig gestellten Gebäude sind auf einer Ebene mit 98 m² Wohnfläche ausgelegt und ab 59.000 € erwerbbar. Das eingeschossige Ausbauhaus wird mit ca. 620 €/m² Wfl. (855 €/m² Wfl. schlüsselfertig) angeboten. Auch eine zweigeschossige Variante mit 177 m² Wohnfläche wird angeboten. Als Ausbauhaus wird es zu 89.890 € (ca. 510 €/m² Wfl.) und schlüsselfertig zu 126.800 € angeboten veranschlagt.

Abb. 68 : Ein- und zweigeschossigen Variante – EFH[163]

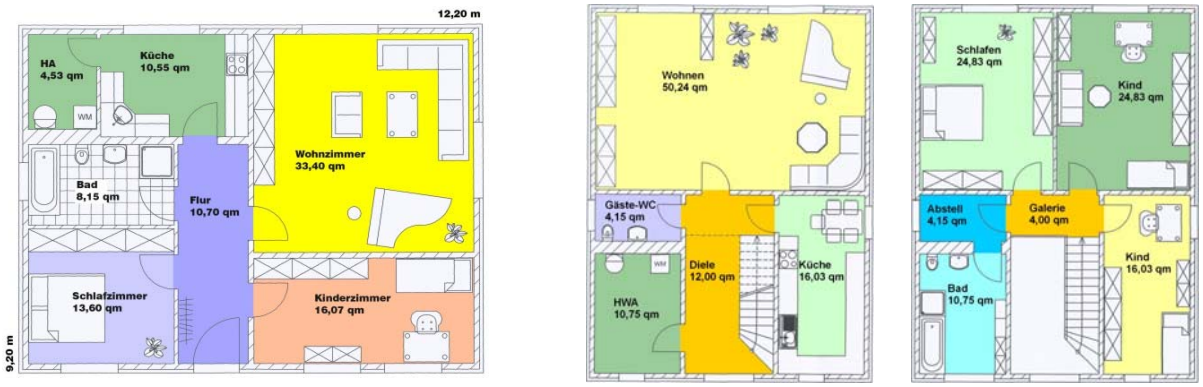


Abb. 69 : Grundriss der eingeschossigen Variante (98 m²) (li.) sowie des Erd- (93 m²) und Obergeschosses (84 m²) der zweigeschossigen Variante – EFH[164]

Abb. 70 : Rohbauzustand – EFH

[163] www.mischker.com
[164] ebenda.

6.1.4 Weitere Beispiele für Wohnbauten aus Altbetonbauteilen

Die nachstehend aufgezeigten Beispiele für den Bau von Wohnhäusern unter Verwendung von Altbetonplatten komplettiert mit neuen und anderen Werkstoffen, Baumaterialien und/oder –produkten sprechen sowohl aus architektonischer als auch aus preislicher Sicht (resultierend aus der Materialeinsparung für den Rohbau) für sich.

Doppelhaus in Eggesin[165]

Abb. 71 : Doppelhaus in Eggesin

Bauherr: Stadt Eggesin
Planung: Domizil Bauregie GmbH, Greifswald
Grundfläche Doppelhaus: 172,90 m²
Wohnfläche EG (eine Hälfte): 64,84 m²
Wohnfläche OG (eine Hälfte): 48,08 m²
Baujahr: 1999
Spendergebäude: WBS 70, IW 64, Eggesin
Transportentfernung: ca. 2 km
Wiederverwendung: **16 Wandelemente**
Remontage-Rohbau: **283,94 €/m² Wfl.**
Kostenersparnis: **15 %**
gegenüber konventioneller Bauweise

Zweifamilienhaus in Bröthen[166]

Abb. 72 : Zweifamilienhaus in Bröthen

Bauherr: Wohnungsgesellschaft mbH Hoyerswerda
Planung: Bauingenieurbüro Haidan, Wittichenau
Wohnfläche OG (eine Hälfte): 70,41 m²
Baujahr: 2001
Spendergebäude: P 2, Hoyerswerda
Transportentfernung: ca. 6 km
Wiederverwendung: **26 Wandelemente, 50 Deckenelemente**
schlüsselfertig: **1.279 €/m² Wfl.**
Kostenersparnis: **≈ 95 €/m²**
gegenüber konventioneller Bauweise

[165] nach Angaben von Herrn von Skrbensky, Eigenbetrieb Stadt Eggesin.
[166] nach Angaben von Dr.-Ing. Jürgen Haidan, Bauingenieurbüro Heidan.

Stadtvillen in Cottbus, Sachsendorf[167]

Abb. 73 : Stadtvillen in Cottbus, Sachsendorf

Bauherr: GWG „Stadt Cottbus“ e.G.
Planung: Architekturbüro Zimmermann und Partner, Cottbus
Wohnfläche: 1.050 m² (13 WE)
Baujahr: 2000/01
Spendergebäude: P 2, Cottbus
Transportentfernung: direkt Vorort
Wiederverwendung: **274 Betonfertigteile**
schlüsselfertig: **1.149 €/m² Wfl.**
Remontage-Rohbau: **84 €/m² Wfl.**
Kostenersparnis **ca. 20 %**
gegenüber konventioneller Bauweise

Einfamilienhaus in Mehrow[168]

Abb. 74 : Einfamilienhaus in Mehrow (Rohbau)

Bauherr: Privater Bauherr
Planung: CONCLUS Architekten, Büro für Nachhaltige Architektur, Berlin
Wohnfläche: 212 m² (zwei Etagen)
Baujahr: 2005
Spendergebäude: WBS 70, Berlin-Marzahn
Transportentfernung: 17 km
Wiederverwendung: **22 Wandelemente, 27 Deckenelemente**
schlüsselfertig: **≈ 840 €/m² kalkuliert**
Kostenersparnis: **ca. 15 %**
gegenüber konventioneller Bauweise

Einfamilienhaus in Plauen[169]

Abb. 75 : Einfamilienhaus in Plauen

Bauherr: Wohnungsbaugesellschaft Plauen mbH
Planung: Prof. Dr. Ing. habil. W. R. Eisentraut
Wohnfläche: 122 m²
Gesamtnutzfläche: 160 m²
(inkl. Terrasse/Garage)
Baujahr: 2006
Spendergebäude: IW 73, Plauen
Transportentfernung: ca. 2 km
Wiederverwendung: **17 Wandelemente, 15 Deckenelemente, 1 Treppenelement**
schlüsselfertig: **≈1.043 €/m² Wfl.**

[167] Unruh, H.-P.; Nagora, A.: Rückbau von Plattenbauten, S. 191, S. 211.
[168] Herve Biele, CONCLUS Architekten, Büro für Nachhaltige Architektur, www.conclus.de.
[169] nach Angaben von Prof. Dr. Ing. habil. W. R. Eisentraut sowie Wohnungsbaugesellschaft Plauen mbH.

Einfamilienhaus in Leinefelde[170]

Abb. 76 : Einfamilienhaus in Leinefelde

Bauherr: private Bauherrengemeinschaft
Planung: arbeitsgemeinschaft wbk 21 (Seidel; Hose) vertr. durch MWM objects freie Architekten, Dipl.-Arch David Seidl
Wohnfläche: 106 m²
Baujahr: 2006
Spendergebäude: WBR Erfurt 82
Transportentfernung: ca. 0,5 km
Wiederverwendung: **19 Wandelemente, 26 Deckenelemente**
Rohbaukosten: 50.000 €
Remontage-Rohbau: **471,70 €/m² Wfl.**
Kostenersparnis: **ca. 10 %**
gegenüber konventioneller Bauweise

Mehrfamilienhaus in Mühlhausen[171]

Abb. 77 : Mehrfamilienhaus in Mühlhausen (Modell)

Bauherr: Privater Bauherr
Planung: arbeitsgemeinschaft wbk 21 (Seidel; Hose) vertr. durch MWM objects freie Architekten, Dipl.-Arch. David Seidl
Wohnfläche: 248 m²
Baujahr: 2007
Spendergebäude: WBS 70, Leinefelde
Transportentfernung: ca. 28 km
Wiederverwendung: **28 Wandelemente, 23 Deckenelemente, 7 Treppenelemente**
Remontage-Rohbau: **451,60 €/m² Wfl.**
Kostenersparnis: **ca. 30 %**
gegenüber konventioneller Bauweise

6.1.5 Weitere Entwürfe zu Wiederneubauten im Wohnbereich

Auch durch die FG Bauliches Recycling wurden unter Beteiligung von Studenten/innen des Studienganges Architektur der BTU Cottbus mehrere Entwürfe zu verschiedenen Wohnhausvarianten unter Wiederverwendung gebrauchter Betonbauteile entwickelt. Einige dieser Entwürfe sollen hier kurz vorgestellt werden.

[170] nach Angaben von MWM objects freie Architekten, Dipl.-Arch. D. Seidl.
[171] ebenda.

6.1.5.1 Einfamilienhaus / Generationenhaus

Das Ziel des Entwurfes ist ein Wohnhaus aus Alt-/RC-Betonelementen zu errichten. Grundlage bildet das Bauteileelementesortiment eines 5-geschossigen Wohnblocks der Typenserie P2 (s. Tab. 48). Wiederverwendet werden Außen-, Giebel- Innenwand- und Deckenelemente. Es ist denkbar, diesen Entwurf mit Bauelementen anderer industriell hergestellter Wohnbautypen wie z.B. WBS 70, PN 36-NO u.s.w. umzusetzen, da eine Veränderung der Maße in Längsrichtung möglich ist.

Generell ist es möglich, den Keller aus Alt-/RC-Betonelementen herzustellen. Diese Alternative wird hier nicht dargestellt, da sich partielle Rückbaumaßnahmen zumeist auf Geschossreduzierung beschränken und folglich Kellerelemente nicht großflächig anfallen. Eine weitere alternative Lösung besteht auch darin, die Bodenplatte aus RC-Deckenelementen anstelle in Ortbeton herzustellen.

Untersucht wurden zwei Ausführungsvarianten. Bei beiden Varianten besteht das Gebäude aus zwei zueinander versetzten Kuben (s. Abb. 78, 79). Die Grundfläche beträgt jeweils 116 m². Beide Ku ben haben jeweils eine Breite von 6 m. Bei der Variante 1 sind beide Kuben zweigeschossig (Abb. 78), bei der Variante 2 ist ein Kubus (der Wohnbereich) zwei- und ein Kubus eingeschossig (Abb. 79) entworfen worden. Die Grundfläche des Wohnbereiches beträgt bei beiden Varianten 63 m². Dieser Bereich kann als Galerie nach oben geöffnet werden (s. Abb. 82).

Der angrenzende Kubus kann in Kinder-, Gäste-, Arbeits- und/oder Schlafräume eingeteilt werden. Der Einfachheit halber wird dieser Trakt als Schlafkubus bezeichnet. Diese Grundfläche beträgt 53 m².

Man betritt das Gebäude an der Stirnseite des Wohnbereichs, und geht durch die Diele zum zentralen Raum des Hauses, dem Wohnzimmer. Von dort gelangt man zu den Zimmern des Schlafkubus oder in den Keller.

Es sind zwei verschiedene Wohnmodelle mit unterschiedlichen Größen des Schlafkubus denkbar. Je nach Größe der Familie kann die Anzahl der Zimmer variieren. Variante 1 beinhaltet fünf Zimmer, Variante 2 drei Zimmer.

In Variante 1 ist der Schlafkubus – wie o.a. - zweistöckig, so dass zwei Wohnbereiche, einer im Erdgeschoss und einer im Obergeschoss entstehen. Dadurch ist es denkbar, diese Variante als Generationen-Haus zu nutzen. Im Erdgeschoss können bspw. die Großeltern zwei Zimmer mit Bad nutzen und gleichzeitig durch die zentrale Lage des Wohnzimmers und die gemeinsame Küche in das Familieleben aktiv integriert werden. Wenn nur drei Zimmer benötigt werden, kann der Schlafkubus einstöckig ausgeführt werden (Variante 2). So ergibt sich eine große Dachterrasse als zusätzlicher Außenraum.

Durch die Verwendung von Alt-/RC-Betonelementen ergibt sich bei beiden Varianten eine Einsparung von ca. 18 % der Rohbaukosten gegenüber einer traditionellen Bauausführung.[172]

[172] Mettke, A.; Rupp, E.-K.: Generationenwohnen – Entwurf eines Wohngebäudes unter Verwendung gebrauchter Betonfertigteile vom Gebäudetyp P2, BTU Cottbus, 2007.

Abb. 78 : Perspektivische Darstellung des Einfamilienhauses – Variante 1 (Generationenhaus)

Abb. 79 : Perspektivische Darstellung des Einfamilienhauses – Variante 2 (mit Dachterrasse)

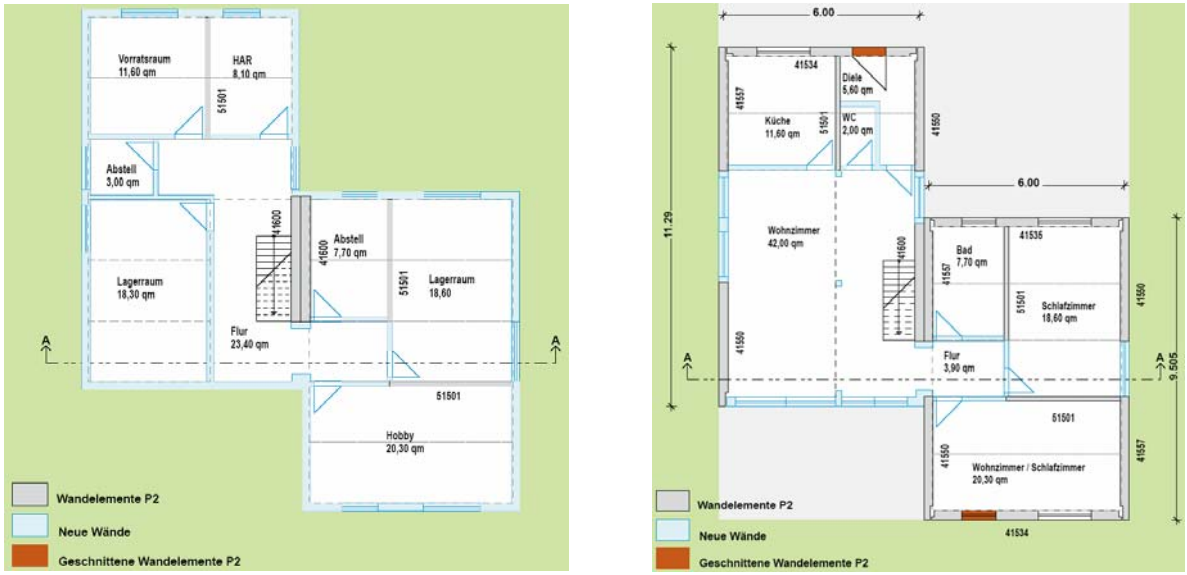


Abb. 80 : Grundrisse des Einfamilienhauses Kellergeschoss (li.), Erdgeschoss (re.)

Abb. 81 : Grundrisse des Einfamilienhauses Obergeschoss - Variante 1und 2 (v.l.n.r)

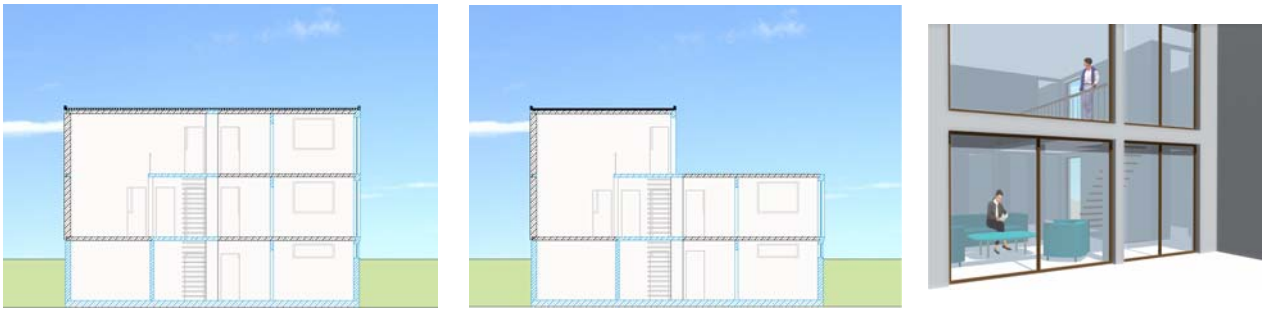


Abb. 82 : Schnitte des Einfamilienhauses - Variante 1und 2; Perspektive Wohnraum (v.l.n.r)

Tab. 48: Verwendete Altbetonelemente der Typenserie P2

	Elemente- Nr.	Abmessungen	Anzahl KG	Anzahl EG	Anzahl OG Var.1	Anzahl OG Var.2	Anzahl gesamt
Wandelemente	41534	5,985m / 2,845m / 0,290m		2	2	1	5
	41535	5,985m / 2,845m / 0,290m		1	1		2
	41550	3,887m / 2,845m / 0,290m		4	4	2	10
	41557	3,887m / 2,845m / 0,290m		3	3	1	7
	41600	3,750m / 2,845m / 0,290m	2	1	1	1	5
	51501	3,580m / 2,635m / 0,150m	3	3	3	1	10
Decken-elemente	21000	5,970m / 1,785m / 0,140m	8	7	11	1	27
	21200	3,570m / 1,785m / 0,140m	3				3
		Summe	16	21	14	7	69

6.1.5.2 Shell-Haus-Konstruktionen[173]

Unter Verwendung des Elementesortimentes der PN 36-NO wurde eine Wohnbaukonstruktion entwickelt, welche mit wenigen tragenden Innenwänden eine individuelle Raumgestaltung zulässt. Dabei ist die Errichtung des Gebäudes als ein- oder zweistöckiges Bauwerk als Einzel- oder Doppelhaus möglich. Der Flur resp. Treppenhaus dient dabei als aussteifender Kern und ist als Lichthof gestaltet. Zudem ist durch den Abschluss des oberen Geschosses durch eine Deckenkonstruktion aus Altbetonbauteilen eine Nutzung des Dachgeschosses problemlos realisierbar. Die Dachform richtet sich nach den Wünschen des Bauherrn. Die eingeschossige Variante mit 3 Räumen weist eine Nettogeschossfläche von 83 m² auf. Der Wiederverwendungsgrad bezogen auf die hergestellte Fläche beträgt 58 % bei einer Wiederverwendung von 6 Außenwänden, 6 Innenwänden und 10 Deckenplatten. Dadurch können die Rohbaukosten gegenüber einer konventionellen Bauweise um ca. 30 % reduziert werden.

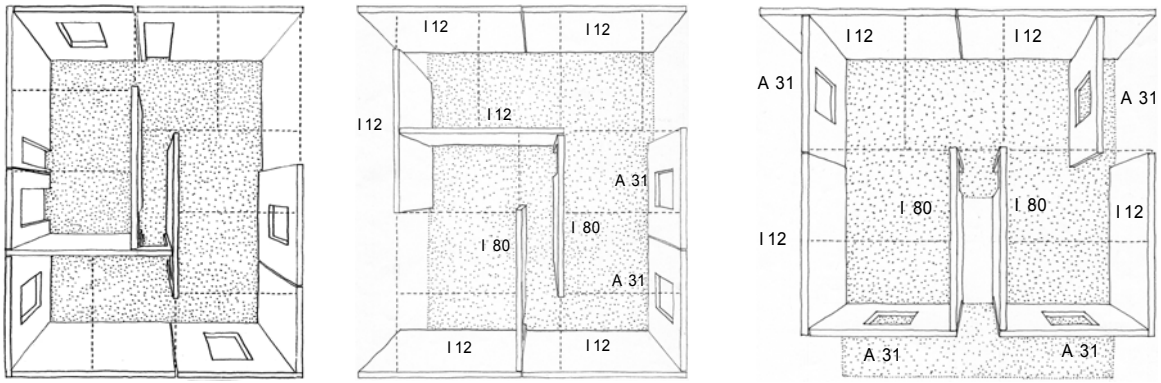


Abb. 83 : Grundrisse der Shell-Haus-Konstruktionen. eingeschossig (li.), zweigeschossig EG (mi.) OG (re.)

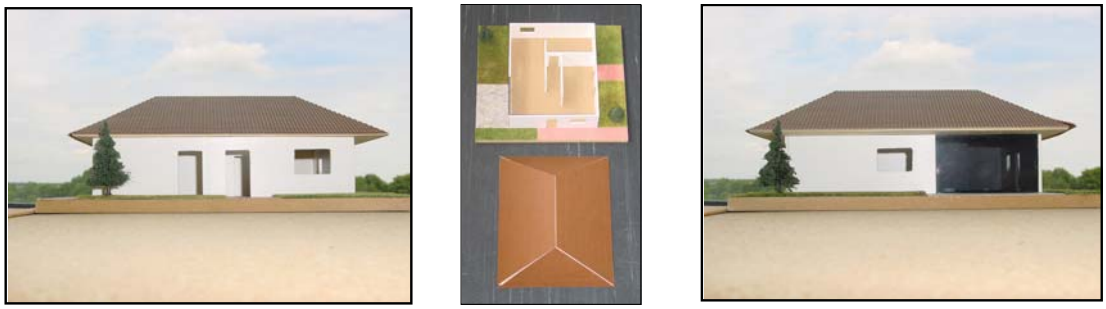


Abb. 84 : Modell der Shell-Haus-Konstruktionen. eingeschossig

Der Entwurf mündete in einem Modell. Dieses wurde bei den Werkstattgesprächen an verschiedenen Standorten und auf Ausstellungen präsentiert.

[173] Mettke, A. (Hrsg.): Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendungen, Anwenderkatalog II, BTU Cottbus, 2003, S. 62f..

6.1.5.3 Doppelhaus[174]

Das Doppelhaus (Abb. 86) wurde als zweigeschossiges Gebäude mit Garage und jeweils 3 Räumen auf der Basis des Bauelementesortimentes der PN 36-NO entwickelt. Wiederum soll dem Bauherrn durch den Einsatz weniger tragender Innenwände genug Freiraum zur Innenggestaltung eingeräumt werden. Bei einer Nettogeschossflächen von zwei mal 123 m² und einem Wiederverwendungsgrad von 68 % bezogen auf die hergestellte Fläche werden die Rohbaukosten gegenüber konventioneller Bauweise um ca. 50 % reduziert. Wiederverwendet werden dabei 6 Außenwände, 14 Innenwände und 16 Deckenplatten.

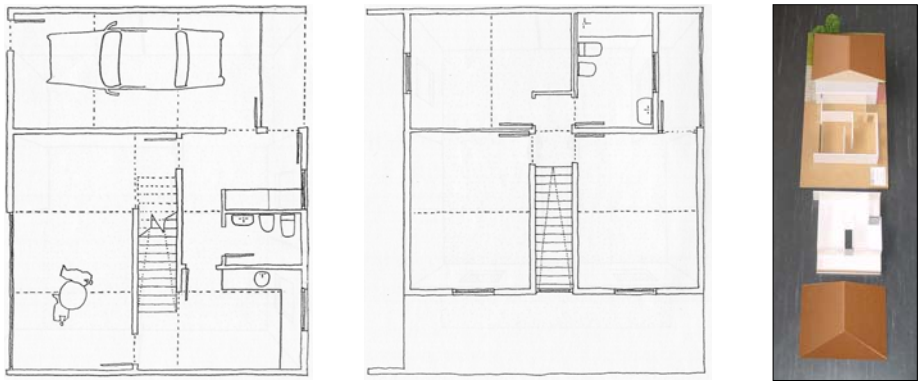


Abb. 85 : Grundrisse der Doppelhaus-Konstruktion

Abb. 86 : Modell der Doppelhaus-Konstruktion

6.1.5.4 Reihenhaus[175]

Der Entwurf der zweigeschossigen Reihenhausvariante (Abb. 87, 88) beruht ebenfalls auf Grundlage des Elementesortimentes der PN 36-NO. Bei einer Nettogeschossfläche von 118 m² wird ein Wiederverwendungsgrad bezogen auf die hergestellte Fläche von 56 % erreicht. Die Rohbaukostenersparnis durch den Einsatz von Alt-/RC-Betonbauteilen liegt bei ca. 50 % der Rohbaukosten mit konventioneller Bauweise. Eine Wohneinheit besteht hierbei aus 13 Innenwandbauteilen und 16 Deckenplatten.

[174] Mettke, A. (Hrsg.): Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendungen, Anwenderkatalog II, BTU Cottbus, 2003, S. 65.
[175] ebenda, S. 67ff.

Abb. 87 : Grundrisse der Reihenhaus-Konstruktion

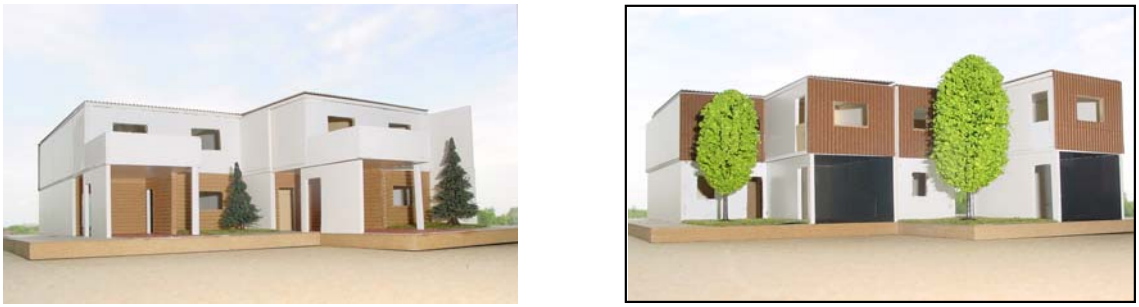


Abb. 88 : Modell der Reihenhaus-Konstruktion

6.2 Einsatz sekundärer Bauteile im Gesellschafts- und Mehrzweckbau

Neben dem Wohnsektor nimmt in letzter Zeit das Interesse für den Bau von Sportlerheimen, Vereinshäusern, Turnhallen, Bürobauten, Werkstattbauten, Garagen, Carports u.ä. zu. Einige der nachstehend aufgeführten Fallbeispiele befinden sich noch in der Umsetzung, andere sind über die Planungsphase noch nicht hinaus gekommen.

6.2.1 Vereinshaus Sportverein 1911 Gröditz e.V.

6.2.1.5 Nennenswertes

Sehr innovativ auf dem Gebiet des Rückbaus und der Wieder- und Weiterverwendung ist die Stadt Gröditz (Freistaat Sachsen). Der Stadtumbauprozess findet hier in einzelnen Teilprojekten statt, die das städtische Bild sukzessiv zukunftsweisend verändern. Dazu zählen der Rückbau nicht mehr benötigter Wohnungskapazitäten sowie die Aufwertung des öffentlichen Raumes und die Initiierung bürgerschaftlicher Projekte. Das vordringliche Anliegen besteht darin, die lokalen Ressourcen (Material- und Arbeitskraftressourcen) zu nutzen. Daher werden die im Rahmen des Rückbaus gewonnenen Betonfertigteile nachgenutzt. Die derzeit aktuellen Projekte sind der Neubau eines Vereinshauses für den Sportverein 1911 Gröditz e.V. und die Schaffung eines Freizeitparks (s. Abschn. 6.4.1). Die Fachgruppe Bauliches Recycling initiierte die Idee und begleitet die Teilprojekte wissenschaftlich.

6.2.1.6 Planung und Bauvorbereitung

Das vom Berliner Architekten Markus UHL[176] konzipierte Vereinshaus ist dadurch gekennzeichnet, dass es erstmalig Betonelemente aus verschiedenen Gebäuden (einer Schule und einem Plattenbau) unterschiedlicher Bauarten (Schule – Mischbauweise aus Wand- und Skelettbau, Wohngebäude – WBS 70) miteinander kombiniert und durch neue Baumaterialien ergänzt. Aus der Schule stammen 279 Betonelemente (überwiegend Deckenplatten, Außenwände, Sockelplatten, Treppen, Innenwandrahmen) und aus dem Plattenbau 159 Betonelemente (Deckenplatten, Innenwände, Außenwände). Das Besondere und Innovative an dem Konzept ist außerdem, dass die lange Front der Fassade gestalterisch auflockert wird, in dem Betonelemente überlappt aneinandergereiht werden. Das hat darüber hinaus den Vorteil, dass das Kriterium Maßhaltigkeit der Elemente vernachlässigt werden kann. Alle Elemente wurden von der Fachgruppe Bauliches Recycling hinsichtlich ihres Bauzustandes überprüft und gekennzeichnet.[177] Die Zwischenlagerfläche beläuft sich auf ca. 800 m² in unmittelbarer Nähe des Neubaustandortes.

Abb. 89 : Vereinshaus Sportverein 1911Gröditz e.V. - Modell

Die Hochrechnung der auf dem Zwischenlager befindlichen Elemente auf Neuteilpreise ergab Anfang 2007 einen Wert von rund 122.000 €. Damit können im vorliegenden Konzept die benötigten Massivbauteile zu 70 bis 95% substituiert werden, was zu erheblichen Kosteneinsparungen (bis zu 50%) führt. Die Ausführung der haustechnischen Gestaltung sowie der Ausbauarbeiten sind bewusst einfach gewählt, da diese Leistungen überwiegend in Eigenleistung der Vereinsmitglieder erfolgt. Das Vereinshaus wird bis Anfang 2008 errichtet. Am 20.09.2007 erfolgte mit dem feierlichen ersten Spatenstich der Beginn der Bauausführung.

[176] Dipl.-Ing. Architekt Markus Uhl, Freier Architekt, Berlin; weiterführende Informationen zum Vereinshaus: Uhl, M.: Bauen in und mit dem Bestand „Vereinshaus Fußballverein Gröditz – Metamorphose der Platte“, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, S. 161 – 166.
[177] Mettke, A.; Heyn, S.: Ergebnisse der Untersuchungen zu den zwischengelagerten Betonelementen für das Vereinshaus Gröditz 1911 e.V., BTU Cottbus, 2005.

Abb. 90 : Vereinshaus Gröditz zwischengelagerte Platten (li.), Betonieren der Frostschürze (re.)

6.2.2 Vereinshaus VFC Plauen e.V. [178]

Durch den VFC Plauen e.V. als Ausbildungszentrum des Deutschen Fußballverbandes werden derzeit auf dem Gelände des Vogtlandstadions ca. 180 vor allem Kinder- und Jugendliche betreut. Vorgesehen ist eine Erweiterung auf ca. 300 Jugendliche und Kinder. Dem ist das bestehende zum Teil mit funktionellen und bautechnischen Mängeln behaftete Sportplatzfunktionsgebäude nicht mehr gewachsen. Daher wird derzeit unter Verwendung von Alt-/RC-Betonbauteilen aus dem stadtumbaubedingten Rückbau in Plauen ein zukunftsorientierter Sanitär- und Umkleidebereich geschaffen. Dieser Bereich setzt sich aus mehreren (um einen überdachten Innenhof angeordneten) Segmenten zusammen (s. Abb. 91), welche jeweils eine abgeschlossene funktionsfähige Einheit bilden. Somit kann bei der abschnittsweisen Errichtung des Gebäudeensembles der Spiel- und Trainingsbetrieb aufrechterhalten werden.

Abb. 91 : Vereinshaus VFC Plauen e.V. - Planung

[178] Mundt, J.: Projektunterlagen: Vogtland-Stadion Plauen, Neugestaltung Umkleide-/Sanitärbereiche, bauplanung plauen GmbH, architektur- und Ingenieurbüro, Plauen, 2006.

Geschaffen werden sollen unter anderem 16 Umkleideräume, 1 Schulungsraum, ein Erste-Hilfe-Raum und verschiedene Lager-, Büro- und Sanitärräume. Für den Rohbau ist insgesamt die Verwendung von 145 Deckenplatten, 49 Außenwänden, 14 Innenwänden und 11 Kellerwänden vorgesehen. Diese entstammen zum großen Teil dem Gebäudetyp IW 73/6 aus rückgebauten Wohngebäuden in Plauen. Die Gesamtkosten der Baumaßnahme sind mit ca. 600.000 € veranschlagt. Die monetäre Wertschöpfung durch die Wiederverwendung der rückgebauten Bauteile schlägt sich in einer Kostenersparnis von ca. 110.000 € gegenüber dem Einsatz neuer Betonfertigteile nieder. Hierbei sind gegebenenfalls notwendige Bauteilaufarbeitungen und erforderliche Änderungen der Elementegeometrie noch nicht berücksichtigt. Im I. Quartal 2008 soll die Baumaßnahme abgeschlossen werden. Abb. 92 – 97 geben ausgewählte Prozesse und Bauzustände des Neubauvorhabens wieder.

Abb. 92 : Rückbau, Transport und Zwischenlagerung der sekundären Bauteile - Vereinshaus Plauen

Abb. 93 : Remontage der Wandelemente eines Segmentes - Vereinshaus Plauen

Abb. 94 : Zwischenbauzustände der Remontage eines Segmentes - Vereinshaus Plauen

Abb. 95 : Fassadengestaltung - Vereinshaus Plauen

Abb. 96 : Innenausbau - Vereinshaus Plauen

Abb. 97 : Fertiggestellte Segmente - Vereinshaus Plauen

6.2.3 Vereinshaus Kolkwitzer Sportverein 1896 e.V.

Aufgrund der maroden Bausubstanz des derzeit genutzten Sportlerheims des Kolkwitzer Sportvereins 1896 e.V. wurde der Neubau eines Vereinshauses unter Verwendung gebrauchter Betonelemente geplant. In die Planung des Vorhabens wurde die FG Bauliches Recycling als Initiator von Beginn an eng eingebunden.[179] Der Neubau soll in Nachbarschaft des bestehenden Gebäudes erfolgen, um den laufenden Spiel- und Trainingsbetrieb nicht zu gefährden. Die geplante eingeschossige Ausführung mit einer Nutzfläche von 460 m² beinhaltet:

- Umkleiden für 4 Mannschaften mit ca. 60 m²,
- Toiletten und Duschen mit ca. 55 m²,
- Gaststätte mit ca. 105 m² (Annahme: 100 Personen),
- Vereinsraum mit ca. 35m² (Annahme: 35 Personen),

[179] Strothotte, J.: Vereinshaus Kolkwitzer Sportverein – Entwurf für ein Vereinshaus mit remontierten Plattenbauelementen, Studienarbeit, FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, Febr. 2006.

- Billardraum mit ca. 40 m² (Annahme: 20 Personen),
- Küche mit ca. 25 m²,
- Lagerraum mit ca. 10 m² (s. Abb. 98, 99).

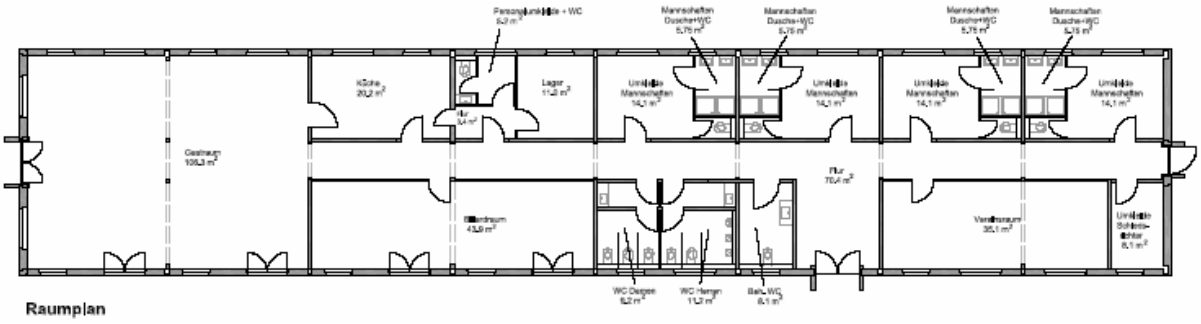


Abb. 98 : Raumplanung - Vereinshaus Kolkwitz

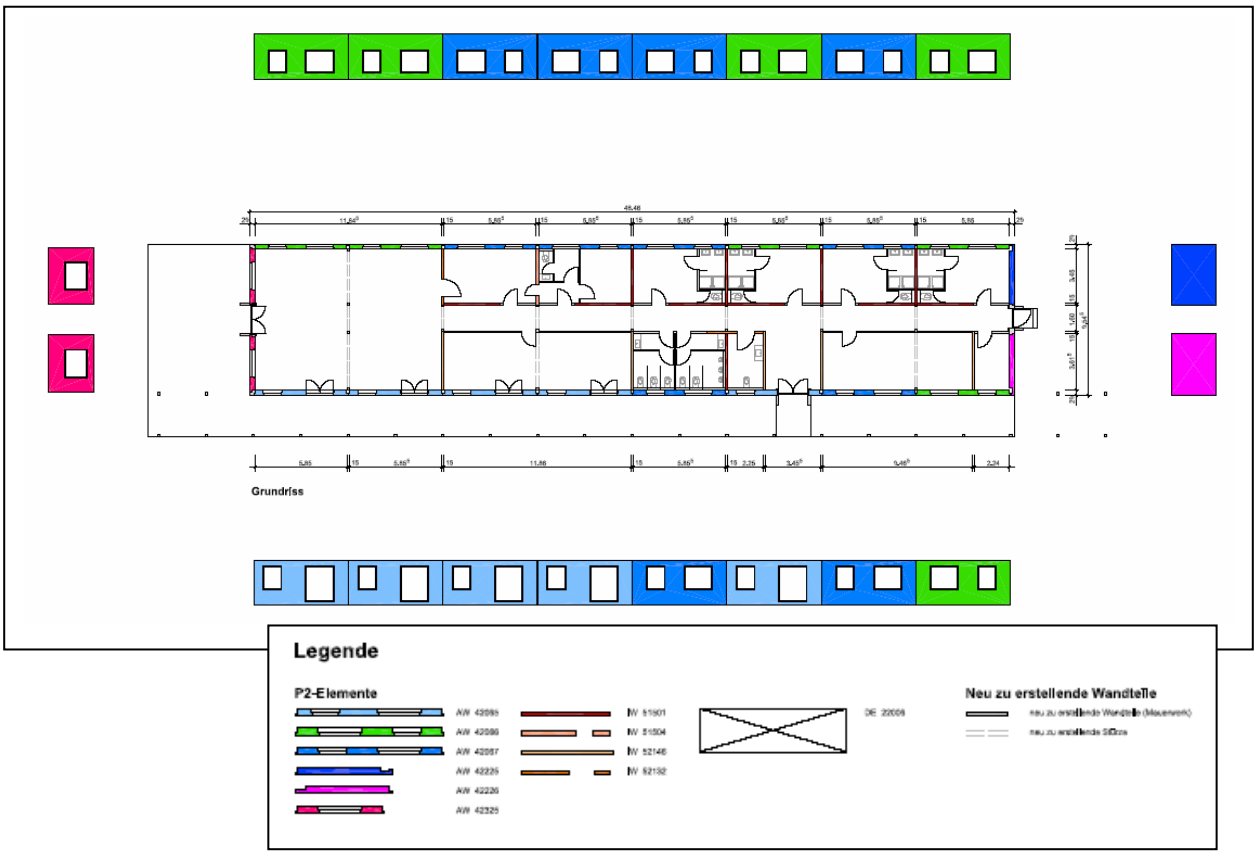


Abb. 99 : Geplante Wiederverwendung von Betonfertigteilen - Vereinshaus Kolkwitz

Im Sommer 2007 wurden die laut Planungsunterlagen erforderlichen Altbetonbauteile aus dem Rückbau eines 8- und eines 11-geschossigen Wohngebäudes der Typenserie P2 in Cottbus gewonnen und diese auf einem Bauhof in Kolkwitz zwischengelagert. Die Prüfung und Kennzeichnung der Elemente erfolgte durch die FG Bauliches Recycling.

Abb. 100 : Altes Vereinsgebäude (li.), Spendergebäude (mi.), Zwischenlager (re.) - Vereinshaus Kolkwitz

Unter Mitwirkung der FG Bauliches Recycling laufen gegenwärtig immer noch Gespräche hinsichtlich der Finanzierung, wenn gleich auch für diese Wiederverwendungsvariante ein Kostenvorteil ermittelt wurde. Inwieweit diese Maßnahme in 2008 umgesetzt werden kann, bleibt offen. Wie auch bei den vorangestellten Vereinshäusern soll der Ausbau in Eigenleistung erfolgen.

Im Rahmen der Untersuchungen des Einsatzes sekundärer Bauteile für Gesellschaftsbauten wurden durch die FG Bauliches Recycling Entwürfe für ein Bürogebäude, ein Gästehaus mit Café auf dem Campus der BTU Cottbus, für ein Servicegebäude auf einem Campingplatz (Camping hall), für Pavillons, Raststätten, ein Bürgerhaus und ein Schützenhaus entwickelt.

6.2.4 Bürogebäude

Der Entwurf eines eingeschossigen, nicht unterkellerten Bürogebäudes mit Flachdach in Boxberg[180] unter Verwendung gebrauchter Betonelemente basiert auf der Verwendung von Plattenbauelementen des Gebäudetyps P2 und erfolgte im Auftrag eines potenziellen Bauherren. Es wurden dabei verbaute Elemente aus den beiden oberen Geschossen eines Standardgebäudes für die Wiederverwendung herangezogen. Das Gebäude umfasst eine Nutzfläche von ca. 63 m². Eingesetzt werden sollen 10 Außenwandelemente, 8 Innenwandplatten und 12 Deckenplatten. Zur Erzielung der Rohbauraumhöhe von 3,05 m und einem Fußbodenaufbau von 15 cm müssen die Wandelemente durch Sockel aus Ortbeton mit einer Höhe von 41,5 cm erhöht werden. Die Außenwandbekleidung wird als 2-lagiger Zementaußenputz vorgesehen, die Innenwandbekleidung als 2-lagiger Innenputz. Neu zu erstellende Außenwandteile sollen aus Poroton-Mauerwerk erfolgen. Die nicht tragenden Innenwandteile sollen in Gipskarton-Leichtbauweise hergestellt werden. Verwendet werden sollen die vorhandenen Verbindungsstähle der Bauteile mit Zulagestählen.

[180] Mettke, A.; Asmus, S.: Entwurfsplanung – Bau eines Bürogebäudes unter Verwendung gebrauchter P2-Betonfertigteile im Boxberg, BTU Cottbus, Jan. 2006.

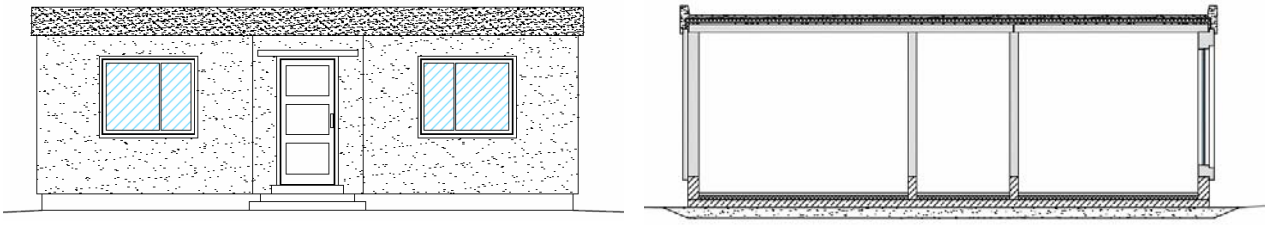


Abb. 101 : Entwurf eines Bürogebäudes Ansicht (li.) Schnitt (re.)

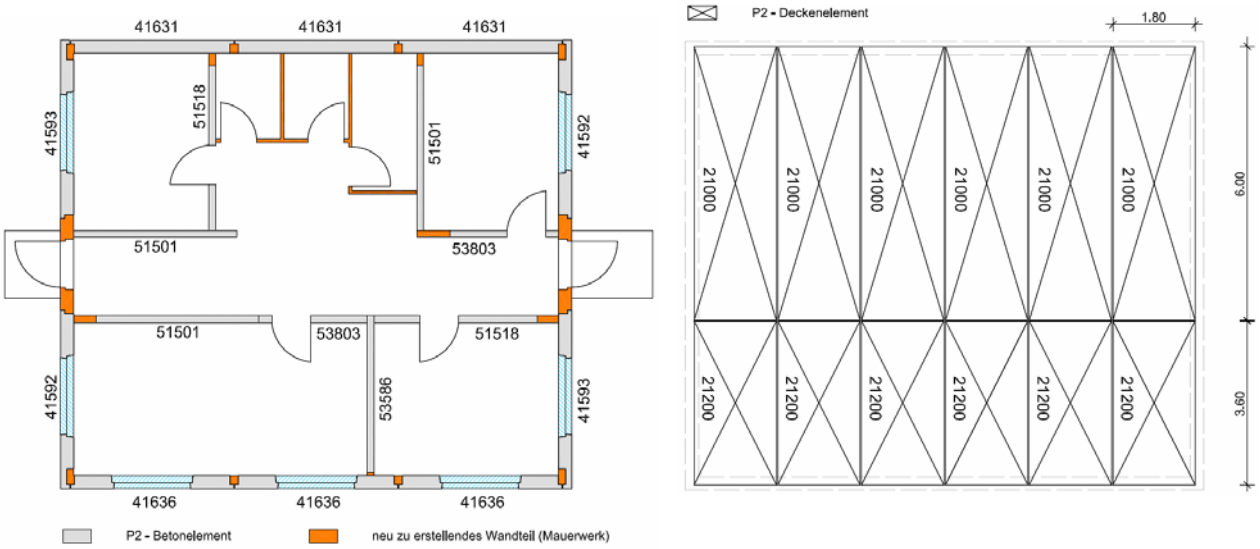


Abb. 102 : Entwurf eines Bürogebäudes Grundriss (li.) Deckenverlegeplan (re.)

Aufgrund personeller Veränderungen seitens des potenziellen Bauherrn sind wurde das Vorhaben noch nicht über das Entwurfsstadium hinaus weiterentwickelt.

6.2.5 Gästehaus mit Café[181]

In Zusammenarbeit mit der Fakultät 2, Architektur, Bauingenieurwesen und Stadtplanung der BTU Cottbus wurde ein Wettbewerb zur Errichtung eines Gästehauses mit Café auf dem Campus der Universität in Cottbus unter Verwendung gebrauchter Betonelemente durchgeführt. Im Rahmen dieses Wettbewerbes wurden verschiedene Entwürfe entwickelt und präsentiert. Vorgegeben wurde neben dem Elementesortiment der Typenserie P2 ein Raumprogramm mit einer gesamten Netto-Nutzfläche von ca. 848 m², wobei folgende Teilnutzflächen zu beachten waren:

- Café 180 m²
- Verwaltungsraum 18 m²
- Veranstaltungsraum 90 m²
- Gästewohnungen
  - 8 x 1 Zimmer 200 m²
  - 2 x 4 Zimmer 180 m²

[181] Mettke, A. (Hrsg.): Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendungen, Anwenderkatalog II, BTU Cottbus, 2003, S. 92.

- 4 x 2 Zimmer 180 m²

Nachfolgend sind die ersten beiden Preisträger aufgeführt:

1. Preis:

Idee:

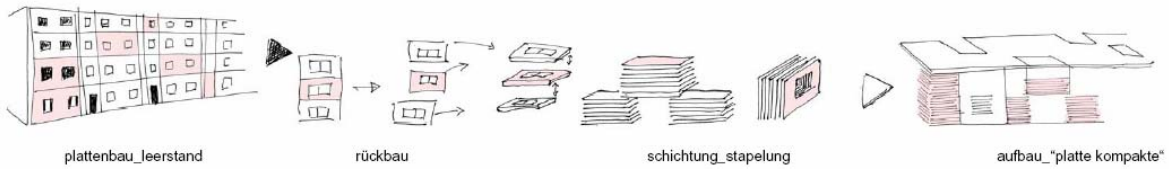


Abb. 103 : Entwurfsidee zum Gästehaus mit Café von Prof. Jo Ackermann, Ayse Hicsasmaz, Heinrich Weid[182]

„Dabei formen sich Negativräume, wie positive Raumkörper die in ihrem Charakter die Eigenheiten der Module übernehmen. Es gibt somit teilweise eine plattenbedingte Unterschiedlichkeit in der Horizontalschichtung. Die Körper schieben sich ineinander, und erzeugen im Durchblick eine Verdichtung. Durch das Stapeln und Schichten der Platten entsteht eine Rhythmik, die sowohl offene große Räume, wie enge Schluchten zulässt. Würde man die geschichteten, wie die offenen Räume musikalisch verstehen, entstände eine Komposition mit hellen und dunklen Klängen....[183]“ „Es ist sicherlich keine im herkömmlichen Sinne „sparsame“ Arbeit. Sie geht mit den Ressourcen, die wir hier in der Lausitz reichlich haben – der Platte und dem Raum – verschwenderisch um.“[184]

Abb. 104 : Modellfoto zum Entwurf Gästehaus mit Café von Prof. Jo Ackermann, Ayse Hicsasmaz, Heinrich Weid[185]

- Bruttogeschossfläche: 1.600 m²
- Nettogrundfläche: 700 m²
- Bruttorauminhalt : 7.700 m³

[182] Baller, Inken; Bader [Hrsg.]: Das Gästehaus, BTU Cottbus, 2003, S. 13.
[183] ebenda, S. 13, Auszug.
[184] ebenda, S. 94, aus dem Protokoll des Preisgerichts.
[185] ebenda.

2. Preis

Abb. 105 : Modellfoto zum Entwurf Gästehaus mit Café von Minka Kersten, Andreas Kopp [186]

- Bruttogeschossfläche: 1.300 m²
- Nettogrundfläche: 930 m²
- Bruttorauminhalt: 4.284 m³

„Das Ensemble der drei Gebäude schafft innerhalb des Campus einen für Fußgänger erlebbaren, intimen Maßstab, trotzdem die drei Häuser stadträumlich als eine Einheit gelesen werden können. Die Aufteilung des Programms auf drei Baukörper schafft zum einen eine größere Privatheit in den individuellen Wohnungen (keine Überschneidung mit der öffentlichen Nutzung) zum anderen werden konstruktiv die für die kleinen Wohnzellen verwendeten Elemente nicht mit den für den Saal und das Café verwendeten großen Spannweiten gemischt [...]. Die Gebäude sind räumlich sehr gut organisiert, die verwendeten Platten sind sinnvoll eingesetzt. Die Wohnhäuser entstehen als Prototyp der wiederverwendeten P2-Plattenelemente und können vielerorts errichtet werden.“[187]

6.2.6 Pavillon[188]

Als ein Grundbaustein zur Weiterentwicklung und –gestaltung für verschiedene Anwendungen im Gesellschafts- als auch Mehrzweckbau wurde durch die FG Bauliches Recycling ein Pavillon entworfen. Dieser kann durch die ermöglichte große Gestaltungsvielfalt als Ladengeschäft, Rastplatzgebäude, Versorgungs- und Servicegebäude beispielsweise von Camping- und Sportplätzen oder als Umkleide- und Sanitärbereich, aber auch als Carport oder Garage genutzt werden. Die Bruttogeschossfläche der zentralen Baueinheit umfasst 116 m². Die Aussteifung des Bauwerks ist durch eine Stahlkonstruktion gegeben. Die Dachkonstruktion kann frei gestaltet werden. Möglich sind dabei beispielsweise Flachdächer mit Begrünung (s. Abb. 106) oder begehbare Holzdachkonstruktionen. Konzipiert wurde der Pavillon auf Basis der Bauweise PN 36-NO unter Verwendung gebrauchter Deckenplatten und Innenwände.

[186] Baller/Bader [Hrsg.]: Das Gästehaus, BTU Cottbus, 2003, S. 13.
[187] ebenda, S. 24, 100.
[188] Mettke, A. (Hrsg.): Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendungen, Anwenderkatalog II, BTU Cottbus, 2003, S. 93f..

Abb. 106 : Modellfoto einer Baueinheit als Pavillon (li.); Explosionsperspektive (re.)

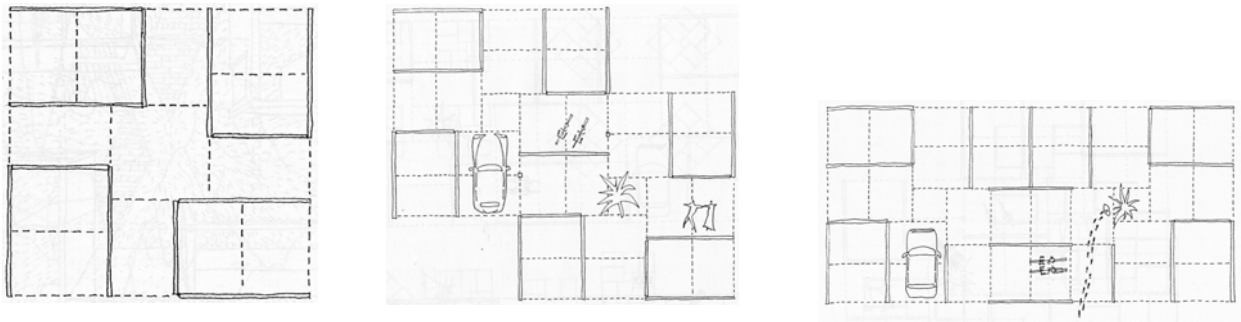


Abb. 107 : Grundriss einer Baueinheit und mögliche Anordnungen mehrerer Baueinheiten

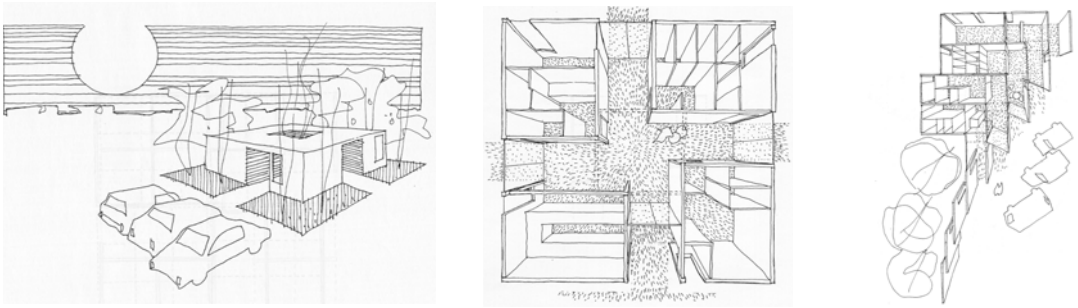


Abb. 108 : Entwurf einer Raststätte aus einer Baueinheit als quadratische Variante, mehreren Baueinheiten als Längsvariante

6.2.7 Bürgerhaus[189]

Der eingeschossige Gebäudekomplex weist eine Bruttogeschossfläche von ca. 650 m² auf. Im Mittelpunkt dieses befindet sich die Halle, welche von 2 Kuppeln überspannt wird und Platz für verschiedene Veranstaltungen bietet. Die Nebenräume können als Lager-, Sanitär- und Küchenräume sowie als Nischen für den Aufbau von Ständen genutzt werden. Konzipiert wurde das Bürgerhaus auf Basis des Elementesortimentes der PN 36-NO.

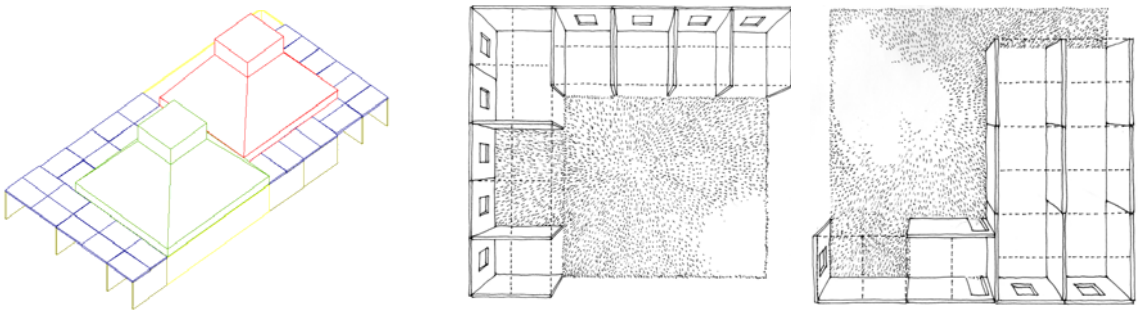


Abb. 109 : Entwurf eines Bürgerhauses; konzeptionelle Darstellung und Grundrisse

6.2.8 Carports

Weitere am Markt nachgefragte und auch schon realisierte Nachnutzungen für demontierte Betonfertigteile sind Carportanlagen. So wurde beispielsweise in Waltershausen (Freistaat Thüringen) eine Anlage mit 16 PKW-Stellplätzen errichtet (s. Abb. 110). Die Anlage ist balkonseitig einem, um zwei Etagen rückgebauten und sanierten Wohngebäude der WBR Erfurt vorgelagert. Für die im 6 m-Raster errichteten Querwände und die in Längsrichtung aussteifenden Rückwände der Carportanlage wurden tragende Innenwände verwendet. Das Dach besteht aus 6 m langen Spannbetondecken mit einer extensiven Begrünung.[190]

Die Untersuchungsergebnisse zum Bauzustand der Altbetonelemente durch die FG Bauliches Recycling flossen in die Ergebnisdarstellung Abschn. 2.3 ein.

[189] Mettke, A. (Hrsg.): Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendungen, Anwenderkatalog II, BTU Cottbus, 2003, S. 96f..
[190] weitere Angaben s. Sprinz, N.: Rückbau, Sanierung, Modernisierung und Wiederverwendung an einem praktischen Beispiel am Standort Walttershausen, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design, teil 2, Hrsg. Angelika Mettke, BTU Cottbus, 2008.

Abb. 110 : Carportanlage in Waltershausen

6.2.9 Garagen

Ein weiteres Beispiel für die Anwendung sekundärer Betonbauteile im Mehrzweckbau ist der Bau einer Garage in Weißwasser. Die Ausführung erfolgte in Eigenleistung eines privaten Bauherrn. Der Rohbau wurde an nur einem Wochenende realisiert. Dieses Beispiel zeigt, wie unkompliziert und schnell selbst Laien sich dieser nachhaltigen Lösung stellen.

Errichtet wurde der Rohbau im April 2007. Dabei benötigten 3 Arbeitskräfte plus Kranführer 12 Arbeitsstunden für die Remontage der Außenwandelemente und Deckenplatten. Wiederverwendet wurden 4 Deckenplatten zur Herstellung der Bodenplatte, 5 Außenwandbauteile sowie 4 Deckenplatten zur Herstellung der Deckenscheibe. Die gebrauchten Betonbauteile entstammen einem Rückbau eines 11-geschossigen P2 Wohngebäudes 2003 in Weißwasser. Die Ausführung des Vorhabens gilt als Versuchsbau für die Errichtung weiterer Garagen aus den noch zwischengelagerten Bauteilen desselben Spendergebäudes.

Abb. 111 : Rückbau, Transport und Zwischenlagerung der sekundären Bauteile – Garage in Weißwasser

Die Bauteile wurden an den vorhandenen Bauteilverbindungen über Zulagestähle verschweißt und die Fugen wurden vermörtelt. Die Ausführung der Wandremontage erfolgte im Nassverfahren. Der verwendete Mörtel wurde vor Ort mit einem Zement CEM II/B(S-LL) 32,5 R im Trommelmischer hergestellt. Ausgerichtet und gesichert wurden die Wandbauteile über Montagestreben, welche im Wandelemente über ein Durchstecksystem (Gewindebolzen, 16 mm Durchmesser) und in der Bodenplatte über Einschlaganker (M20) befestigt waren.

Abb. 112 Zwischenbauzustände der Remontage – Garage in Weißwasser

Abb. 113 : Ausführung der Auflager und Bauteilverbindungen der Wandelemente – Garage in Weißwasser

Abb. 114 : Abgeschlossene Remontage – Garage in Weißwasser

Im weiteren Bauverlauf wird die Garage mit einem Satteldach, einem Rolltor und einer entsprechenden Zufahrt versehen werden.

6.2.10 Swimmingpool[191]

Auf Anfrage eines Bürgers aus Rüsselsheim, Bundesland Hessen, wurde der Einsatz von Altbetonelementen zum Bau eines Swimmingpools von der FG Bauliches Recycling geprüft. Als geeignet schienen Deckenplatten, um die Größe des Pools von ca. 10 x 5 x 1,50 m bei einer Wassertiefe von 1,30 m realisieren zu können.

Anhand des Deckenplattensortimentes aus dem Gebäudetyp P2 erweisen sich die Elemente 21200 bzw. 21300 als geeignet. Es handelt sich hierbei um Deckenplatten mit schlaffer Bewehrung mit den Abmaßen 3.570 mm bzw. 2.370 mm x 1.785 mm x 140 mm. Die Anordnung der Fertigteilelemente ist aus den Abb. 115 und 116 ersichtlich.

[191] Mettke, A.; Jahn, U.; Asmus, S.: Konzeption zur Herstellung eines Swimmingpools aus gebrauchten Betonplatten der P2-Gebäudeserie, BTU Cottbus, 2004.

Erläuterungen zur Technologie

Die verwendeten Elemente werden durch einen umlaufenden Ringbalken auf Geländehöhe und ergänzende monolithische Streifen der Bodenplatte komplettiert. Der Fugenbeton der konischen Fugen (Innenseite Wände) wird durch Rundstahlwinkel gehalten.

Die als Beckenwand stehenden Deckenplatten sind so zu setzen, dass die ehemalige Deckenunterseite erdseitig positioniert wird, damit die tragende Deckenbewehrung den Erddruck aufnimmt. Die Betondeckung der verwendeten Deckenplatten ist nicht ausreichend für den Einsatzzweck als erdberührtes Becken. Die Korrosionssicherung der Bewehrung ist durch Anstriche und Folien zu gewährleisten:

- Erdseite stehende Elemente: Bitumenanstrich
- Innenseite unterhalb Beckensohle (erdberührt): Bitumenanstrich
- Innenseite Becken (Wasser): Folienauskleidung
- Oberfläche Bodenplatte: Folienauskleidung
- Unterseite Bodenplatte (Elemente): Folie gegen aufsteigende Feuchtigkeit.

Für die Längswände werden je 6 Elemente, für die Stirnwände je 3 Elemente und für die Beckensohle 5 Deckenplatten benötigt. Ein Fahrzeugkran ist für die Montagearbeiten erforderlich. Nach erfolgtem Baugrubenaushub müssen zuerst die Sohlplatten auf ein vorbereitetes gut verdichtetes Kiesbett verlegt werden. Für die Wände werden die Deckenplatten hochkant in die Baugrube gestellt, ebenfalls auf ein Kiesbett. Abzustützen und auszurichten sind die Elemente mittels Montagestützen. Den oberen Abschluss bildet ein Ringanker aus Stahlbeton, welcher die Wände des Pools aussteift. Die Fugen zwischen den Elementen sind zu vermörteln. Alle erdberührten Betonflächen sind mittels Bitumenanstrich und bituminierten Drainplatten gegen eindringende Feuchtigkeit zu isolieren. Die Bohrlöcher in den Sohlplatten sind mit Epoxydharz zu verpressen. Die Zwischenräume zwischen Sohl- und Wandplatten sind mit Ortbeton zu verfüllen und auf die gesamte Beckensohle ist eine Ausgleichsschicht aus Beton aufzubringen. Für den Ein- und Ausstieg wurde eine Leiter aus Edelstahl vorgesehen, welche im Ringanker befestigt wird.

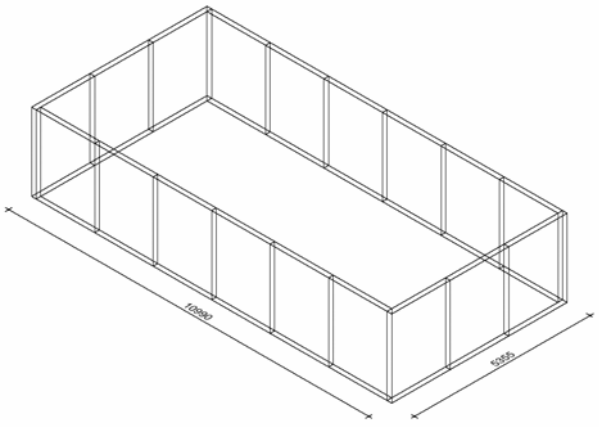


Abb. 115 : Isometrische Darstellung und Verlegeplan der Sohl- und Wandelemente

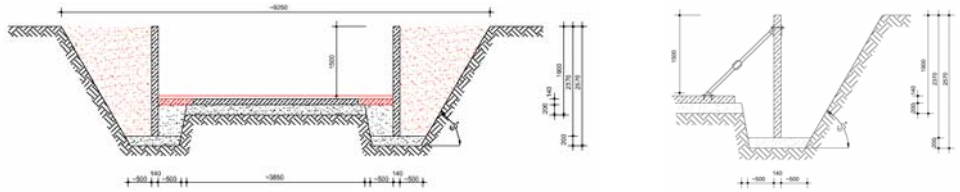


Abb. 116 : Draufsicht Swimmingpool und Schnitt durch die Baugrube

Unserer Kostenabschätzung zu Folge würden sich die Kosten für die Errichtung des Swimmingpools auf rd. 20.000 € belaufen. Aufgrund nachbarschaftlicher Hilfestellung eines ortsansässigen Bauunternehmens wurde der Swimmingpool dann doch in traditioneller Bauweise gebaut. Insofern bleibt zu prüfen, ob dieses Anwendungsfeld als praxistauglich eingestuft werden kann.

Darüber hinaus wurden weitere Ideen und Vorentwürfe von der FG Bauliches Recycling entsprechend der Anfragen zu Garagen- und Carportanlagen, Fahrradüberdachungen und zum Bau von Bunkern für die Lagerung gefährlicher, explosiver Stoffe und Materialien entwickelt[192].

6.3 Einsatz sekundärer Betonelemente zur Freiraum- und Wohnumfeldgestaltung

Neben der Wiederverwendung der Bauelemente im Wohn- und Nichtwohnbereich bieten sich auch im Bereich der Freiraum- und Wohnumfeldgestaltung vielfältigste Möglichkeiten für weitere Verwendungen an.

6.3.1 Freizeitpark Gröditz

Der Freizeitpark[193] ist Bestandteil des Teilprojektes Neuschaffung und Aufwertung des öffentlichen Raumes in Gröditz. Das ehemalige Schulareal mit einem ca. 16.000 m² großem Gelände wurde mit dem Ziel umgewidmet, einen Freiraum für alle Altersgruppen zu schaffen, der nicht nur mit den zurückgebauten Betonbauteilen „dekoriert“ wird, sondern auch vorsah, keine festen Nutzungsangebote vorzugeben. Die Landschaftsarchitektin Christiane SCHWARZ[194] verfolgte mit ihren Inspirationen einen klaren räumlichen und funktionalen Zusammenhang und kreierte einen phänomenalen Entwurf. Dabei wurden mehrere Leitlinien zugrunde gelegt. Eine davon betrifft die Weiterverwendung der gebrauchten Betonbauteile, die die Identität des Parks markieren. Dem Entwurf vorgeschaltet wurde ein Stegreif in interdisziplinärer Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl Landschaftsplanung und Flächengestaltung der BTU Cottbus. Die Ergebnisse sind dokumentiert[195]. Zudem wurde das Projekt mehrmals in Abendveranstaltungen seitens der FG Bauliches Recycling gemeinsam mit dem Planungsbüro in

[192] s. Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendungen, Anwenderkatalog II, Hrsg. A. Mettke, BTU Cottbus, 2003.
[193] weiterführende Informationen: Schwarz, C.: Freizeitpark Gröditz – Freiraumgestaltung mit recyclierten Plattenbauteilen, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, 2005, S. 167 – 172 sowie Schwarz, C.: Freiflächengestaltung mit Altbetonelementen – Freizeitpark Gröditz, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design –Teil 2“, 2007.
[194] Schwarz & Partner, Landschaftsarchitekten, Berlin
[195] Mettke, A.; Müller, I.; Daldrop-Weidmann, M.: Stegreif Jugendpark Gröditz, BTU Cottbus, 2003.

Gröditz vorgestellt, wie z.B. vor dem Bauausschuss, vor Bürgern und Schülern in der Aula einer Schule etc., bevor die Entscheidung zur Realisierung getroffen wurde.

Im Sommer 2004 wurde in Gröditz die 1. Mittelschule vom Schultyp „Chemnitz“ zurückgebaut. Insgesamt wurden 1.630 Elemente demontiert und davon 316 Elemente für den Freizeitpark vor Ort zwischengelagert. Die Ergebnisse der Untersuchungen zum Bauzustand sind gesondert dokumentiert.[196]

Abb. 117 : Spendergebäude 1. Mittelschule „Sigmund Jähn“ (li.), Rückbau (mi.), Zwischenlager - Freizeitpark Gröditz

Insgesamt wurden Deckenplatten, Außenwände, Innenwände, Innenwandrahmen, Stützen und Sockelelemente in verschiedenen Ausführungen für die Gestaltung ausgewählt, wobei die Plattendicke und die Betongüte wesentliche Auswahlkriterien waren.

Um dem Freizeitpark ein einprägsames Image zu verleihen, wurden den konstruktiven Elementen charakteristische Namen zugeteilt wie Lange Wand, Lange Treppe, Lange Bank, Rasenterrassen, Sternschnuppen, Baumhaus, Grünes Haus, Flöße, Sonnentische, Tore und Tunnel und Baumberge.

Abb. 118 : Vorentwurf – Freizeitpark Gröditz[197]

[196] Mettke, A.; Heyn, S.: Ergebnisse der Untersuchungen zum Bauzustand der zwischengelagerten Elemente für den Freizeitpark, BTU Cottbus, 2005.
[197] Schwarz & Partner, Landschaftsarchitekten, Berlin.

Aus finanziellen Gründen ist die Erstellung des Freizeitparks in einzelne Bauabschnitte (BA 1 bis 3) untergliedert und realisiert worden. Der erste und zweite Bauabschnitt sind unter Nutzung von 102 Betonelementen für das Baumhaus, den Plattenberg, die Sandinseln mit Toren und Tunneln, der Langen Wand mit Langer Bank fertig gestellt (s. Abb. 119 – 121).

Abb. 119 : Vorbereitung der Bauteile (Sandstrahlen), Errichtung Lange, Wand, Baumhaus, Lange Treppe – Freizeitpark Gröditz

Es wurde besonderer Wert auf eine gute qualitative Ausführung der konstruierten Elemente gelegt. Deshalb sind die Altbetonelemente im Zuge der Realisierung aufgearbeitete bzw. instandgesetzt worden, um die Beschädigungen, resultierend aus der Demontage, zu beheben und die Oberfläche vor Witterungseinflüssen zu schützen (gemäß der aktuellen Fassung der Rili SIB; vgl. Abschn. 3). Die Betonelemente wurden sandgestrahlt, reprofiliert, hydrophobiert, imprägniert, farblich behandelt und bezeichnet. Durch das Aufsprühen der alten Bauteilnummern als „Label“ soll auf den Ursprung des gesamten Projektes verwiesen werden.

Abb. 120 : Fertiggestellte Gestaltungselemente des 1. BA: Plattenberg, Baumhaus, Tore, Lange Wand und Lange Bank – Freizeitpark Gröditz

Abb. 121 : Fertiggestellte Gestaltungselemente des 2. und 3. BA: Flöße, Sternschnuppen und Lange Treppe – Freizeitpark Gröditz

Anzumerken ist, dass die Rahmenelemente IR 5, die für den Bau des Tunnels vorgesehen waren - bis auf ein Bauteil, das exemplarisch instand gesetzt wurde - durch neue Bauteile substituiert wurden mussten. Nach dem Sandstrahlen wiesen die Betonteile Schäden größeren Ausmaßes (zum Teil korrodierte Bewehrung, Risse, Ausbruchstellen) auf, so dass die Sanierungskosten höher ausfielen - allerdings lag nur ein Angebot vor - als eine Neuproduktion. Dass eine Kostenersparnis durch die Weiterverwendung der gebrauchten Betonelemente erzielt wurde, wird aber nicht in Frage gestellt. Die Höhe der tatsächlichen Kosteneinsparung kann jedoch erst nach Fertigstellung des 3. Bauabschnittes ermittelt werden. Das wird voraussichtlich in 2008 der Fall sein.

6.3.2 Freitanzfläche Sportverein Wacker 09 e.V. Ströbitz

Auf Anregung und in enger Zusammenarbeit mit der FG Bauliches Recycling errichtete der Verein „Wacker 09“ Ströbitz im Sommer 2003 eine Freitanzfläche unter Verwendung von 5 Spannbetondeckenplatten und 5 Stahlbetondeckenplatten der Typenbauserie P2. Die Tanzfläche weist die Dimensionen von 10 x 10 m auf. Untersucht wurden zwei verschiedene Gründungsvarianten (Streifenfundament und vollflächige Auflagerung). Aus verschiedenen Gründen wurde die Tanzfläche vollflächig auf einer Recyclingschotterschicht gegründet. Die auf den Deckenplatten vorhandene Estrichschicht wurde erst im eingebauten Zustand abgetragen, Fugen und Aussparungen zwischen den Bauteilen wurden mit Vergussmörtel geschlossen. Zudem wurde die Oberfläche mit einer neuen Estrichschicht versehen.

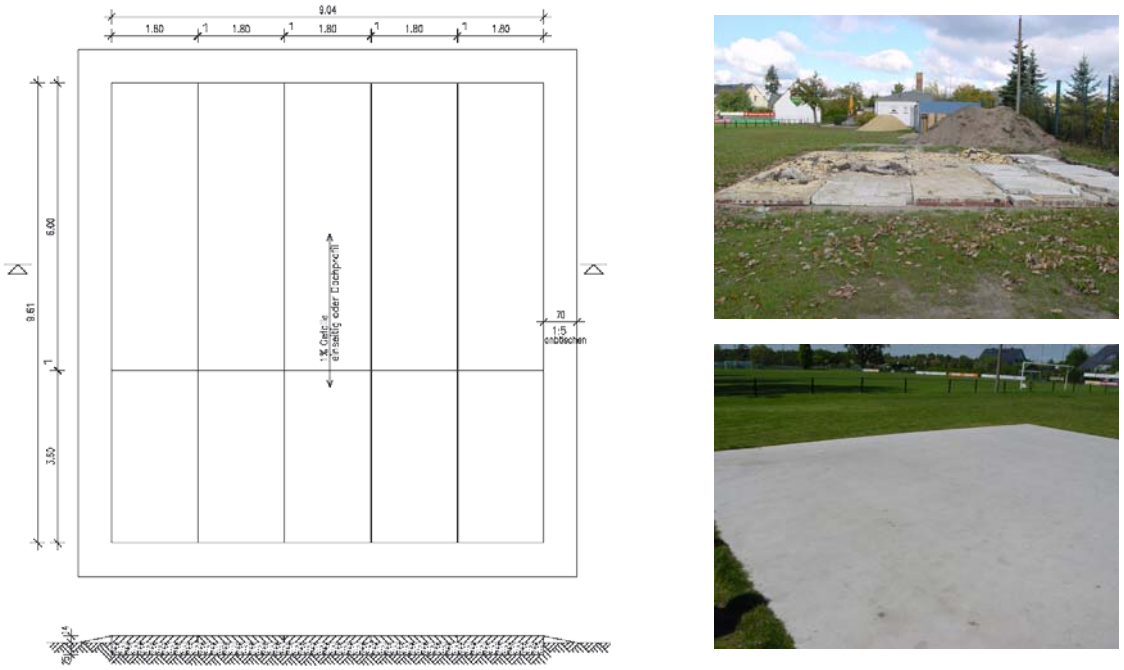


Abb. 122 : Freitanzfläche des Sportvereins „Wacker 09“ Ströbitz

6.3.3 Kletterfelsen und Boulderwände[198]

In mehreren Kommunen wurden aus gebrauchten Betonbauteilen künstliche Kletterfelsen und/oder Boulderwände geschaffen. Diese dienen zum einen dem Deutschen Alpenverein als Sportkletterfelsen oder zur Durchführung von Kletterkursen. Andererseits können sie als Wahrzeichen und Treffpunkt des Wohngebiets für eine bessere Identifikation der Bewohner mit diesem genutzt werden. Gleichzeitig unterstützen sie auch die Ausbildung von Feuerwerk und Technischem Hilfswerk.

Nach der Montage der Kletterfelsen und Boulderwände werden die Alt-/RC-Betonbauteile mit Spritzbetonschichten versehen (diese können auch farbig gestaltet werden). An der Bauwerksoberfläche werden Klettergriffe und Sicherungspunkte angebracht sowie das direkte Umfeld mit Fallschutzkies versehen.

Abb. 123 : Kletterfelsen in Leipzig-Grünau (li.) und Berlin (mi.), Boulderwand in Cottbus (re.)

Bundesweit sind mittlerweile eine Vielzahl von Kletterfelsen unter Verwendung von Altbetonbauteilen realisiert worden, u.a. auch in Tierparkanlagen.

6.3.4 Weitere Fallbeispiele

Weitere Umsetzungen des Wieder- und Weiterverwendungsgedanken von Altbetonbauteilen und Betonbruch aus Rückbau- und Abbruchvorhaben zur Gestaltung von Freiräumen und des Wohnumfeldes finden sich unter anderem in Leinefelde. Hier wurden sekundäre Betonbauteile zur Errichtung von Freizeitanlagen des Jugendzentrums und zur Anlage eines Japanischen Gartens eingesetzt. Verwendung fanden diese vor allem als Mauern, Treppen, Sitzgelegenheiten und Wegbefestigungen. Anzumerken ist, dass die Altbetonelemente nicht aufgearbeitet wurden.

[198] Beachtung Gebrauchsmusterschutz der Fa. BRAND-ROCK Felsenbau; www.builtarock.de.

Abb. 124 : Gestaltung der Außenanlage des Jugendzentrums Leinefelde

Abb. 125 : Gestaltung des Japanischen Gartens in Leinefelde

Abb. 126 : Wohnumfeldgestaltung in Dresden - Gorbitz

Auch für die Wohnumfeld- und Landschaftsgestaltung wurden durch die FG Bauliches Recycling Vorentwürfe für die Weiterverwendung demontierter Betonbauteile entwickelt. Beispiele dafür sind nachfolgend skizziert.

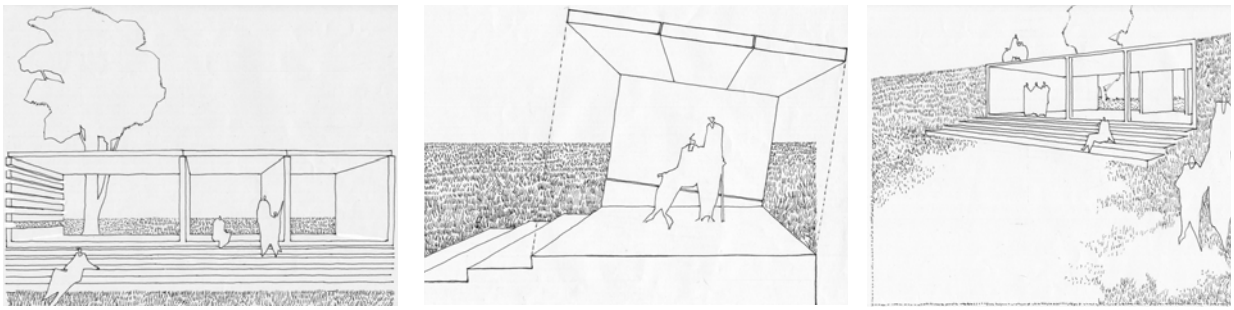


Abb. 127 : Freistehende Markise, Durchgang innerhalb einer Erdmauer (re.) [199]

[199] Mettke, A. (Hrsg.): Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendungen, Anwenderkatalog II, BTU Cottbus, 2003, S.95.

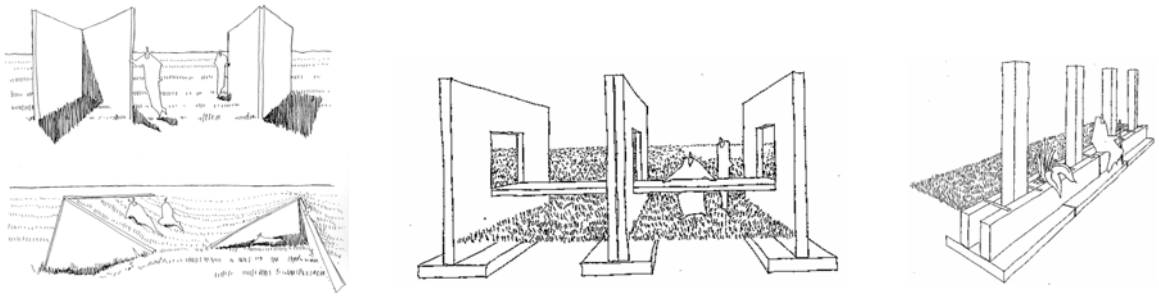


Abb. 128 : „Ecken in der Landschaft“ (li.), „Das Abendmahl“ (mi.), „Blumen“ (re.) [200]

In Dresden – Gorbitz wurden zwar nur Bruchstücke aus Altbetonplatten zur Gestaltung des direkten Umfeldes der teilrückgebauten und sanierten Wohngebäude verwendet, aber auch dies ist eine interessante Anwendung ohne Shredderaufwand. Sie eignen sich v.a. für die Befestigung von Sicker- und Regenwassergräben sowie für die Einfassung von Grünflächen und Rabatten.

6.4 Einsatz sekundärer Bauteile im Landwirtschaftsbau und im Rahmen von Umweltschutzmaßnahmen

6.4.1 Einsatz bei Umweltschutzmaßnahmen

6.4.1.7 Einsatz im Deichbau

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Vorhabens „Pro Altbeton zum Hochwasserschutz“(FKZ: 19W4004A) wird von der Fachgruppe Bauliches Recycling am Lehrstuhl Altlasten der BTU Cottbus derzeit die Möglichkeit des Einsatzes von Altbetonelementen im Deichbau untersucht. Die vorangegangenen Hochwasserereignisse sowie die infolge des Klimawandels zukünftig häufiger zu erwartenden Hochwasser weisen auf den dringenden Handlungsbedarf in diesem Sektor hin.

[200] Mettke, A. (Hrsg.): Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendungen, Anwenderkatalog II, BTU Cottbus, 2003, S.114.

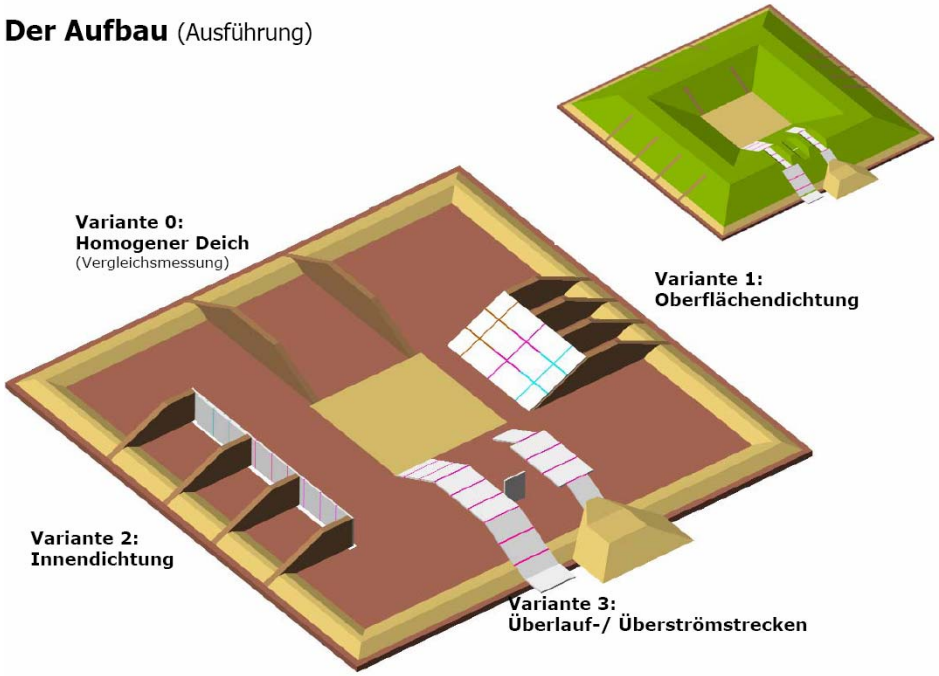


Abb. 129 : Aufbau des Großversuchs der FG Bauliches Recycling zum Einsatz gebrauchter Betonbauteile im Deichbau

Der Prototyp befindet sich zur Zeit zwar noch in der Testphase, aber die rechnerischen Nachweise belegen eine verminderte Durchsickerung und damit eine Standfestigkeitserhöhung, was zu einer wesentlich höheren Dauerhaftigkeit der Deichbauwerke führt. Entwickelt wurden hierfür Varianten des Altbetonbauteileinsatzes als Innen- und Oberflächendichtung sowie in Überlaufstrecken. (s. Abb. 130) Als Hauptproblem stellte sich die Fugenabdichtung zwischen den Bauteilen heraus. Daher werden unterschiedliche Dichtungssysteme im Großversuch (s. Abb. 129) untersucht.

Abb. 130 : Einsatz gebrauchter Betonbauteile im Deichbau als Innendichtung (li.), Oberflächendichtung (mi.) und Überlaufstrecken (re., im Hintergrund)

Erste Ergebnisse der Untersuchungen am Versuchskörper werden im Frühjahr 2008 erwartet und im Herbst 2008 im Rahmen des Projektabschlusses veröffentlicht.

Weitere Einsatzmöglichkeiten gebrauchter Betonbauteile im Wasser- und Grundbau sind durchaus denkbar. Bis zu einer praktischen Umsetzung müssen dazu jedoch noch umfangreiche Untersuchungen hinsichtlich der Eignung der Altbetonbauteile bezüglich der spezifischen Nutzungsanforderungen

und die Ausführung dieser Bauwerke erfolgen. Eine Idee dazu soll beispielgebend nachfolgend angeführt werden.

6.4.1.8 Regenwasserauffangbecken[201]

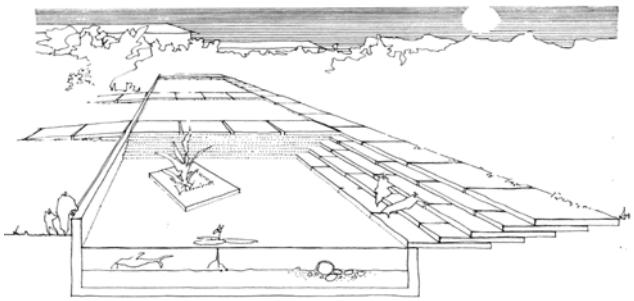


Abb. 131 : Regenwasserauffangbecken

Im Beispiel der Nutzung gebrauchter Betonbauteile im Wasser- und Umweltbereich werden die Keller der abgetragenen Bauten weitergenutzt und zu einem Wasserbecken umgebaut. Die aus demselben Gebäude durch Rückbau gewonnenen Betonplatten können so angelegt werden, dass sie Treppen zum Wasserbecken bilden und/oder durch Übereinanderstapeln das Becken teilen

Neben den positiven Eigenschaften für das Kleinklima hat das skizzierte Wasserbecken auch ästhetische Qualitäten. Wasser ist ein Anziehungspunkt für die Menschen. Aus dem Blickwinkel des Städtebaus betrachtet, bietet sich so eine kostengünstige Möglichkeit, das Umfeld der Plattenbausiedlung aufzuwerten und gleichzeitig auf die alten Strukturen hinzuweisen.

6.4.2 Einsatz im Landwirtschaftsbau

Ein breites Spektrum an Einsatzmöglichkeiten gebrauchter Betonelemente bildet auch der Landwirtschaftsbau. Neben Platz- und Wegebefestigungen finden sich Einsatzmöglichkeiten sekundärer Bauteile (Deckenplatten) im Bau von Grabenüberquerungen für die Überfahrt von Landwirtschaftsmaschinen oder den Viehtrieb (Abb. 132). Auch die Errichtung von Wildbrücken unter Verwendung von Altbetonbauteilen ist denkbar, bedarf aber noch näherer Untersuchungen.

Auch können alte Betonplatten für die Böschungsbefestigung an und in Meliorationsgräben und Wasser zu- und Abführungen genutzt werden.

[201] Mettke, A. (Hrsg.): Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendungen, Anwenderkatalog II, BTU Cottbus, 2003, S. 113.

Abb. 132 : Grabenüberquerung aus ostdeutschen Altbetondeckenplatten in den Niederlanden (li.), Böschungsbefestigung am Zu- und Ablauf des Versuchsdeichkörpers der FG Bauliches Recycling (vgl. Abschn. 6.4.1)

Aus Altbetonelementen können auch Stellwände für die Errichtung von Silo- und Lageranlagen errichtet werden (Abb. 133). Auch ist ein Einsatz von sekundären Bauteilen zur Trennung der Fraktionen der benötigten Gesteinskörnungen an Betonmischanlagen möglich. Das in Abb. 134 gezeigte Altbetonsortiment (Winkelelemente, Blocksteine) kann durch Altbetonelemente substituiert werden. Mit diesen Fotos soll auf den praktischen Anwendungsfall aufmerksam gemacht werden.

Abb. 133 : Siloanlagen aus sekundären Betonelementen in den Niederlanden

Abb. 134 : Altbetonbauteile als Trennwände zur Lagerhaltung verschiedener Schüttgutfraktionen in den Niederlanden

Hervorzuheben ist hier das Handelsunternehmen Dam in den Niederlanden (www.dam-beton.nl), das als Bauteilbörse auch für großformatige Betonteile fungiert und sich am Markt bewährt hat.

6.5 Fazit - Praxisbeispiele

Zu konstatieren ist, dass seit 1999 Projekte zur Wieder- und Weiterverwendung in Ostdeutschland (s. Abschn. 4.3.1) erfolgreich umgesetzt wurden. Nicht zuletzt ist dies auf die aktive Mitwirkung und die Transparenz der Ergebnisse durch die FG Bauliches Recycling möglich geworden. Dies wiederum war nur durch die Förderung des Forschungsvorhabens durch das BMBF in Zusammenarbeit mit dem Projektträger Jülich realisierbar. Dabei zeigt sich gerade in letzter Zeit und gegenwärtig ein zunehmendes Interesse im Bereich des Mehrzweckbaus. Gegenwärtig befinden sich weitere Vorhaben in der Planungs- und Umsetzungsphase. Vor allem in diesem Bausektor wird der Durchbruch erwartet. International überzeugen nach wie vor v. a. die zahlreich gebauten attraktiven Wohnhäuser in Göteborg sowie die vielfältigen sekundären Einsatzbereiche für Altbetonplatten in den Niederlanden. Letztere mit der Besonderheit, dass die Altbetonplatten aus Ostdeutschland kommen.

Dennoch soll angeführt werden, welche Hemmnisse derzeit in der BRD für den Einsatz von gebrauchten Betonelementen bestehen. Wünschenswert ist, dass sich der Markt so entwickelt, wie es bspw. für historische Baustoffe der Fall ist.

Um den Gedanken der Wieder- und Weiterverwendung weiter am Markt zu platzieren, ist es erforderlich folgende Hemmnisse zu überwinden:

- das immer noch vorhandene Negativ-Image, das den Plattenbauten anhaftet,
- die Unkenntnis darüber, dass der Gestaltungsspielraum groß ist, so dass Projekte individuell geplant und gebaut werden können,
- die z.T. in Frage gestellten erzielbaren Preisvorteile bei (Wieder-)Neubaumaßnahmen gegenüber vergleichbaren traditionell errichteten Neubauten,
- die ohnehin seit Jahren generell anhaltende rückläufige Bautätigkeit auch im Wirtschaftsbereich,
- die fehlenden allgemein anerkannten Regeln der Technik für den Einsatz von gebrauchten Betonelementen,
- die Klärung der Haftungsfragen,
- die Unkenntnis über bereits existierende und funktionierende Informationsquellen und Datenbanken (z.B. Baustoff- und Bauteilbörse in Thüringen, Bauteilnetz Deutschland[202]),
- der fehlende ökonomische Anreiz (durch Instrumente wie bspw. zinsvergünstigte Kredite, Innovationsförderung), mit gebrauchten Betonelementen umwelt- und recyclinggerecht zu bauen.

Außerdem besteht (noch) keine Notwendigkeit, auf die nicht mehr benötigten Bestände resp. das Bauteillager zurückzugreifen, da noch in ausreichendem Maße Primärrohstoffe wie Kiese und Sande (trotz bereits regionaler Engpässe) verfügbar sind.

Die allzu oft angezweifelte Qualität der verbauten Betonelemente in seriell errichteten Gebäuden kann widerlegt werden, denn unsere umfassenden Untersuchungen zum physischen Bauzustand bescheinigen deren Gebrauchstauglichkeit. Auszubauen bzw. zu optimieren sind die Logistik sowie die Ange-

[202] vgl. Deininger, K.: Wiederverwendung gebrauchter Bauelemente – Bauteilbörse Thüringen – Projekte und Strategien, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, 2005, S. 179 – 180 sowie Dechantsreiter, U.: Bauteilnetz Deutschland, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Teil 2“, 2007.

botsbedingungen, denn eher im seltenen Fall sind Angebot und Nachfrage identisch. Darüber hinaus sind sekundäre Einsatzbereiche weiter zu entwickeln und Wiederverwendungsprojekte anhand von Pilotvorhaben zu erarbeiten unter Beachtung aktueller Bau- und Umweltstandards.

7 Ökonomische Bewertung

Da sich auch in Zukunft ein stetiges Entwicklungspotenzial auf dem Wohnungsbausektor abzeichnet, wird von einer beständigen Nachfrage nach preiswertem Wohnraum ausgegangen. Hierbei kann der Einsatz von RC-Bauelementen durchaus eine kostengünstige Alternative zu konventionellen Bauweisen sein, wenn die Kosten für die Prüfung der Bauelemente zum Bauzustand, evtl. Mehraufwendungen für die Aufarbeitung und Remontage gebrauchter Betonbauteile sowie der erforderlichen TUL-Prozesse geringer sind als die Kosten für den konventionellen Neubau. Der finanzielle Aufwand zur Wiederverwendung gebrauchter Betonelemente K_{WV} ergibt sich aus[203]:

$$K_{WV} = K_{bereit}\, K_{Prüf} + K_{auf} + K_{TUL} + K_{re}$$

Unter monetären Gesichtspunkten wird eine Wiederverwendung akzeptiert, wenn

$$K_{WV} << K_{konv}$$

K_{WV}	Kosten zur Wiederverwendung gebrauchter Betonelemente (BE)
K_{bereit}	Kosten für die Bereitstellung gebrauchter BE auf der Demontagebaustelle
$K_{Prüf}$	Kosten für Bauzustandsanalyse (Konformitätsprüfung/ Zertifizierung)
K_{auf}	Kosten für die Bauteilaufarbeitung
K_{TUL}	Kosten für Transporte, Umschlag und Zwischenlagerung
K_{re}	Kosten für die Remontage
K_{konv}	Kosten für konventionelle Bauweisen (Mauerwerk, Ortbeton u.a.)

Diese Betrachtungsweise dient vor allem den künftigen Bauherren als Entscheidungshilfe. Die Akzeptanzanforderung der niedrigeren Kosten durch den Einsatz sekundärer Bauteile gegenüber konventionellen Bauweisen muss für jedes Bauvorhaben erfüllt sein, um auf dem sowieso schon sehr hart umkämpften Wohnungsbaumarkt das „neue“ Produkt „Alte Platte“ erfolgreich zu platzieren. Den Bauherren des Neubauprojektes interessiert dabei, wie und zu welchen Kosten das Altbetonelement bereitgestellt wird und ob dieses gebrauchsfähig und kostengünstiger ist als vergleichbare neue Baustoffe und –produkte, wie z.B. der Einsatz von neu gefertigten Betonfertigteilen oder Herstellung der Wände in Ortbeton oder Mauerwerk o.ä..

Andersherum hat der potenzielle Anbieter (i.d.R. das Rückbauunternehmen) kein Interesse an der Bereitstellung gebrauchsfähiger Altbetonbauteile, wenn er nicht daraus wirtschaftliche Vorteile ziehen könnte. Für ihn sind die Gewinnung und das Angebot von sekundären Bauteilen nur wirtschaftlich, wenn daraus ausreichend hohe Einnahmen oder Kostenersparnisse resultieren. Aber selbst zu „null“ (kostenfrei) können aus Sicht des Rückbauunternehmens Kosten eingespart werden, denn die zu entsorgenden Massen verringern sich um den Anteil der absetzbaren Betonelemente. D.h. die Annahmegebühren an der RC-Anlage können um eine Menge x verringert werden.

[203] Vgl. Mettke, A.: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, 1995, S. 143ff.

Im Folgenden sollen die Kosten der Einzelpositionen Demontage resp. Abbruch der Bauteile, erforderliche Transporte, Aufarbeitung der Bauteile zur Wiederverwendung, Bauzustandsuntersuchungen und Remontage sowie die stoffliche Aufbereitung nicht wiederverwendeter Bauteile, die Neuproduktion baugleicher Elemente und Montage dieser oder andere konventionelle Ausführungen betrachtet werden.

7.1 Kosten - Demontage

Grundsätzlich haben die Kosten der Demontage keinen Einfluss auf die Kostengestaltung der Wiederverwendung, da bisher – abgesehen von einem Pilotprojekt in Gröditz - noch keine Rückbauvorhaben aufgrund einer geplanten Wiederverwendung erfolgt sind und – perspektivisch gesehen –auch nicht erfolgen werden. Derzeit werden Rückbauvorhaben nur ausgeführt, wenn aus technologischen Gründen (Gebäudehöhe, Schadstoffvorkommen, Sicherung benachbarter Bebauung oder Ausführung von Segment- oder Geschossreduzierungen) ein Abbruch im klassischen Sinne nicht möglich ist. Die anfallenden wiederverwendbaren Altbetonbauteile werden in den meisten Fällen einer Verwertung zugeführt, d.h. gebrochen und zu handelsüblichen RC-Material aufbereitet.

Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass die Kosten für den behutsamen Rückbau bzw. für die Demontage von Plattenbauten im Vergleich zum klassischen Abbruch höher sind. Die aktuellen Marktpreise für Rückbau- bzw. Demontagevorhaben schwanken derzeit (2003 – 2007) zwischen rd. 58 - 76 €/m² Wohnfläche. Für die weiteren Vergleichsrechnungen wurde von einem abstrakten Mittelwert von 67 €/m² Wfl. ausgegangen. Die Kosten für einen konventionellen Abbruch bewegen sich derzeit zwischen 20 und 50 €/m² Wfl. und darunter.

Anhand einer Auswahl rückgebauter Objekte werden in nachstehender Tabelle die ermittelten Rückbaukosten und deren Entwicklung dargestellt:

Tab. 49: Ermittelte Rückbaukosten je Quadratmeter Rückbaufläche an untersuchten Fallbeispielen[204]

Rückbau-jahr	Ort	Bauart	Straße	Kosten je m² Wohnfläche
1997		P2	Standardgebäude[205]	**101 €/m²**
1999	Hoyerswerda	P2	Lipezker Platz 1,2	**99 €/m²**
2000	Eggesin	PN 36-NO	Max-Matern-Straße	**118 €/m²**
2001	Eggesin	PN 36-NO	Verbindungsstraße	**88 €/m²**
2002	Dresden	WBS 70	Forsythienstraße	**104 €/m²**
	Cottbus	P2	Stormstraße[206]	**78 €/m²**
2003	Dresden	WBS 70	Schlehenstraße	**76 €/m²**
2004	Gröditz	WBS 70	Robert-Schumann-Straße	**62 €/m²**
	Berlin-Marzahn	WBS 70	Eichhorster Straße	**66 €/m²**
	Berlin-Marzahn	WBS 70	Havemann- /Rosenbecker Straße	**64 €/m²**
	Berlin-Marzahn	WBS 70	Rosenbecker /Eichhorster Straße	**62 €/m²**
	Berlin-Marzahn	WBS 70	Havemann- /Wörlitzer Straße	**58 €/m²**
2005	Lössnitz	WBR Erfurt	Lessingstraße; bewohnter Zustand	**71 €/m²**

Grafisch lässt sich dies wie folgt darstellen:

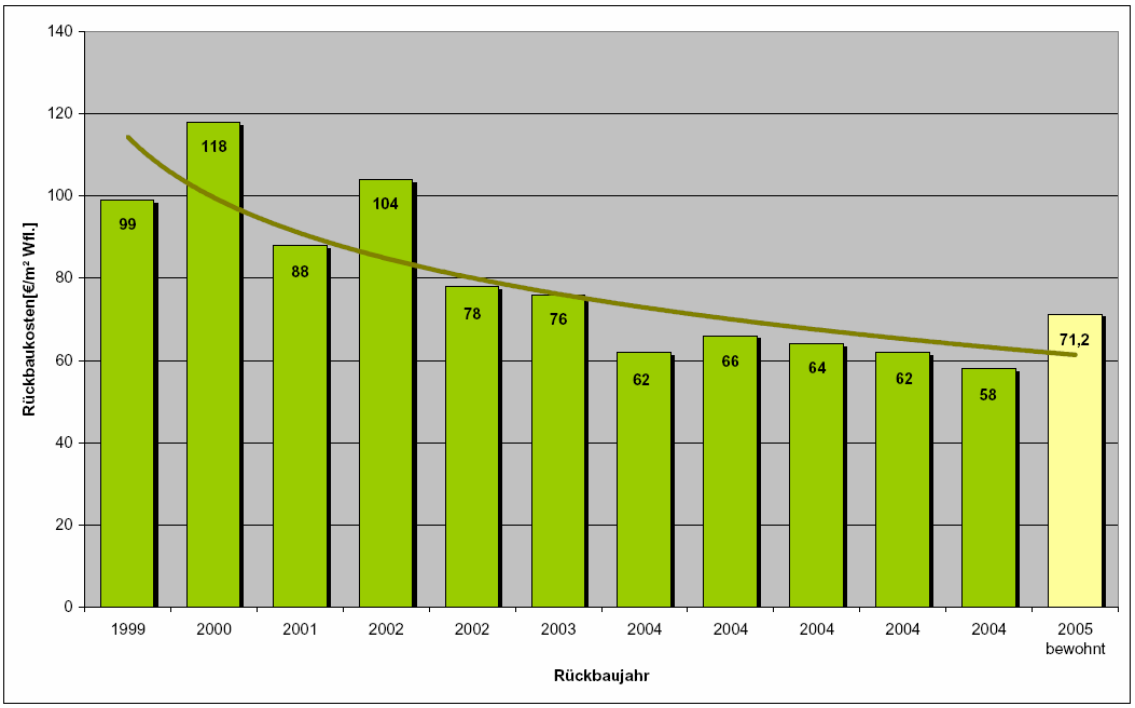


Abb. 135 : Entwicklung der Rückbaukosten

[204] Die hier aufgezeigten Rückbaukosten können lediglich als Orientierung dienen, da nicht der Schadstoffumfang, Vorhabens, Art der Rückbaumaßnahme etc. gesondert ausgewiesen werden.
[205] Mettke, A.; Thomas, C.: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, 1999, S.87 (entspr. Szenario d_2).
[206] Unruh, H.-P.; Nagora, A.: Rückbau von Plattenbauten, 2002, S. 191.

Anhand eines durch die FG Bauliches Recycling wissenschaftlich begleiteten Fallbeispiels werden nachfolgend Rückbau- und die Abbruchkosten gegenübergestellt. Hier erfolgte die segmentweise Demontage von 1½ Eingangsbereichen und der Abbruch der verbliebenen 2½ Eingangsbereiche. Daher sind für beide Teilvorhaben die gleichen Ausgangsbedingungen gegeben. Die Ausführung erfolgte durch eine Firma mit umfangreichen Erfahrungen im krangestützten Rückbau wie im konventionellen Abbruch. Die ermittelten Kosten für den Rückbau eines Quadratmeters Wohnfläche mit 62 €/m² Wfl. liegen dabei im derzeit gängigen Kostenspektrum. In Tabelle 50 wird anhand der an diesem Beispiel ermittelten Daten eine Hochrechnung der Kosten zur Gewinnung sekundärer Bauteile bzw. Alt-/RC-Betonbauteile durchgeführt. Die Kostenermittlung erfolgt hierbei in Bezug auf die Bauteilfläche aller zur Wiederverwendung geeigneten Bauteile.

Tab. 50: Ermittelte Rückbaukosten je Quadratmeter Bauteilfläche am untersuchten Fallbeispiel

	Demontage		
Gesamtkosten	66.705 €		
Elementeanzahl gesamt	370 (entspr. ca. 1.180 t)		
Elementeanzahl WV	235 (entspr. ca. 750 t)		
Kosten je Element WV	283,85 €/Elem.		
Kosten pro Tonne Element WV	88,94 €/t		
Element	Innenwand (Vollelement)	Außenwand	Deckenplatte
Elementedicke	0,15 m	0,26 m	0,14 m
Masse je m² Element[207]	0,36 t/m²	0,34 t/m²	0,32 t/m³
Kosten pro m² Element	32,02 €/m² Element	30,24 €/m² Element	28,46 €/m² Element
Gerundeter Mittelwert Kosten pro m² Element	**30 €/m² Elementfläche**		

Die mittleren Kosten für die Bereitstellung sekundärer Bauteile – resultierend aus der Demontage - belaufen sich somit auf ca. 30 €/m² Wand- oder Deckenfläche.

Die Abbruchkosten des Restgebäudes des gewählten Fallbeispiels belaufen sich auf 19 €/m² Wfl. Auch dieser Wert liegt im derzeit üblichen Preissegment für Abbrucharbeiten an industriell errichteten Wohngebäuden. Bei einer Gesamtkostensumme der Abbrucharbeiten am gewählten Fallbeispiel von 31.174 € ergeben sich folgende Kosten je Quadratmeter abgebrochener Bauteilfläche:

[207] Nach: Mettke, A. (Hrsg.): Elementekatalog – Elementesortiment des Typs WBS 70, BTU Cottbus, 2007.

Tab. 51: Ermittelte Abbruchkosten je Quadratmeter Bauteilfläche am untersuchten Fallbeispiel

	Abbruch		
Gesamtkosten	31.174 €		
Elementeanzahl gesamt	890 (entspr. ca. 2.920 t)		
Kosten je Element	35,03 €/Elem.		
Kosten pro Tonne Element	11,68 €/t		
Element	Innenwand (Vollelement)	Außenwand	Deckenplatte
Elementedicke	0,15 m	0,26 m	0,14 m
Masse je m² Element[208]	0,36 t/m²	0,34 t/m²	0,32 t/m³
Kosten pro m² Element	4,20 €/m² Element	3,97 €/m² Element	3,74 €/m² Element
Gerundeter Mittelwert Kosten pro m² Element	**4 €/m² Elementfläche**		

Die mittleren Kosten für den Abbruch betragen somit 4 €/m² Bauteil. Diese sowie auch die Rückbaukosten beinhalten auch die stoffliche Verwertung/Aufbereitung der nicht zur Wiederverwendung vorgesehenen und/oder nicht wiederverwendbaren Bauteilmassen.

Da derzeit noch kein gut funktionierendes Marktsegment für den Handel mit Altbetonbauteilen besteht und die Wiederverwendung dieser noch in geringen Mengen erfolgt, existieren allenthalben intern Angaben zu den Preisen der Übergabe von sekundären Bauteilen. Meist werden diese entweder zu null oder für die Zahlung eines geringen obligatorischen Betrags (etwa 20 – 50 €/Element) dem Abnehmer durch die rückbauausführenden Firma überlassen. Dass durch die Abgabe oder den Verkauf der Altbetonbauteile Verwertungs- und Transportkosten gespart werden können, wurde bereits angeführt. Die Kosten für die Übernahme dieser Bauteile werden hier mit null Euro angenommen.

[208] Nach: Mettke, A. (Hrsg.): Elementekatalog – Elementesortiment des Typs WBS 70, BTU Cottbus, 2007.

7.2 Kosten – Stoffliche Aufbreitung[209]

In den folgenden Abbildungen sind Annahmepreise für Stahlbetonbruch und Bauschutt in Ostdeutschland aufgeführt. Diese resultieren aus einer Umfrage im Januar 2003. Unter den 584 versandten Fragebögen befanden sich 377 Recyclingfirmen, wovon 61 antworteten (ca. 16 %).

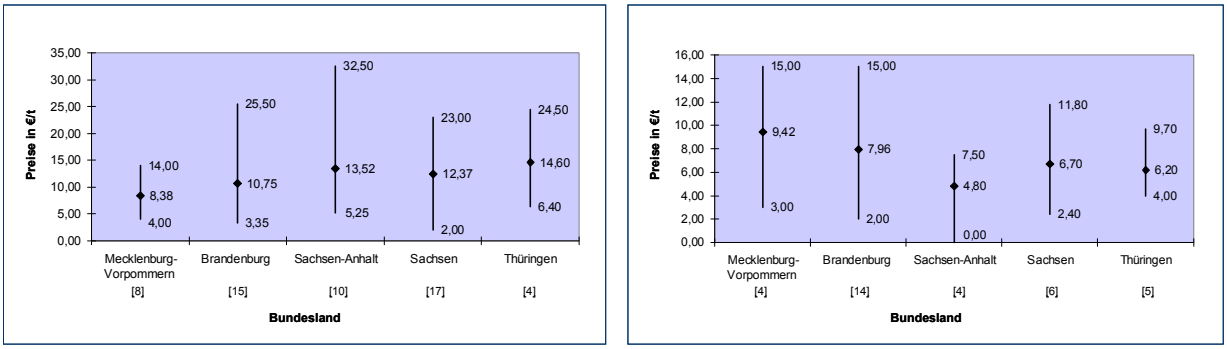


Abb. 136 : Annahmepreise für Stahlbetonbruch (Kantenlänge > 60 cm)[210] und für Bauschutt[211]

Aus den Übersichten geht hervor, dass die Annahmepreise starken regionalen Schwankungen unterliegen. Gemittelt ergibt sich für Stahlbeton > 60 cm Kantenlänge eine Spanne von 8,38 €/t (Mecklenburg-Vorpommern) bis 14,60 €/t (Thüringen), für Bauschutt 4,80 €/t (Sachsen-Anhalt) bis 9,42 €/t (Mecklenburg-Vorpommern).

Neuere Recherchen gehen von durchschnittlichen Annahmepreisen für Betonbruch > 600 mm Kantenlänge von ca. 5 €/t (im Jahr) bis 25 €/t für recyclingfähiges Betonmaterial mit Armierung (im Jahr 2007) aus.[212] Bei einer durchschnittlichen Bauteilmasse von ca. 0,34 t/m² Bauteilfläche ergibt sich eine Kostensumme von 1,70 €/m² bis 8,50 €/m² Bauteil.

7.3 Kosten – Bauzustandsuntersuchung der Elemente

Die Kosten für die erforderlichen Bauteiluntersuchungen wurden nach Recherchen der FG Bauliches Recycling (s. Tab. 52) mit ca. 200 €/Bauteil (sehr hoch)[213] angenommen. Dies entspricht einem Preis von ca. 15 €/m² Bauteilfläche. Diese Kosten umfassen die visuelle Begutachtung, die Ermittlung der vorhandenen Betondruckfestigkeit durch zerstörungsfreie Untersuchungen sowie die Ermittlung der vorhandenen Betondeckung. Der Untersuchungsumfang ist abhängig von den festgeschriebenen Anforderungen des Prüfingenieurs bzw. der jeweiligen Baugenehmigung, denn zumeist ist eine Zulassung im Einzelfall für das Bauvorhaben mit sekundären Bauteilen erforderlich. Daher können diese Kostenangaben nicht verallgemeinert werden.

---

[209] Aus: Teil 1 dieses Abschlussberichtes Abschnitt 4.10 Entsorgung und Verwertung.
[210] Doll, M.: Marktanalyse der An- und Verkaufspreise von RC-Materialien im Vergleich zu Primärrohstoffen in den neuen Bundesländern, Studienarbeit, BTU Cottbus, 2003, S. 83.
[211] ebenda.
[212] Mettke, A. (Hrsg.): Rahmentechnologie Rückbau-/Demontagevorhaben Plattenbauten – am Beispiel der Typenserie P2, BTU Cottbus, 2004 und aktuelle Recherchen der FG Bauliches Recycling, 2007.
[213] Eigene Recherche durch FG Bauliches Recycling, 2005.

Tab. 52: Ergebnisse der Preisrecherche zu Bauzustandsuntersuchungen Febr. 2005

Angebots-Nr.	Angebotsbeschreibung	Angebots-preis
1	Vereinbarungspreis netto	300,00 €
2	3 x Rückprall á 25,00 €; 100,00 € Betondeckung; 100,00 € Prüfbericht	275,00 €
3	3 x 9 Messstellen Rückprall 155,00 €, 5,00 € Betondeckung	165,00 €
4	3 x 9,50 € Rückprall; 10 Pkt. Für 18 m² = 10,00 € Betondeckung; Prüf-bericht	48,50 €
5	Schmidthammer 9 x 10 Messungen = 174,00 €; Betondeckung Hilti FerroScan 50,00 €/h (20 min angesetzt) inkl. Prüfbericht	190,00 €
6	Betondeckung: 47,00 €; Rückprall (9 Messreihen): 160,00 € inkl. Prüf-bericht	207,00 €
7	Rückprall 3 x 30,00 €; Betondeckung (10 Messpunkte) 50,00 €; 20,00 € An- und Abfahrt, 30,00 € Prüfbericht	190,00 €
Durchschnittswert für Bauteilprüfung		**196,50 €**

Die hier aufgeführten Kosten gelten für Angebote zur Untersuchung eines einzelnen Bauteils. Somit können die Angaben nur schwer auf eine größere Bauteilmenge hochgerechnet werden, denn dann reduzieren sich die Arbeitsaufwendungen für Prüfung und Auswertung je Element voraussichtlich deutlich.

Aufgeführt werden soll deshalb noch eine Kostenkalkulation zur Prüfung der sekundären Bauteile für ein Bürogebäude[214]. Die Prüfkosten wurden dabei mit 1.500 € für das Gesamtbauwerk angesetzt. Die Fläche aller wiederzuverwendenden Bauteile beträgt hierbei ca. 281 m². Somit ergeben sich Kosten für die Bauzustandsanalyse der sekundären Betonelemente von ca. 5,33 €/m².

7.4 Kosten –Aufarbeitung / Instandsetzung der Elemente

Auszuführende Aufarbeitungsmaßnahmen betreffen hauptsächlich die Reprofilierung von Abplatzungen an Kanten und Ecken, das Schließen von Öffnungen für Alternativanschläge und Rissen. Zu einem großen Teil werden diese Arbeiten bereits im Rahmen der Gestehung des Rohbaus erfüllt, wenn beispielsweise Kantenabplatzungen durch das Verfüllen der Fugen geschlossen werden.

Aufarbeitungsmaßnahmen können neben dem Erhalt, der Aufwertung oder der Wiederherstellung der Gebrauchsfähigkeit auch nur der optischen Aufbesserung der Bauteile dienen. Dabei ist jedoch zu beachten, in wie weit die betroffenen Bauteile nach der Fertigstellung des Gebäudes noch sichtbar sind. So können bautechnisch unproblematische Abplatzungen an Betonplatten verbleiben, wenn beispielsweise die Fassade mit einer Wärmedämmschicht versehen wird oder die Wandfläche insgesamt verputzt wird.

[214] Mettke, A.; Asmus, S.: Entwurfsplanung – Bau eines Bürogebäudes unter Verwendung gebrauchter P2-Betonfertigteile im Boxberg, BTU Cottbus, Jan. 2006.

Nachfolgend sind Beispiele für Kostenbemessungen von Aufarbeitungsmaßnahmen aufgeführt. Diese wurden im Rahmen eines Pilotvorhabens in Gröditz ermittelt. Dabei wurden Betonelemente (Innenbauteile) einer Schule (2-Mp-Wandbauweise, Typ „Dresden) im Außenbereich für die Landschaftsgestaltung eines Freizeitparks verwendet[215] (vgl. Abschn. 6.3.1). Die Kosten für die dafür erforderlichen Aufbereitungsmaßnahmen an den Bauteiloberflächen sind:

- Vorbehandlung
  - Sandstrahlen, Entfernen von Leisten, Nägeln… 4,00 €/m²
- Oberflächenbehandlung
  - Hydrophobierung 4,80 €/m²
  - Reparatur von Ausbruchstellen (Mörtelauftrag) 40,00 €/m²
  - Angleichen von Oberflächen (Spachtelauftrag) 40,00 €/m²
  - Versiegelung der Oberflächen 4,50 €/m².

Aus eigenen Preisabfragen der FG Bauliches Recycling können weitere Kostenangaben zu Betonschneidearbeiten gegeben werden. Beispielsweise werden die Kosten dafür mit ca. 30 €/m bei einer Bauteildicke von 14 – 15 cm (Deckenplatten und Innenwände von Plattenbauten) angegeben. Dies entspricht einem Preis von ca. 200 €/m² Schnittfläche.

Im Baukostenkatalog der BKI von 2006 werden folgende durchschnittliche Kosten für Aufarbeitungsmaßnahmen an Bauteilen und Änderungen der Geometrien von Bauteilen angegeben:

Tab. 53: Aufarbeitungskosten nach Baukostenkatalog 2006[216]

Maßnahme	**Kosten [€/Einheit]**
Durchbrüche in Betondecken, Deckenstärke d = 15 - 20 cm, Größe bis 0,1 m², Schuttbeseitigung	49,00 €/St.
Durchbrüche in Deckenplatten schließen, Deckenstärke d = 0,20 cm, Größe bis 0,5 m²	34,00 €/St.
Durchbrüche in Betondecken, Deckenstärke d = 15 - 20 cm, Größe bis 0,1 – 0,2 m², Schuttbeseitigung	75,00 €/St.
Durchbrüche in Deckenplatten schließen, Deckenstärke d = 0,20 cm, Größe bis 0,5 – 1,0 m²	42,00 €/St.
Sanierung von Plattendecken aus Stahlbeton	79,00 €/m²
Durchbrüche in Betonwänden d = 20 cm, Größe bis 0,1 m², Schuttbeseitigung	99,00 €/St.
Ausbessern von kleinen Putzschäden an Innenwänden, spachteln, schleifen, grundieren mit Putzgrund, Anstrich zweifach	5,80 €/m²
Ausbessern kleiner Putzflächen an Außenwänden, grundieren, aufrauen, Dispersionsfarbenanstrich	8,80 m²
Putzausbesserungen, Flächen bis 2 m²	47,00 €/m²
Anstrich mineralischer Untergründe (außen), Untergrundvorbehandlung	12,00 €/m²
Anstrich auf Betonwandflächen (innen), Untergrundvorbehandlung	4,30 €/m²

[215] Mettke, A.; Heyn, S.: Rückbau eines Schulgebäudes des Schultyps „Dresden“ in Gröditz, Wainsdorfer Straße, 1. Mittelschule und Zwischenbericht – Freizeitpark Gröditz 1. Bauabschnitt, BTU Cottbus, 2005.
[216] BKI Baukostenkatalog 2006, Teil 2 Statistische Kostenwerte für Bauelemente, Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern, Stuttgart 2006.

Das IEMB gibt für die Aufarbeitung der Altbetonbauteile in Vorbereitung der Remontage folgende Kosten an:[217]

- Dampfstrahlen zur Beseitigung loser Verunreinigungen an Deckenplatten 2,30 €/m²
- Dampfstrahlen zur Beseitigung loser Verunreinigungen an Wandplatten 1,94 €/m²
- Entfernung fester Verunreinigungen an Deckenplatten 2,20 €/m²
- Entfernung fester Verunreinigungen an Wandplatten 1,82 €/m²
- Reprofilierung der Kanten von Deckenplatten 86,30 €/m²
- Reprofilierung horizontaler Fugen von Wandplatten 95,31 €/m²
- Beton schneiden 84,13 €/m²
- Kernbohrung in Deckenplatten 22,81 €/Stck.

Insgesamt gibt es für Aufarbeitungs- und Instandsetzungsmaßnahmen an Stahlbetonbauteilen eine Vielfalt von Anbietern unterschiedlicher Verfahren und Materialien in verschiedenen Preissegmenten. Die Auswahl der jeweiligen Ausführung ist abhängig vom geplanten Einsatz der Altbetonbauteile, vom Bauzustand dieser und nicht zuletzt von den Wünschen des Bauherrn. Eine Kostenermittlung dazu ist nur an den entsprechenden Einzelvorhaben zum Wiedereinsatz demontierter Altbetonbauteile möglich.

7.5 Kosten - Transport

Die Transportabfragen erfolgten unter der Annahme, dass die für den Bau von „Haus Pieper“ (Werneuchen) und „Haus Hose“ (Mühlhausen) erforderlichen Elemente zu transportieren sind. Übersichten zu den ausgewählten Gebäuden sind dem Abschn. 6.1 zu entnehmen.

Die vorliegenden Angebote zu Transportkosten beinhalten nicht das Be- und Entladen des Transportmittels. Die Kostenanteile für das Verladen am Demontage- und das Entladen am Remontageort könnten vernachlässigt werden, da zum einen die Bauteile auch bei nicht erfolgender Wiederverwendung verladen und abtransportiert werden müssen. Zum anderen müssen bei einem konventionellen Neubau Betonfertigteile oder die Materialien für andere Bauweisen antransportiert und Entladen werden.

Trotzdem wurden durch die FG Bauliches Recycling Kostendaten für das Be- und Entladen von LKW-Transporten anhand eines Fallbeispiels nachkalkuliert. Transportiert wurden dabei 159 Altbetonfertigteile der WBS 70 mit einer Gesamtmasse von ca. 500 t zur Wiederverwendung für die Errichtung eines Vereinshauses. Das Transportvolumen umfasste 80 Deckenplatten und 79 Wandelemente. Darunter waren 43 Innenwände und 36 Außenwände. Der Transport der Wandelemente erfolgte auf A-Böcken. Die Deckenplatten wurden liegend transportiert. Die Anzahl der Transportumläufe betrug 28. Die Kalkulation beruht auf den vor Ort ermittelten Zeitdaten. Der Beladevorgang kostete somit 16,80 €/t Bauteil, der Entladevorgang 11,20 €/t Bauteil.

[217] Asam, C.: Vorläufiger Endbericht zum Forschungsprojekt: Untersuchung der Wiederverwendungsmöglichkeiten von demontierten Fertigteilelementen aus Wohnungsbautypen der ehemaligen DDR für den Einsatz im Wohnungsbau, IEMB Bericht Nr. 1 – 15 / 2004, S. A-1ff..

Tab. 54: Ergebnisse der Nachkalkulation der Be- und Entladevorgänge am Fallbeispiel

Beladen			
Kranauf- und Abbau Kranspiele	jeweils	00:20:40 je Bauteil	0:41:20 Gesamt
	Deckenplatten	0:05:00	6:40:00
	Wandbauteil	0:08:32	11:14:08
		je Transport	Gesamt
	Sichern	00:11:05	05:10:20
		Gesamt	23:04:28
Kranauslastung	50%		
	Gesamtdauer Kraneinsatz		46:50:16
	entspricht ca. 6 Arbeitstagen a 8 h		
		in Stunden	**48,00**
Kosten Kraneinsatz	je Stunde		100,00 €
	Gesamt		4.800,00 €
Kosten Arbeitskräfte	2 Fachkräfte 6 Arbeitstage	300 €/d	
	Gesamt		3.600,00 €
Gesamtkosten			8.400,00 €
	Je Tonne		**16,80 €**

Entladen			
Kranauf- und Abbau Kranspiele	jeweils	00:20:40 je Bauteil	0:41:20 Gesamt
	Deckenplatten	0:02:53	3:50:40
	Wandbauteil	0:05:57	7:50:03
		je Transport	Gesamt
	Entsichern	00:05:20	02:29:20
		Gesamt	14:10:03
Kranauslastung	50%		
	Gesamtdauer Kraneinsatz		29:01:26
	entspricht ca. 4 Arbeitstagen a 8 h		
		in Stunden	**32,00**
Kosten Kraneinsatz	je Stunde		100,00 €
	Gesamt		3.200,00 €
Kosten Arbeitskräfte	2 Fachkräfte 4 Arbeitstage	300 €/d	
	Gesamt		2.400,00 €
Gesamtkosten			5.600,00 €
	Je Tonne		**11,20 €**

Im Jahr 2006 wurde eine Preisabfrage zu den Transportkosten für sekundäre Bauteile mittels LKW durch die FG Bauliches Recycling durchgeführt. Die Anfragen wurden durch 4 Unternehmen beantwortet. Die Transportanfrage erfolgte für einen LKW-Transport über eine Strecke von 150 km.[218] Für die Planung und Kalkulation der Errichtung eines Swimmingpools aus gebrauchten Betondeckenplatten (s. Abschn. 6.2.10) wurden die Transportkosten für die 23 Elemente mit einer Gesamtmasse von 34 t über eine Transportstrecke von 300 km ermittelt.[219] Eine weitere aktuelle Recherche zu Transportkosten mit dem LKW erfolgte im Rahmen einer Diplomarbeit an der FG Bauliches Recycling[220] 2007. Untersucht wurde hierbei der Transport von Deckenplatten, Innenwänden und Außenwänden mit einer Gesamtmasse von 140 t.

[218] Recherche im Rahmen des Forschungsprojektes „Wissenschaftliche Vorbereitung und Planung des Rückbaus von Plattenbauten und der Wiederverwendung geeigneter Plattenbauteile in Tschechien“ gefördert durch die Bundesstiftung Umwelt, Förderkennzeichen: DBU-AZ 33386-23, 2006.
[219] Mettke, A., Jahn, U., Asmus, S.: Konzeption zur Herstellung eines Swimmingpools aus gebrauchten Betonplatten der P2-Gebäudeserie, BTU Cottbus, 2004.
[220] Lüdtke, M.: Kostenuntersuchungen zum Einsatz von Altbetonbauteilen anhand eines Referenzobjektes, Diplomarbeit, BTU Cottbus, 2007.

Tab. 55: Ergebnisse der Recherchen zu Transportkostenpreisen

Anbieter-Nr.	Angebots-jahr	Elemente-sortiment	Masse	Bauteil-fläche	Transport-entfernung	Gesamt-preise	Preise je t und km	Preis je m² und km
			[t]	[m²]	[km]	[€]	[€/t*km]	[€/t*km]
1	2006	DP	36	108	150	900	0,17	0,06 €
2	2006	DP	36	108	150	1300	0,24	0,08 €
3	2006	DP	36	108	150	1120	0,21	0,07 €
4	2006	DP	36	108	150	1730	0,32	0,11 €
1	2006	IW / AW	47,7	145,5	150	960	0,13	0,04 €
2	2006	IW / AW	47,7	145,5	150	1840	0,26	0,08 €
3	2006	IW / AW	47,7	145,5	150	1120	0,16	0,05 €
4	2006	IW / AW	47,7	145,5	150	1730	0,24	0,08 €
1	2006	DP	138	414	150	2700	0,13	0,04 €
2	2006	DP	138	414	150	3900	0,19	0,06 €
3	2006	DP	138	414	150	3360	0,16	0,05 €
4	2006	DP	138	414	150	5190	0,25	0,08 €
1	2006	IW / AW	161,2	484,8	150	3360	0,14	0,05 €
2	2006	IW / AW	161,2	484,8	150	6440	0,27	0,09 €
3	2006	IW / AW	161,2	484,8	150	3920	0,16	0,05 €
4	2006	IW / AW	161,2	484,8	150	6055	0,25	0,08 €
5	2004	DP	34	108	300	1020	0,10	0,03 €
6	2007	DP / IW / AW	140	396	25	1500	0,43	0,15 €
6	2007		140	396	100	2100	0,15	0,05 €
6	2007		140	396	250	3000	0,09	0,03 €
7	2007		140	396	100	2880	0,21	0,07 €
7	2007		140	396	250	5100	0,15	0,05 €
Mittelwert							**0,20**	**0,07**

Für den Transport 1 Tonne Altbetonbauteil mit LKW über 1 km sind somit Kosten von durchschnittlich 0,20 € ermittelt wurden. Hochgerechnet auf die Bauteilfläche ergeben sich Kosten von 7 Cent je Kilometer Transportentfernung. Ein Unterschied in der Kostengestaltung für Deckenplatten- und Wandbauteiltransporte bei gleicher Transportentfernung von 150 km ist nicht erkennbar (s. Daten von 2006 in Tab. 55.) Die durchschnittlichen Kosten für den Deckenplattentransport liegen bei 0,21 €/t*km, für den Wandelementtransport bei 0,20 €/t*km.

Basierend auf diesen Daten kann auf Grund der gleichen Transportstrecke die Abhängigkeit der Transportkosten von der Bauteilanzahl und –masse aufgezeigt werden.

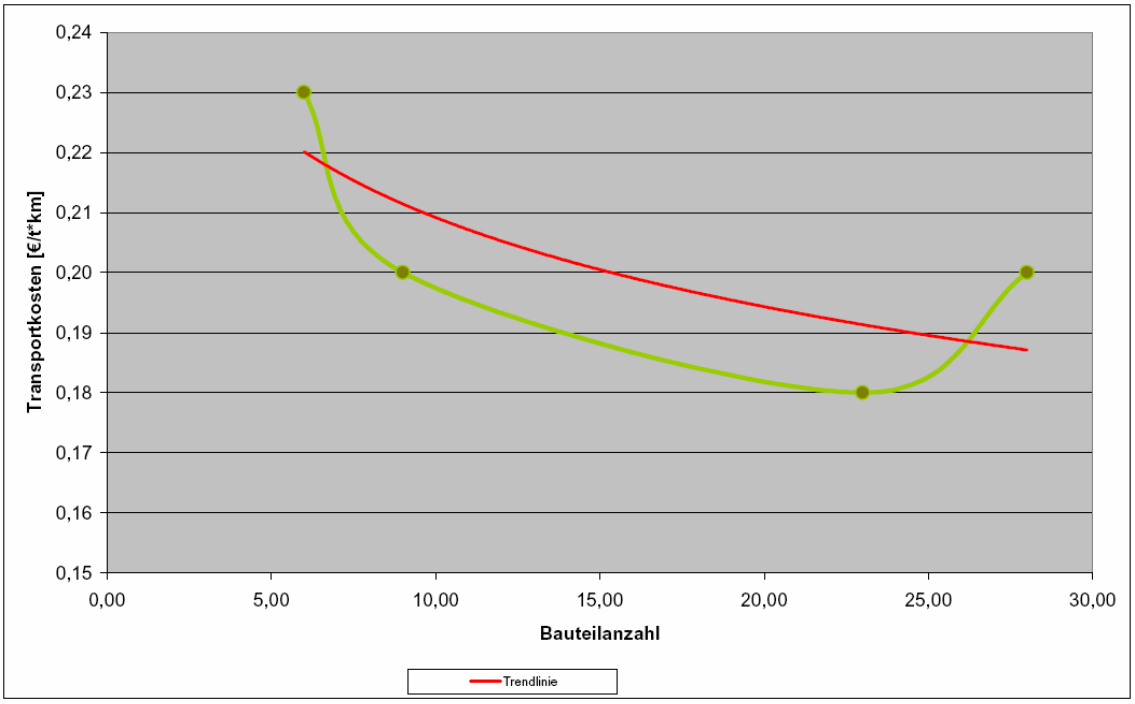


Abb. 137 : Abhängigkeit der Transportkosten von der transportierten Bauteilanzahl 2006

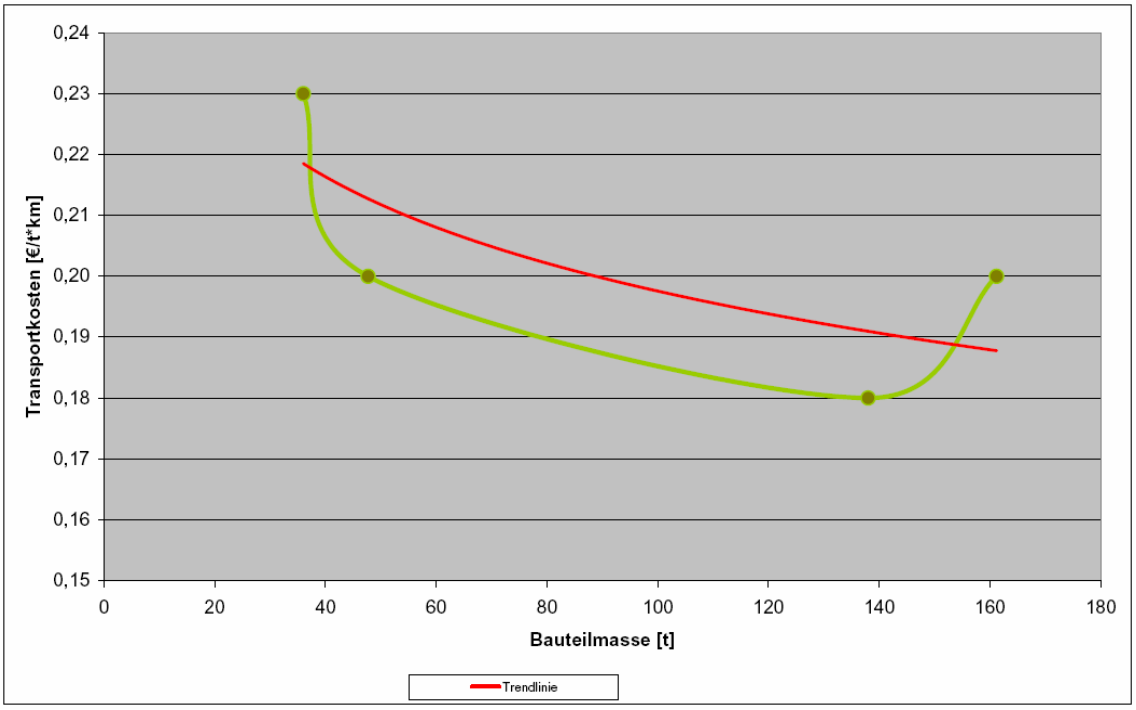


Abb. 138 : Abhängigkeit der Transportkosten von der transportierten Bauteilmasse 2006

Die Transportkosten weisen eine geringe Abhängigkeit von der Anzahl und der Bauteilmasse der transportierten Bauteile auf. Diese beträgt nach Auswertung der Trends hinsichtlich der Masse ca. 2 Cent auf 100 t Material. Ein wichtiger Einfluss hinsichtlich der Ladung ist die Ausschöpfung des Transportvolumens bzw. Nutzlast jedes einzelnen Fahrzeugs. Denn nur teilweise beladene LKWs verteuern den Bauteiltransport in Größenordnungen.

Die Entwicklung der Transportkosten hinsichtlich der Transportentfernung für alle Daten der Tab. 55 wird in folgendem Diagramm dargestellt.

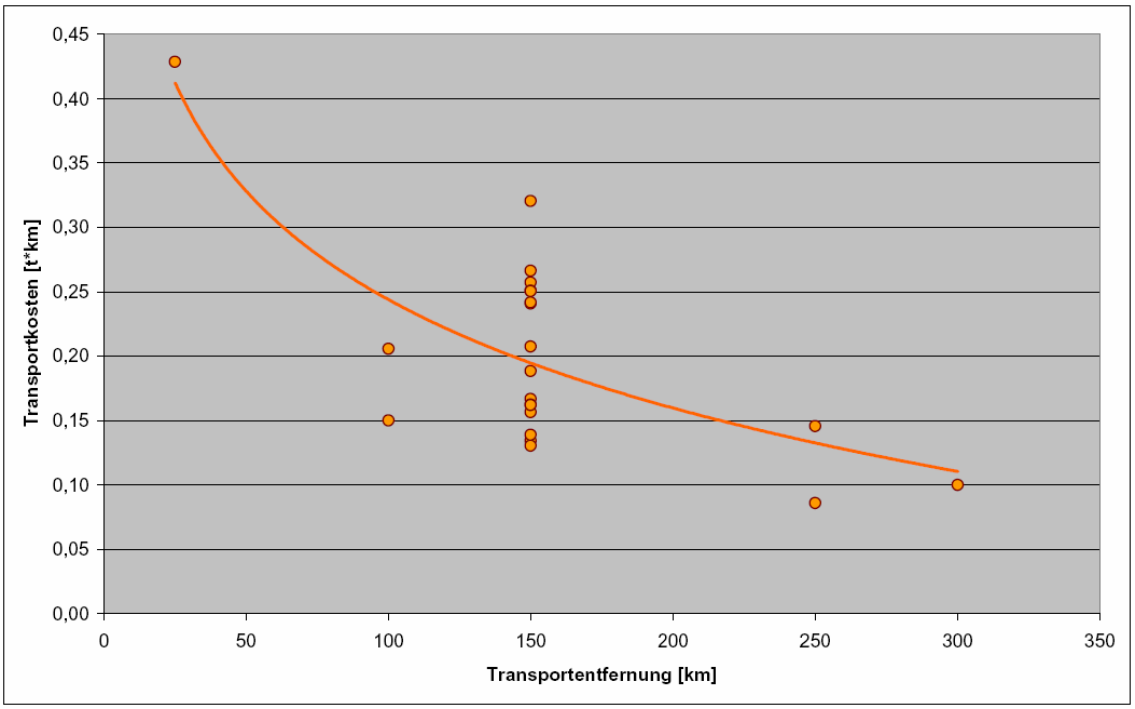


Abb. 139 : Abhängigkeit der Transportkosten von der Transportentfernung per LKW/Tieflader 2007

An diesem Beispiel zeigt sich eine deutliche Senkung der Transportkosten pro Tonne und Kilometer über die zunehmende Entfernung.

Es kann davon ausgegangen werden, dass für den regionalen Bauteiltransport der LKW mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit das wirtschaftlich günstigste Transportmittel darstellt. Für größere Transportentfernungen sind die Möglichkeiten des Schienen- und Schiffstransportes zu prüfen, insbesondere dann, wenn De- und/oder Remontageort über Bahn- oder Hafenanbindung verfügen.

7.6 Kosten – Remontage sekundärer Bauteile

Auf Grund der bisher fast ausschließlich als Pilotprojekt ausgeführten Vorhaben zur Remontage gebrauchter Betonbauteile liegen bisher keine statistisch verwertbaren Ergebnisse zu den Kosten vor. Daher werden hier zunächst die Remontagekosten aus verschiedenen Projekten beispielhaft aufgeführt.

Für den Wiederneubau eines Vereinshauses in Kolkwitz wurde unter Verwendung von Bauteilen dem P2-Typ eine Kostenkalkulation erstellt.[221] Dabei wurde für die Remontage der Wandelemente inkl. Instandsetzungsmaßnahmen ein Einheitspreis von 121,00 € je Element ermittelt, für die Remontage einer Deckenplatte 167,00 € je Element. Daraus ergeben sich für die Remontage eines Quadratmeter Altbetonbauteils je nach Bauteilgröße 7,76 – 12,87 €/m² Innenwandelement, 7,12 – 10,94 €/m² Außenwandelement und 15,46 €/m² Deckenplatte. Diese Werte gerundet ergeben zusammengefasst

[221] Mettke, A.; Strothotte, J.: Vereinshaus Kolkwitzer Sportverein – Entwurf für ein Vereinshaus aus remontierten Plattenbauelementen, BTU Cottbus, 2005, in Zusammenarbeit mit Jähne & Göpfert, Ingenieurbüro GmbH, Cottbus.

Kosten für die Remontage von 13 €/m² für Innenwände, 11 €/m² für Außenwände und 15,50 €/m² für Deckenplatten. Die Kosten erfassen dabei auch erforderliche Ausbesserungsmaßnahmen.

UNRUH/NAGORA[222] leiten aus ihren Untersuchungen zur Remontage der Stadtvillen in Cottbus (s. Abschn. 6.1.5) folgenden verallgemeinernden Kostenansatz ab: 200 €/Element bzw. 80 €/m² Wfl.. Gleichwohl wird darauf hingewiesen, dass die Höhe der Kosten stark lohnabhängig ist (angesetzt wurde ein Mittellohn von 23 €/h), von der Krangröße und -art abhängt sowie von der Zeit und dem Umfang der remontagebedingten Nebenarbeiten beeinflusst wird.

Für den Entwurf eines Bürogebäudes durch die FG Bauliches Recycling[223] wurden Remontagekosten von 180 € je Element angenommen. Dies entspricht einem Quadratmeterpreis je Bauteilgröße von 16,67 – 28,13 €/m² Deckenplatte, 16,35 €/m² Außenwand und 19,15 €/m² Innenwand.

Die Kalkulation für den Bau eines Swimmingpools (s. Abschn. 6.2.10) ergibt Kosten für die Montage von Deckenplatten (stehend gestellt) als Wandelemente von 64,50 € je Element. Dies entspricht 15,25 €/m² Wandfläche.

Der Bau der Carportanlage in Waltershausen (Abschn. 6.2.8) beziffert die Kosten für die Remontage einer Wandplatte inkl. Aufarbeitung mit 660 Euro und für eine Deckenplatte mit 580 Euro[224]. Bei einer Fläche einer Deckenplatte (6,00 x 1,80 x 0,14 m) von 10,6 m² ergeben sich Remontagekosten von ca. 54 €/m² Deckenfläche. Bei einer Wandfläche der Innenwände (5,81 x 2,63 x 0,15 m) von 15 m² ergeben sich hier Remontagekosten von ca. 44 €/m². Enthalten sind folgende Leistungen: die Reinigung und die Oberflächenbehandlung der Altbetonelemente, die Ertüchtigung der Stahlverbindungen, der Remontagelohn incl. der Kranleistungen und benötigte Kleinteile, Mörtel zum Schließen der Fuge, Dachdeckung, Rohrleitungen zur Regenwasserabführung etc..

ASAM[225] ermittelte Remontagekosten von durchschnittlich 483,17 € je Deckenplattenelement und 216,10 € je Wandelement. Diese Kosten für den Wiederneubau eines Musterhauses aus Bauteilen der WBS 70 beinhalten neben den Kostenanteilen für Reinigung, Ertüchtigung der Stahlverbindungen und Schließen der Bauteilfugen auch Anpassungsmaßnahmen und Herstellen von Öffnungen durch Schneiden der Betonbauteile, Kernbohrungen, Einziehen von Stürzen und Unterzügen. Nach Abzug dieser Kostenanteile von den Remontagekosten konnten Vergleichswerte aus den Daten von ASAM gewonnen werden. Diese betragen für die Wandremontage 16,99 €/m², für die Deckenremontage 22,12 €/m² Bauteilfläche.

Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Zusammenstellung der aufgeführten Kosten für die Remontage von Wand- und Deckenelementen einschließlich der Reinigung und Vorbereitung der Bauteile.

[222] Unruh, H.-P.; Nagora, A.: Rückbau von Plattenbauten, 2002, S. 213.
[223] Mettke, A.; Asmus, S.: Entwurfsplanung - Bau eines Bürogebäudes unter Verwendung gebrauchter P2-Betonfertigteile in Boxberg, BTU Cottbus, Jan. 2006.
[224] Angaben: Sprinz, N., 2007 PGM Planungsgruppe Mitte GmbH in Gotha.
[225] Asam, C.: Vorläufiger Endbericht zum Forschungsprojekt: Untersuchung der Wiederverwendungsmöglichkeiten von demontierten Fertigteilelementen aus Wohnungsbautypen der ehemaligen DDR für den Einsatz im Wohnungsbau, IEMB, Bericht Nr. 1 – 15 / 2004, S. A-1ff..

Tab. 56: Übersicht zu Remontagekosten von Wand- und Deckenelementen verschiedener Wiederverwendungsprojekte

Projekt-nummer	Kosten der Remontage		
	Innenwand	Außenwand	Deckenplatte
1	12,78 €/m²	10,94 €/m²	15,46 €/m²
2	19,15 €/m²	16,35 €/m²	28,13 €/m²
3	15,25 €/m²		-
4	44,00 €/m²		54,00 €/m²
5	16,99 €/m²		22,12 €/m²

Da die Kosten zur Remontage der Deckenplatten sowie der Wandelemente, Projektnummer 4, aus dem „Rahmen fallen“ (doppelter Kostenbetrag der nächst höchsten Kostenkalkulation; liegt deutlich über den anderen Kostendaten), werden diese Werte als Ausreißer betrachtet und aus der Mittelwertberechnung ausgeschlossen. Die durchschnittlichen Kosten für die Remontage eines Quadratmeters Wandfläche aus sekundären Betonbauteilen betragen somit ca. 13,50 €/m². Für einen Quadratmeter remontierter Deckenplatte ergeben sich Kosten von ca. 22 €/m². Verallgemeinerbar sind diese Werte allerdings aufgrund der zu geringen Datenmenge nicht. Sie können lediglich als Richtgrößen dienen.

Die Ausführung eines zusätzlichen Ringankers, das Herstellen von Sockeln u.ä. wurden nicht berücksichtigt. Deshalb sind Kosten von der jeweilig geplanten Ausführung und dem Einsatzort (Expositionsklasse) abhängig und müssen für jedes Einzelvorhaben gesondert kalkuliert werden.

7.7 Kosten, Preise –Bauteilneuherstellung, Montage und konventionelle Bauweisen

Zur Ermittlung der Neuteilpreise von Betonfertigteilen wurde Anfang 2007 durch die FG Bauliches Recycling eine Preisabfrage bei Betonfertigteilanbietern durchgeführt. Die Basis bildeten vergleichbare Bauteile der Typenserie WBS 70. Befragt wurden ca. 150 Unternehmen per Email, wovon ca. 24 % auf die Anfrage reagierten und 4 % Angaben zu den erfragten Preisen machten. Die Ergebnisse der Preisabfrage sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt.

Tab. 57: Neuteilpreise – Umfrage vom Februar 2007 der FG Bauliches Recycling

Elementeart		Deckenplatte		Innenwand				Außenwand	
Abmaße	[m]	6,00 x 3,00 x 0,14		6,00 x 2,80 x 0,15		6,00 x 2,80 x 0,15		6,00 x 2,90 x 0,26	
Fläche	[m²]	18		16,8		16,8 (mit Türöffnung)		17,4	
Masse	[t]	6		4,9		5,5		5,8	
Betonklasse		C 20/25		C 20/25		C 20/25		C 20/25	
Anbieter		Einzelpreis	je m²	Einzelpreis	je m²	Einzelpreis	je m²	Einzelpreis	je m²
		[€]	[€/m²]	[€]	[€/m²]	[€]	[€/m²]	[€]	[€/m²]
1		690,00	38,33	595,00	35,42	600,00	35,71	810,00	46,55
2		686,70	38,15	576,25	34,30	616,90	36,72	832,45	47,84
3			42,50		40,00		40,00		
4		990,00	55,00	1.092,00	65,00	1.240,00	73,81	1.479,00	85,00
5		1.080,00	60,00	1.017,00	60,54	1.041,00	61,96		
6		1.000,00	55,56	950,00	56,55	975,00	58,04	1.260,00	72,41
Mittelwert		**889,34**	**48,26**	**846,05**	**48,63**	**894,58**	**51,04**	**1.095,36**	**62,95**
Minimalwert		686,70	38,15	576,25	34,30	600,00	35,71	810,00	46,55
Maximalwert		1.080,00	60,00	1.092,00	65,00	1.240,00	73,81	1.479,00	85,00

* Hochrechnung aus den Angaben zur Deckenplatte 6,00 x 3,00 x 0,14 m

So beläuft sich der Preis für einen neu hergestellten Quadratmeter Deckenplatte auf i.M. 48 €, einen Quadratmeter Innenwandelement ohne Türöffnung i.M. 49 €, mit Türöffnung 51 € und einen Quadratmeter Außenwandelement mit einer Kerndämmung aus Styropor kostet i.M. 63 €.

Dabei gilt es zu beachten, dass dieses Gebäudesystem für Neubauten nicht mehr angewandt wird. Der Produktionsprozess in den Betonwerken kann somit der kostenintensiven Fabrikation von Sonderelementen gleichgesetzt werden. Entscheidender für eine Vergleichbarkeit der Kostenaufwendungen ist somit die Produktion von Fertigteilen nach aktuellen Bausystemen. Bei diesen sind die Herstellungsprozesse entsprechend optimiert. Gleiches gilt auch für die TUL- und Montagevorgänge. Insofern ist davon auszugehen, dass die Errichtung eines Gebäudes nach derzeit aktuellen Fertigbausystemen kostengünstiger ist als der Nachbau der Bauweisen mit Platten. Somit muss der Vergleich des Einsatzes sekundärer Elemente mit der Anwendung aktueller Fertigteilbauweisen erfolgen. Richtwerte für Kosten dazu und zur Herstellung von Wand- und Deckenflächen in anderen konventionellen Ausführungen werden nachfolgend aufgeführt.

Tab. 58: Ausführungskosten des Neubaus in konventionellen Bauweisen[226]

Bauweise	Kosten für		
	Außenwand	Innenwand	Decke
Montage neuer Betonelemente	110 €/m²	110 €/m²	77 €/m²
Massivbetonbauteil in Ortbeton mit Bewehrung	150 €/m²	83 €/m²	91 €/m²
Spannbeton-TT-Decken mit Bewehrung und Überbeton	-	-	160 €/m²
Kalksandsteinmauerwerk	79 €/m²	53 €/m²	-
Ziegelmauerwerk	110 €/m²	69 €/m²	-
Hochlochziegelmauerwerk	81 €/m²	53 €/m²	-
Poroton-Mauerwerk / Gasbetonplansteine	80 €/m²	62 €/m²	-

Für die Kosten der verschiedenen in Tab. 58 aufgeführten Bauweisen gilt zu berücksichtigen, dass insbesondere bei der Ausführung in den verschiedenen Mauerwerksvarianten alle Flächen im Innen- und Außenbereichbereich verputzt oder mit einer anderen Wandbekleidung versehen werden müssen. Die Kosten für das Auftragen von Innenwandputzen liegen je nach Ausführung bei ca. 14 bis 19 €/m² Innenwandfläche. Die Außenwandflächen müssen mit einer Wärmedämmschicht und/oder Putzschicht versehen werden. Die Ausführungskosten für Außenwände in Mauerwerk erhöhen sich somit auf 93 – 129 €/m², für gemauerte Innenwände auf 67 – 88 €/m² Wandfläche.

Auf Grund der vielfältigen Möglichkeiten der Ausführung von Wärmeschutzsystemen und der Abhängigkeit von den Wünschen des Bauherrn zur jeweiligen Fassadengestaltung werden diese Kosten hier nicht berücksichtigt.

7.8 Kostenvergleich – Wiederneubau / konventioneller Neubau

Zu nächst werden in Tabelle 59 die ermittelten Kosten der Einzelpositionen dargestellt. Aufgrund der noch sehr geringen Datenbasis können diese jedoch lediglich als Orientierungshilfe betrachtet werden. Deshalb sind weitere wissenschaftliche Projektbegleitungen erforderlich, um die nachfolgende Auswertung und daraus resultierenden Schlüsse auf eine fundierte Basis zu stellen oder diese gegebenenfalls zu revidieren.

[226] nach: BKI Baukostenkatalog 2006, Teil 2, Stuttgart 2006.

Tab. 59: Übersicht der ermittelten Einzelpositionskosten

Einzelposition		Kosten pro Bauteilfläche
Demontage wieder verwendungsfähiger Bauteile (inkl. stoffliche Aufbereitung der Restmassen) (s. Tab. 50)	$K_{De.WV}$	30,00 €/m²
Abbruch (inkl. stoffliche Aufbereitung) (s. Tab. 51)	K_{Ab}	4,00 €/m²
Stoffliche Aufbereitung (s. Abschn. 7.2)	K_{SRC}	1,70 – 8,50 €/m²
Transport (s. Tab. 55)	K_{TUL}	0,07 €/m²*km
Bauteilaufarbeitung (Beseitigung fester Verunreinigungen; keine bauphysikalische Ertüchtigung))	K_{auf}	2,00 €/m²
Bauzustandsanalyse (s. Abschn. 7.3)	$K_{Prüf}$	5,33 €/m²
Remontage Wandelement (s. Abschn. 7.6)	$K_{Re.WE}$	13,50 €/m²
Remontage Deckenplatte (s. Abschn. 7.6)	$K_{Re.DP}$	22,00 €/m²

Für den Bauherrn, der seine Immobilie rückbaut oder abbricht, sind ausschließlich die Kosten für die Gesamtausführung des Projektes in Bezug auf die Wohnfläche interessant, da sich die Finanzierung aus Fördermitteln des Stadtumbau-Ost derzeit ausschließlich auf die Fläche der beseitigten Wohnräume bezieht. Dabei wird nicht bezüglich der Methode der Wohnraumbeseitigung differenziert. Abbrüche erhalten die gleiche Fördermittelhöhe wie Rückbauvorhaben, obwohl letztere gerade im Hinblick auf die Umsetzung des Nachhaltigkeitsgedankens in der Wohnungswirtschaft und Stadtplanung i.d.R. vorteilhaftere Lösungen bieten. Bei durchschnittlichen Kosten von ca. 68 €/m² Wfl. für den Rückbau und ca. 25 €/m² Wfl. für den Abbruch liegen die Rückbaukosten fast um das dreifache über den Abbruchkosten. Daher wird sich der Wohnungseigentümer bei bestehender Möglichkeit eines Abbruchs bevorzugt für diesen entscheiden. Insbesondere durch diese Konstellation (Fördermechanismus/Altschuldenhilfegesetz u.a.) wird der Abbruch Hauptinstrument der Leerstandsbekämpfung bleiben.

Trotzdem ist mit einer verstärkten Umsetzung von Rückbauvorhaben in den nächsten Jahren zu rechnen. Begründungen für diese Vorhersage liegen vor allem in einem Umdenken in der Stadtplanung hinsichtlich der Eindämmung der Perforierung von Siedlungsgebieten durch innerstädtische Brachflächen auf Grund der Gebäudeabbrüche und deren Folgen für die gesamte Infrastruktur des Wohngebietes. Gleichzeitig müssen Wohnungsunternehmen bei der Ausführung von Abbruchvorhaben häufig starke Mieterfluktuationen zu anderen Anbietern in Kauf nehmen. Eine direkte Mieterbindung bei gleichzeitiger Leerstandsbekämpfung lässt sich vor allem durch Rückbaumaßnahmen im bewohnten Zustand erreichen. Zudem ist der größte Anteil von „Problemgebäuden“ mit sehr hohen Leerstandsquoten bereits beseitigt, so dass die Leerstandszahlen von Einzelgebäuden nicht mehr auf diesen extrem hohen Level stehen, was wiederum das Umzugsmanagement verteuert und die Bereitstellung von genügend gleichwertigen Ausweichwohnungen zu gleichen Mietkonditionen erschwert. Auch hier bietet sich der Teilrückbau als Problemlösung an. Daher ist die Verfügbarkeit von Altbetonbauteilen aus Rückbauvorhaben auch in Zukunft gesichert.

Ein Rückbau ausschließlich zur Gewinnung von wiederverwendbaren Bauteilen ist erst ab einem Quadratmeterpreis für die Altbetonbauteile von mind. 30 € selbsttragend. Dabei müssen zudem alle wiederverwendbaren Bauteile, also Deckenplatten, tragende Innenwände, Außenwände zu diesem Mindestpreis verkauft werden. Da es derzeit noch kein ausreichend funktionierendes Marktsegment für Altbetonbauteile gibt und zudem ein Überangebot an Sekundärbauteilen aus Rückbauvorhaben besteht, sind diese zum Teil kostenfrei oder gegen Zahlung eines obligatorischen Betrages ab Baustelle verfügbar. Der Bauherr oder i.d.R. das Rückbauunternehmen eines Rückbauvorhabens kann durch die Abgabe der Altbetonbauteile Einsparungen bei den Verwertungskosten von ca. 1,70 €/m² Bauteilfläche (ca. 5 €/t) erzielen. Selbst eine Abgabe wiederverwendbarer Bauteile zu null € ermöglicht einen wirtschaftlichen Vorteil.

Für die Wiederverwendung von Altbetonbauteilen wurden die Kosten für die Gewinnung und Bereitstellung in nachfolgender Beispielrechnung (noch) vernachlässigt. Entscheidende Kostenpunkte für die Herstellung von Wand- und Deckenflächen aus sekundären Betonbauteilen sind:

- der Transport,
- evtl. erforderliche Bauteilaufarbeitungen,
- Bauzustandsuntersuchungen und
- Remontagekosten.

Die Kosten der Wiederverwendung eines Quadratmeters Altbetonbauteils bei einer Transportentfernung von 30 km sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt.

Tab. 60: Kosten der Remontage sekundärer Bauteile

Einzelposition	Kosten pro Bauteilfläche
Transport 30 km	2,10 €/m²*km
Bauteilaufarbeitung	2,00 €/m²
Bauzustandsanalyse	5,33 €/m²
Remontage Wandelement	13,50 €/m²
Remontage Deckenplatte	22,00 €/m²
Gesamtkosten Wiederverwendung Wandelement	**22,93 €/m²**
Gesamtkosten Wiederverwendung Deckenplatte	**31,43 €/m²**

Die Wiederverwendung eines Wandelementes bei einer Transportentfernung von 30 km kostet somit ca. 23 €/m² einer Deckenplatte ca. 31 €/m². Sofern Abgabegebühren für Altbetonfertigteile erhoben werden (z.B. für den Mehraufwand, der zum Entfernen des Estrichschicht auf den Deckenplatten erforderlich ist), erhöhen sich die Gesamtkosten um ca. 2 – 4 €/m². Ein Vergleich der Kosten für die Wiederverwendung von Altbetonbauteilen mit verschiedenen konventionellen Bauweisen ist in der nachfolgenden Tab. 61 aufgeführt und in Abb. 140 - 142 veranschaulicht.

Tab. 61: Vergleich der Remontagekosten mit den Kosten konventioneller Bauweisen zur Herstellung eines Quadratmeters Wand- oder Deckenfläche (s. Tab. 58)

Bauweise	Element					
	Außenwand		Innenwand		Deckenplatte	
	Kosten	Einsparung durch WV	Kosten	Einsparung durch WV	Kosten	Einsparung durch WV
	[€/m²]	[%]	[€/m²]	[%]	[€/m²]	[%]
Remontage Altbetonbauteile	23		23		31	
Montage neuer Bauteile	110	79,1%	110	79,1%	77	70,1%
Massivbetonbauteil in Ortbeton	150	84,7%	83	72,3%	91	74,7%
Spannbeton-TT-Decken					160	85,6%
Kalksandsteinmauerwerk	79	70,9%	53	56,6%		
Ziegelmauerwerk	110	79,1%	69	66,7%		
Hochlochziegelmauerwerk	81	71,6%	53	56,6%		
Poroton-Mauerwerk	80	71,3%	62	62,9%		

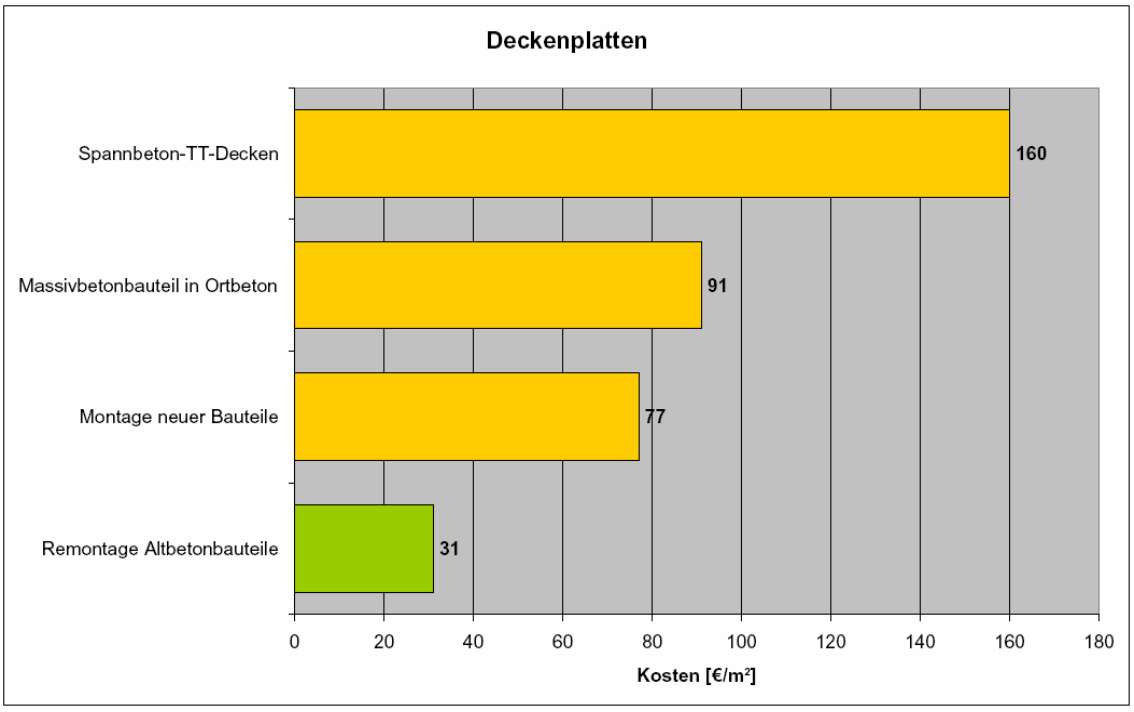


Abb. 140 : Vergleich der Remontagekosten mit den Kosten konventioneller Bauweisen zur Herstellung eines Quadratmeters Deckenfläche

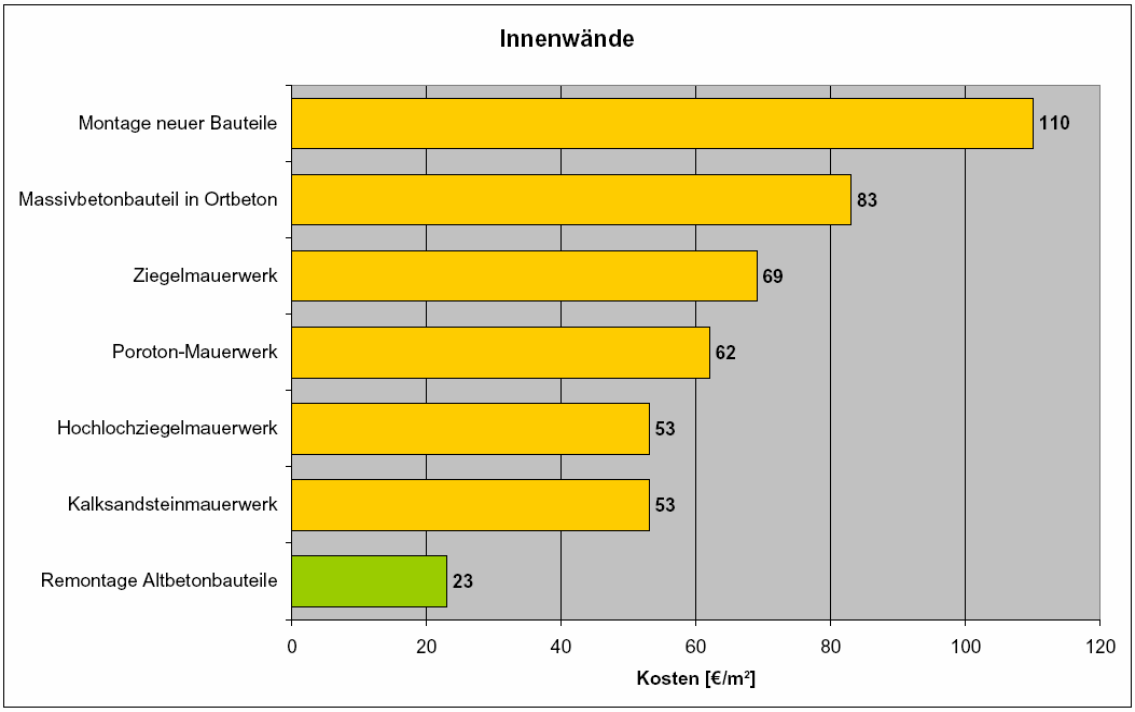


Abb. 141 : Vergleich der Remontagekosten mit den Kosten konventioneller Bauweisen zur Herstellung eines Quadratmeters Innenwandfläche

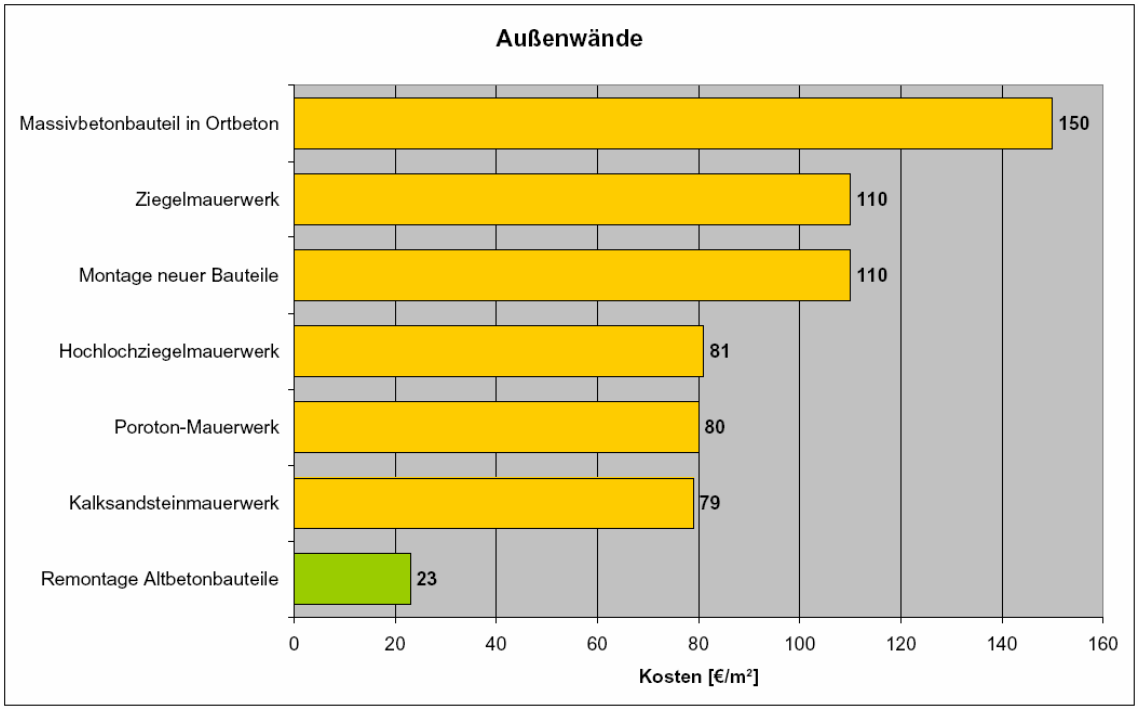


Abb. 142 : Vergleich der Remontagekosten mit den Kosten konventioneller Bauweisen zur Herstellung eines Quadratmeters Außenwandfläche

Ausgehend davon, dass die Übernahme der sekundären Bauteile vom Bauherrn des Rückbaus oder der ausführenden Firma kostenfrei erfolgt, der Transportweg der Altbetonbauteile nicht länger als 30 km ist, keine zusätzlichen konstruktiven Aufwendungen gegenüber der Einbausituation im Spendergebäude (zusätzlicher Ringanker u.ä.) und keine weiteren Arbeiten zur Bauteilaufarbeitung erforderlich sind, ist eine Kostenreduzierung für die Herstellung von Wand- und Deckenflächen von mindestens 56,6 % gegenüber dem Einsatz konventioneller Bauweisen möglich. Inwieweit sich dieser Vorteil auch auf die Gesamtrohbaukosten auswirkt, hängt von der Wiederverwendungsquote ab sowie vom Anteil der Re- bzw. Montagekosten an den Gesamtrohbaukosten und der erforderlichen Transportstrecken.

Hinsichtlich des Kostenvorteils bei der Verwendung von Altbetonbauteilen gegenüber dem Einsatz von neuen Betonfertigteilen sollen auch verschiedene Transportentfernungen für die Lieferung der sekundären Bauteile zum Einbauort untersucht werden. Eine vergleichende Darstellung der Remontagekosten über die Transportentfernung und ein Vergleich mit der Neubauteilverwendung sowie die Entwicklung des Kostenvorteils der Wiederverwendung werden in folgender Abbildung veranschaulicht.

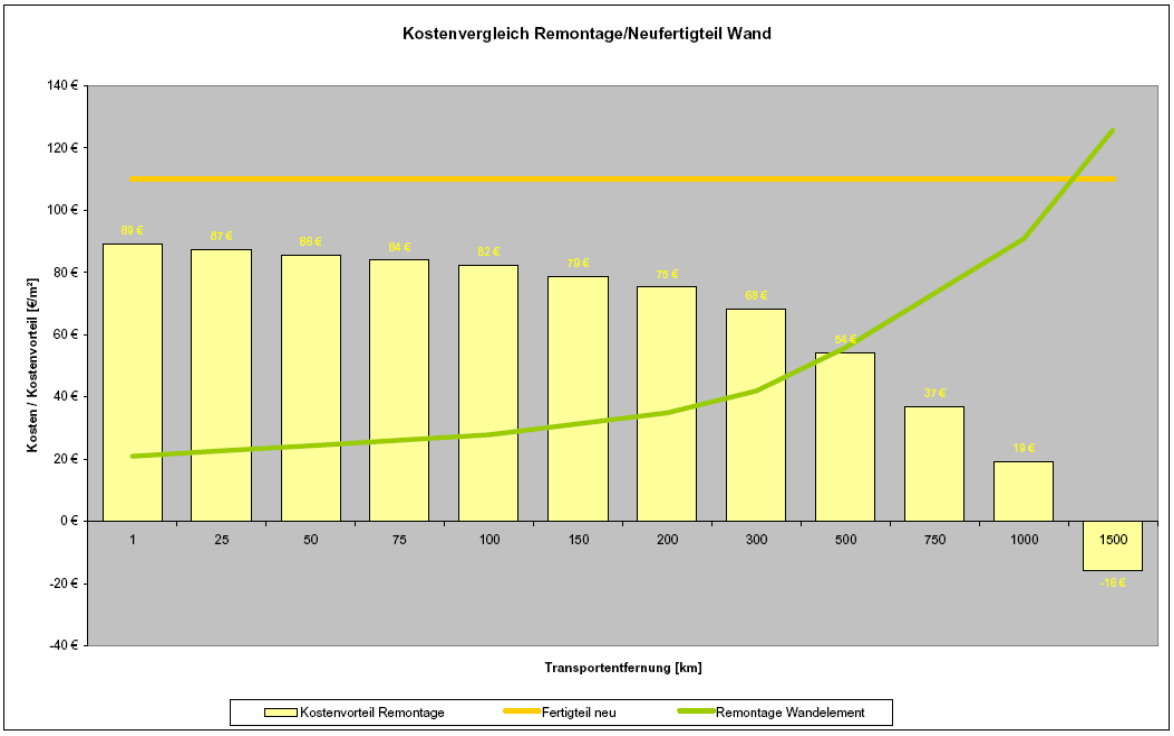


Abb. 143 : Vergleich der Kosten für die Montage von neuen Wandelementen mit den Remontagekosten sekundärer Bauteile in Abhängigkeit der Transportentfernung

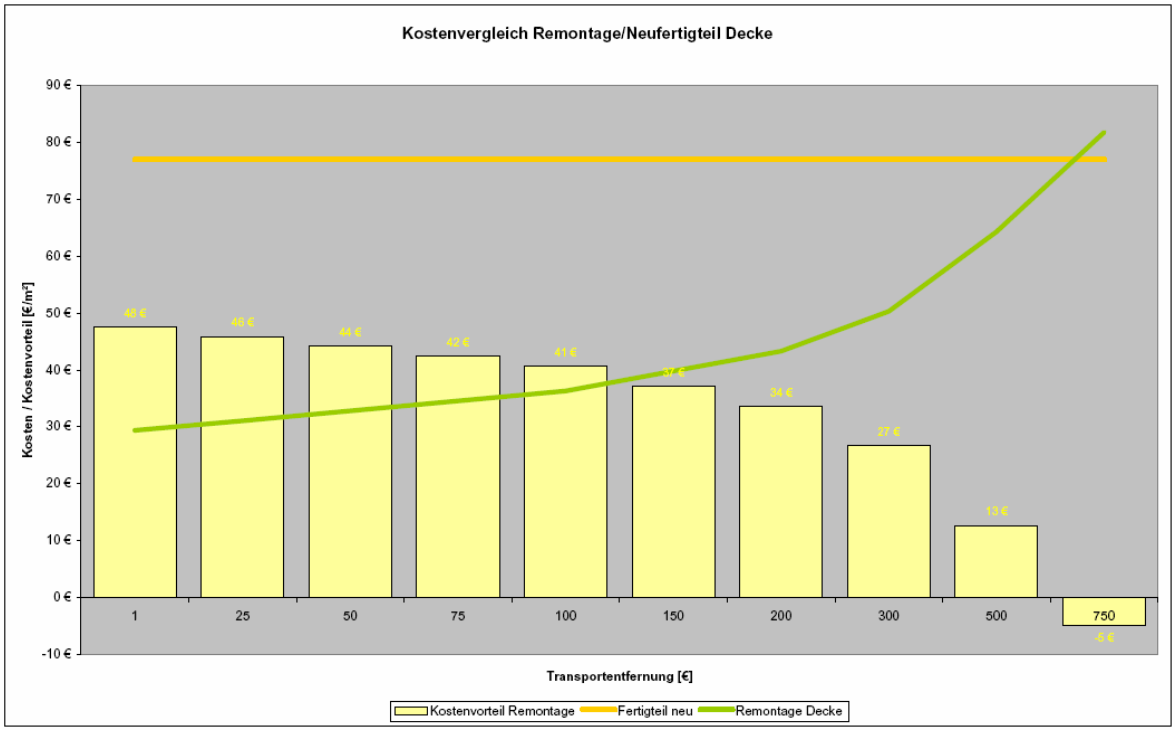


Abb. 144 : Vergleich der Kosten für die Montage von neuen Deckenelementen mit den Remontagekosten sekundärer Bauteile in Abhängigkeit der Transportentfernung

Es zeigt sich, dass bei einer Transportstrecke der sekundären Bauteile über 100 km immer noch 82 €/m² Wandfläche und 41 €/m² Deckenfläche gegenüber der Verwendung von Neubauteilen eingespart werden können. Der Break-even-Point für die Transportentfernung liegt für sekundäre Wandbauteile somit bei ca. 1.275 km für Deckenplatten bei ca. 680 km. Ab dieser Entfernung ist der Einsatz neuer Betonbauteile günstiger als die Wiederverwendung ohne Berücksichtigung evtl. Übernahmekosten und zusätzlicher Aufarbeitungsmaßnahmen für die Altbetonelemente.

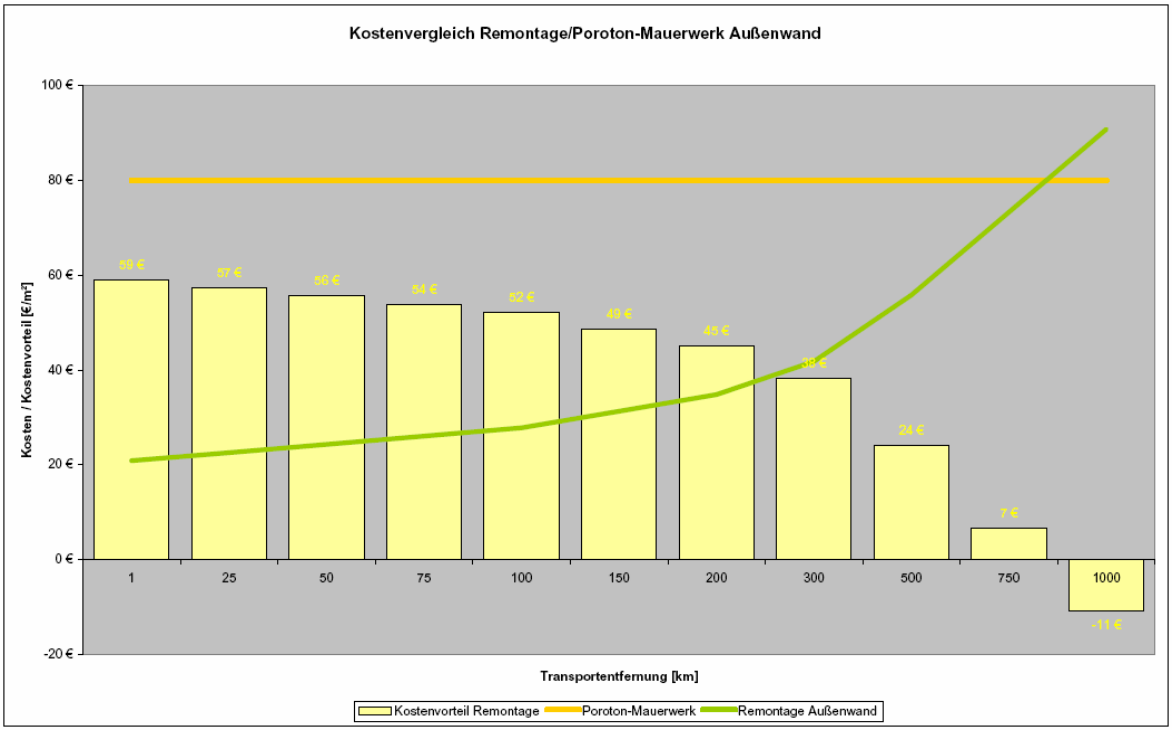


Abb. 145 : Vergleich der Außenwandausführung in Poroton-Mauerwerk mit den Remontagekosten sekundärer Bauteile in Abhängigkeit der Transportentfernung

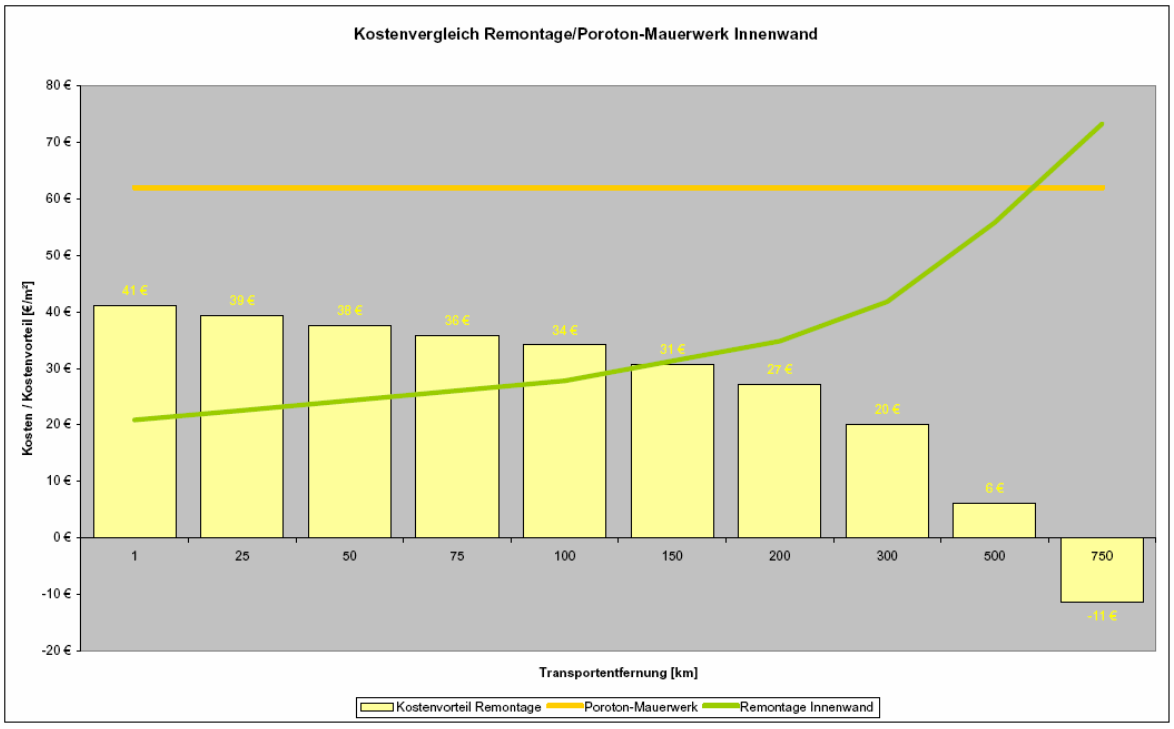


Abb. 146 : Vergleich der Innenwandausführung in Poroton-Mauerwerk mit den Remontagekosten sekundärer Bauteile in Abhängigkeit der Transportentfernung

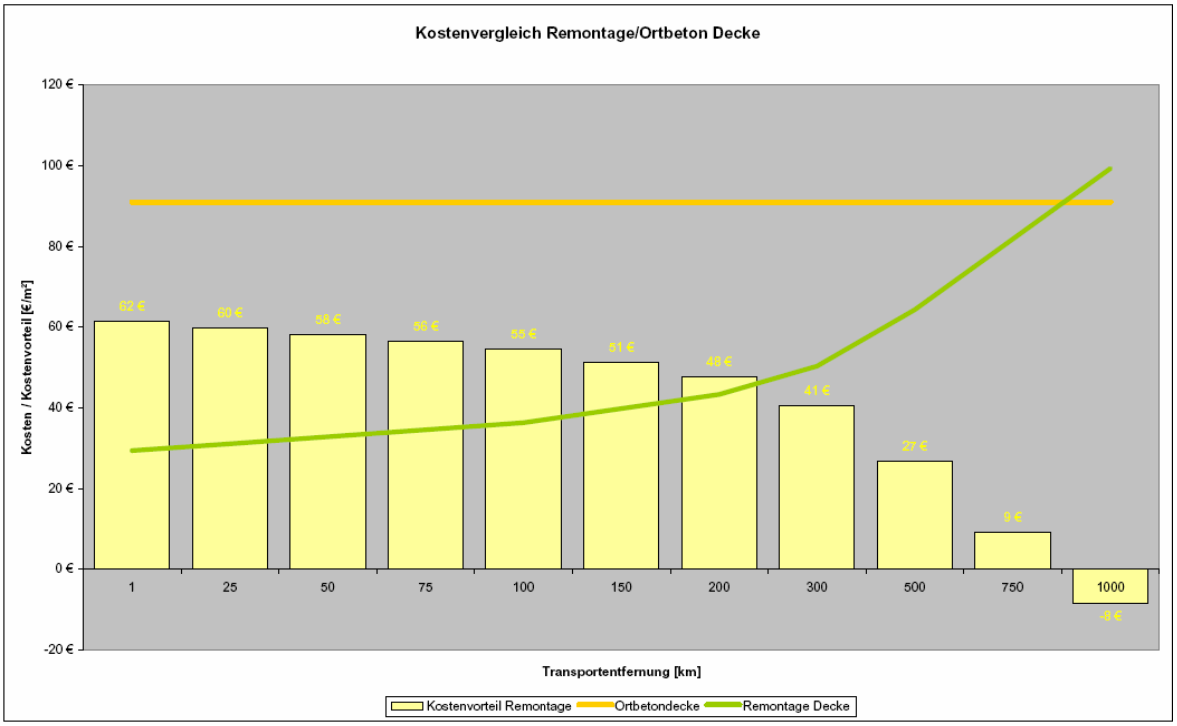


Abb. 147 : Vergleich der Deckenausführung in Ortbeton mit den Remontagekosten sekundärer Bauteile in Abhängigkeit der Transportentfernung

Der Break-even-Point der Transportentfernung für die Verwendung von Altbetonelementen gegenüber der Außenwandausführung in Poroton-Mauerwerk liegt bei 845 km, für Innenwände bei 588 km. Die Ausführung der Deckenplatte in Ortbeton ist gegenüber der Wiederverwendung von sekundären deckenplatten erst ab einer Transportentfernung von über 881 km rentabel. Die Kosteneinsparung bei 100 km Transportweg liegen dabei für Außenwände bei 52 €/m², für Innenwände bei 34 €/m² und für Deckenplatten bei 55 €/m². Bei dieser Vergleichsrechnung bleiben die notwendigen Innen- und Außenputze auf dem Poroton-Mauerwerk vernachlässigt.

Es zeigt sich, dass die Wiederverwendung sekundärer Betonbauteile auch bei großen Transportentfernungen einen deutlichen Kostenvorteil aufweist. Anders betrachtet, bietet dieser Vorteil bei kleineren Transportstrecken die Option verwendete Altbetonelemente mit geometrischen Veränderungen, Oberflächenbehandlungen und anderen Bauteilaufarbeitungsmethoden noch vielfältiger einsetzen zu können ohne den finanziellen Vorteil gegenüber herkömmlichen Bauweisen zu verlieren.

In wie weit sich der Einsatz sekundärer Betonbauteile auf die Gesamtkosten des Rohbaus auswirken, ist abhängig von der Gesamtgröße und -ausführung des Bauvorhabens, dem Anteil wiederverwendeter Elemente an der Gesamtwand- und -deckenfläche, den gewählten konstruktiven Lösungen und den erforderlichen Aufarbeitungsgrad der Sekundärbauteile. Eine Verallgemeinerung zu den Rohbaukosteneinsparungen durch die Wiederverwendung kann auf Grund dieser vielfältigen Einflüsse und Möglichkeiten nicht gegeben werden. Nachfolgend werden daher nur ein paar ausgewählte Rohbaukosten von bereits in Abschn. 6 vorgestellten Fallbeispielen vergleichend dargestellt.

Als Konsequenz ergibt sich, dass Wiederverwendungsprojekte unter dem Aspekt des kostengünstigen, nachhaltigen Bauens zu entwickeln sind.

7.9 Kostenvergleiche von Fallbeispielen

Der Tab. 62 können Wiederneubaupreise zu bereits in Abschn. 6 aufgeführten Praxisbeispielen entnommen werden. Daraus ist ersichtlich, dass eine Verallgemeinerung der Angaben bzgl. der entstandenen Kosten nicht möglich ist. Allein die unterschiedlichen Einflussfaktoren, wie z.B. der Wiederverwendungsgrad, durchzuführende Schneidarbeiten an Altbetonelementen, die Größe und Anzahl der/des zu errichtenden Gebäude/s, architektonische Gestaltung, konstruktive Lösungen, ausführende Baufirma sowie der Anteil an Eigenleistung des Bauherren beeinflussen die Höhe der Kosten.

Tab. 62: Ermittelte Wiederneubaukosten je Quadratmeter Wohnfläche an untersuchten Fallbeispielen

Baujahr	Ort	Haustyp / Wohnfläche / wiederverwendete Bauteile	Kosten je m² Wohnfläche (Rohbau)	Kosten je m² Wohnfläche (Schlüsselfertig)	Kostenersparnis gegenüber konventioneller Bauweise
1999	Eggesin	Doppelhaus / 113 m² Wfl. / 16 Wandelemente	**284 €/m²**		**ca. 15 %**
2001	Bröthen	Zweifamilienhaus / 141 m² Wfl. / 26 Wandelemente, 50 Deckenplatten		**1,279 €/m²**	**k.A.**
2000/01	Cottbus	Mehrfamilienhäuser (13 WE) / 1.050 m² Wfl. / 274 Betonfertigteile	**84 €/m²**	**1.149 €/m²**	**ca. 20 %**
2005	Mehrow	Einfamilienhaus / 212 m² Wfl. / 22 Wandelemente/ 27 Deckenplatten		**840 €/m²**	**ca. 15 %**
2006	Plauen	Einfamilienhaus / 122 m² Wfl. / 17 Wandelemente, 1 Treppenelement, 15 Deckenplatten		**1.043 €/m²**	**k.A.**
2006	Leinefelde	Einfamilienhaus / 106 m² Wfl. / 19 Wandelemente, 26 Deckenplatten	**472 €/m²**		**ca. 10 %**
2007	Mühlhausen	Mehrfamilienhaus / 248 m² Wfl. / 28 Wandelemente,7 Treppenelemente, 23 Deckenplatten	**452 €/m²**		**ca. 30 %**
2007	Brielow	Einfamilienhaus / 98 und 177 m² Wfl./ Deckenplatten, Innenwände u.a.	**620/ 510 €/m²** (Ausbauhaus)	**855 / 720€/m²**	**k.A.**

7.9.1 Einfamilienhaus / Generationenhaus[227]

Um die prozentuale Einsparung beim Einsatz von P2- Betonelementen aufzuzeigen, wurde eine Kostenschätzung des Gebäudes in seinen zwei Varianten, jeweils in konventioneller Bauweise und mit dem Einsatz von P2- Betonelementen, in der Kostengruppe 300 durchgeführt. Als Quelle wurden das BKI Baukosten 2006, Teil 2, das Leistungsverzeichnis für die Entwurfsplanung der Fachgruppe Bauliches Recycling eines Bürogebäudes in Boxberg sowie die Diplomarbeit von LÜDTKE[228] verwendet.

[227] siehe Abschnitt 6.1.5.1.
[228] Lüdtke, Moritz: Kostenuntersuchungen zum Einsatz von Altbetonelementen anhand eines Referenzprojektes, Diplomarbeit, Fachgruppe Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, 2007.

Die konventionelle Bauweise sieht die tragenden Außenwände als Mauerwerkswand aus Poroton-Ziegeln (d = 36,5 cm), die nicht tragenden Außenwände als Kalksandsteinwand (d = 11,5 cm) und die Decke als Deckenplatten aus Ortbeton B 25 vor. [229]

Die Einzelpreise der Plattenbauelemente setzen sich aus dem Abgabepreis[230], den Transportkosten[231], den Prüfkosten[232] und den Remontagekosten[233] der Elemente zusammen. Um die Kosten für die Wände und Decken aus P2- Elementen mit den Kostengruppen der konventionellen Bauweise vergleichbar zu machen, wurde der Gesamtpreis der P2- Elemente als Kosten pro Elementefläche umgerechnet.

Die prozentuale Einsparung beim Einsatz von P2- Betonelementen liegt bei Variante 1 bei 20% (s. Tab. 63), je nach dem, welche Entfernung für den Transport der Elemente zugrunde gelegt wird. Bei einem Bauvolumen von 1.190 m³ u.R. und einer Gesamtsumme von 276.880,79 € belaufen sich die Einsparungen auf 54 594,84€. Das stellt eine Einsparung von 271,17 €/m² Wohnfläche dar.

Bei Variante 2 ist aufgrund des kleineren Bauvolumens von 994 m³ nur eine Einsparung zwischen 17,5 % und 18 % möglich (s. Tab. 64), dies sind 43.327,01 €, was allerdings eine Einsparung von 288,33 €/m² Wohnfläche bedeutet.

Die größten Einsparungen mit 35,23 % (34,43 % Var.2) und 34,47 % (32,74 % Var.2) sind durch den Einsatz der Altbetoninnenwände und der Altbetondeckenplatten erzielt worden. Mit den P2- Außenwandelementen lassen sich 16,07 % (14,69 % Var.2) gegenüber der konventionellen Baukosten einsparen.

Ein in der Kostenschätzung nicht berücksichtigter Punkt ist die Verkürzung der Bauzeit durch den Einsatz von Betonfertigteilen. Durch das kürzere Vorhalten der Baustelle und den früheren Bezug des Gebäudes wird die prozentuale Einsparung gegenüber der konventionellen Bauweise steigen.

[229] nach: BKI Baukostenkatalog 2006, Teil 2, Stuttgart 2006.
[230] Lüdtke, M.: Kostenuntersuchungen zum Einsatz von Altbetonelementen anhand eines Referenzprojektes, Diplomarbeit, Fachgruppe Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, 2007.
[231] ebenda.
[232] Mettke, A.; Asmus, S.: Entwurfsplanung – Bau eines Bürogebäudes unter Verwendung gebrauchter P2-Betonfertigteile im Boxberg, BTU Cottbus, Jan. 2006.
[233] ebenda.

Tab. 63: Kostenschätzung Rohbau Einfamilien-/Generationenhaus Variante 1

Kostenschätzung Rohbau Variante 1
Herstellung aus konventioneller Bauweise und ausgewählten P2- Betonelementen (nach BKI, Baukosten 2006, Teil 2)

KG	Bezeichnung	Menge	konventionelle Bauweise Var.1 EP - €/Einheit	konventionelle Bauweise Var.1 GP - €	Menge konventionelle Bauweise	konventionelle Bauweise Var.1 GP - €	Menge P2-Beton-elemente	Plattenbau-elemente, Transport 100km (25km), Var.1 EP - €/Einheit	Plattenbau-elemente, Transport 100km, Var.1 GP - €	Prozentuale Einsparung gegenüber konventioneller Bauweise, Transport 100km, Var.1	Plattenbau-elemente, Transport 25km, Var.1 GP - €	Prozentuale Einsparung gegenüber konventioneller Bauweise, Transport 25km, Var.1
300	**Bauwerk - Baukonstruktion**			**240.765,90 €**					**193.292,13 €**	**19,72 %**	**192.204,34 €**	**20,17 %**
310	**Baugrube**			**13.209,00 €**					**13.209,00 €**	**0,00 %**	**13.209,00 €**	**0,00 %**
311	Baugrubenherstellung, unterkellert	629,00 m³	21,00 €	13.209,00 €	629,00 m³	13.209,00 €						
320	**Gründung**			**17.154,40 €**					**17.154,40 €**	**0,00 %**	**17.154,40 €**	**0,00 %**
322	Flachgründung	134,00 m²	37,00 €	4.958,00 €	134,00 m²	4.958,00 €						
324	Bodenplatte	134,00 m²	35,00 €	4.690,00 €	134,00 m²	4.690,00 €						
325	Bodenbeläge	111,00 m²	50,00 €	5.550,00 €	111,00 m²	5.550,00 €						
326	Bauwerksabdichtungen	134,00 m²	8,70 €	1.165,80 €	134,00 m²	1.165,80 €						
327	Dränagen	134,00 m²	5,90 €	790,60 €	134,00 m²	790,60 €						
330	**Außenwände**			**96.528,50 €**					**81.019,02 €**	**16,07 %**	**80.631,42 €**	**16,47 %**
331	Tragende Außenwände Mauerwerkswand Poroton, d=36,5cm, Mörtelgruppe II	204,00 m²	100,00 €	20.400,00 €	83,00 m²	8.300,00 €	121,00 m²	27,63 € (25,73 €)	3.343,23 €		3.113,33 €	
332	Nichttragende Außenwände Kalksandsteinwand d=11,5cm	146,00 m²	58,00 €	8.468,00 €	63,00 m²	3.654,00 €	83,00 m²	27,63 € (25,73 €)	2.293,29 €		2.135,59 €	
334	Außentüren- und Fenster	90,00 m²	370,00 €	33.300,00 €	90,00 m²	33.300,00 €						
335	Außenwandbekleidung außen Wärmedämmendes Putzverbundsystem mit Mineralfaserdämmung d=80mm, Oberputz mit Unterputz mineralisch gebunden, Mineralfarbanstrich	365,00 m²	65,00 €	23.725,00 €	365,00 m²	23.725,00 €						
336	Außenwandbekleidung innen Gipsputz, einlagig d=15mm als Maschinenputz, Eckschutzschienen, Raufasertapete, Dispersionsanstrich	318,00 m²	23,00 €	7.314,00 €	134,00 m²	3.082,00 €						
339	Außenwände, sonstiges	365,00 m²	9,10 €	3.321,50 €	365,00 m²	3.321,50 €						
340	**Innenwände**			**30.010,20 €**					**19.436,37 €**	**35,23 %**	**19.134,27 €**	**36,24 %**
341	Tragende Innenwände Kalksandsteinwand KSL, d=24cm; Stürze für Öffnungen; waagrechte Mauerwerksabdichtung G 200 DD	47,00 m²	81,00 €	3.807,00 €	1,00 m²	81,00 €	46,00 m²	27,63 € (25,73 €)	1.270,98 €		1.183,58 €	
342	Nichttragende Innenwände, Kalksandsteinmauerwerk, d=11,5cm, Fertigstürze	192,00 m²	45,00 €	8.640,00 €	79,00 m²	3.555,00 €	113,00 m²	27,63 € (25,73 €)	3.122,19 €		2.907,49 €	
343	Innenstütze	8,00 m	52,00 €	416,00 €	8,00 m	416,00 €						
344	Innentüren	28,00 m²	230,00 €	6.440,00 €	28,00 m²	6.440,00 €						
345	Innenwandbekleidung Innenwandputz 2-lagig, Vorbereitung des Putzgrundes, Eckschutzschienen	478,00 m²	18,00 €	8.604,00 €	136,00 m²	2.448,00 €						
349	Innenwände, sonstiges	239,00 m²	8,80 €	2.103,20 €	239,00 m²	2.103,20 €						
350	**Decken**			**62.056,00 €**					**40.665,54 €**	**34,47 %**	**40.267,45 €**	**35,11 %**
351	Deckenkonstruktionen Deckenplatten aus Ortbeton B 25, Schalung, Bewehrung und Unterzüge, d=18-20cm	376,00 m²	91,00 €	34.216,00 €	46,00 m²	4.186,00 €	329,00 m²	26,26 € (25,05 €)	8.639,54 €		8.241,45 €	
352	Deckenbeläge	201,00 m²	66,00 €	13.266,00 €	201,00 m²	13.266,00 €						
353	Deckenbekleidungen	201,00 m²	22,00 €	4.422,00 €	201,00 m²	4.422,00 €						
359	Decken, sonstiges	376,00 m²	27,00 €	10.152,00 €	376,00 m²	10.152,00 €						
360	**Dächer**			**18.926,90 €**					**18.926,90 €**	**0,00 %**	**18.926,90 €**	**0,00 %**
361	Dachkonstruktionen	134,00 m²	48,00 €	6.432,00 €	134,00 m²	6.432,00 €						
363	Dachbeläge	135,00 m²	60,00 €	8.100,00 €	135,00 m²	8.100,00 €						
364	Dachbekleidung	112,00 m²	33,00 €	3.696,00 €	112,00 m²	3.696,00 €						
369	Dächer, sonstiges	241,00 m²	2,90 €	698,90 €	241,00 m²	698,90 €						
390	**Sonstige Kosten**			**2.880,90 €**					**2.880,90 €**	**0,00 %**	**2.880,90 €**	**0,00 %**
391	Baustelleneinrichtung	297,00 m²	7,60 €	2.257,20 €	297,00 m²	2.257,20 €						
392	Gerüste	297,00 m²	2,10 €	623,70 €	297,00 m²	623,70 €						
700	**Baunebenkosten**	**15,00 %**	**240.765,90 €**	**36.114,89 €**	**15,00 %**	**193.292,13 €**			**28.993,82 €**	**19,72 %**	**28.830,65 €**	**20,17 %**
	Gesamtsumme	**1.190,00 m²**		**276.880,79 €**	**1.190,00 m²**				**222.285,95 €**	**19,72 %**	**221.034,99 €**	**20,17 %**

Tab. 64: Kostenschätzung Rohbau Einfamilien-/Generationenhaus Variante 2

Kostenschätzung Rohbau Variante 2
Herstellung aus konventioneller Bauweise und ausgewählten P2- Betonelementen (nach BKI, Baukosten 2006, Teil 2)

KG	Bezeichnung	Menge	konventionelle Bauweise Var.2 EP - €/Einheit	konventionelle Bauweise Var.2 GP - €	Menge konventionelle Bauweise	konventionelle Bauweise Var.2 GP - €	Menge P2-Beton-elemente	Plattenbau-elemente, Transport 100km (25km), Var.2 EP - €/Einheit	Plattenbau-elemente, Transport 100km, Var.1 GP - €	Prozentuale Einsparung gegenüber konventioneller Bauweise, Transport 100km, Var.2	Plattenbau-elemente, Transport 25km, Var.2 GP - €	Prozentuale Einsparung gegenüber konventioneller Bauweise, Transport 25km, Var.2
300	**Bauwerk - Baukonstruktion**			**209.796,80 €**					**173.021,65 €**	**17,53 %**	**172.121,14 €**	**17,96 %**
310	**Baugrube**			**13.209,00 €**					**13.209,00 €**	**0,00 %**	**13.209,00 €**	**0,00 %**
311	Baugrubenherstellung, unterkellert	629,00 m³	21,00 €	13.209,00 €	629,00 m³	13.209,00 €						
320	**Gründung**			**17.154,40 €**					**17.154,40 €**	**0,00 %**	**17.154,40 €**	**0,00 %**
322	Flachgründung	134,00 m²	37,00 €	4.958,00 €	134,00 m²	4.958,00 €						
324	Bodenplatte	134,00 m²	35,00 €	4.690,00 €	134,00 m²	4.690,00 €						
325	Bodenbeläge	111,00 m²	50,00 €	5.550,00 €	111,00 m²	5.550,00 €						
326	Bauwerksabdichtungen	134,00 m²	8,70 €	1.165,80 €	134,00 m²	1.165,80 €						
327	Dränagen	134,00 m²	5,90 €	790,60 €	134,00 m²	790,60 €						
330	**Außenwände**			**84.456,20 €**					**72.046,70 €**	**14,69 %**	**71.765,27 €**	**15,03 %**
331	Tragende Außenwände Mauerwerkswand Poroton, d=36,5cm, Mörtelgruppe II	186,00 m²	100,00 €	18.600,00 €	84,00 m²	8.400,00 €	102,00 m²	26,50 € (24,73 €)	2.703,00 €		2.522,46 €	
332	Nichttragende Außenwände Kalksandsteinwand d=11,5cm	121,00 m²	58,00 €	7.018,00 €	63,00 m²	3.654,00 €	57,00 m²	26,50 € (24,73 €)	1.510,50 €		1.409,81 €	
334	Außentüren- und Fenster	78,00 m²	370,00 €	28.860,00 €	78,00 m²	28.860,00 €						
335	Außenwandbekleidung außen Wärmedämmendes Putzverbundsystem mit Mineralfaserdämmung d=80mm, Oberputz mit Unterputz mineralisch gebunden, Mineralfarbanstrich	322,00 m²	65,00 €	20.930,00 €	322,00 m²	20.930,00 €						
336	Außenwandbekleidung innen Gipsputz, einlagig d=15mm als Maschinenputz, Eckschutzschienen, Raufasertapete, Dispersionsanstrich	266,00 m²	23,00 €	6.118,00 €	133,00 m²	3.059,00 €						
339	Außenwände, sonstiges	322,00 m²	9,10 €	2.930,20 €	322,00 m²	2.930,20 €						
340	**Innenwände**			**24.333,40 €**					**15.955,40 €**	**34,43 %**	**15.735,92 €**	**35,33 %**
341	Tragende Innenwände Kalksandsteinwand KSL, d=24cm; Stürze für Öffnungen; waagrechte Mauerwerksabdichtung G 200 DD	36,00 m²	81,00 €	2.916,00 €	1,00 m²	81,00 €	35,00 m²	26,50 € (24,73 €)	927,50 €		865,55 €	
342	Nichttragende Innenwände, Kalksandsteinmauerwerk, d=11,5cm, Fertigstürze	157,00 m²	45,00 €	7.065,00 €	68,00 m²	3.060,00 €	89,00 m²	26,50 € (24,73 €)	2.358,50 €		2.200,97 €	
343	Innenstütze	8,00 m	52,00 €	416,00 €	8,00 m	416,00 €						
344	Innentüren	23,00 m²	230,00 €	5.290,00 €	23,00 m²	5.290,00 €						
345	Innenwandbekleidung Innenwandputz 2-lagig, Vorbereitung des Putzgrundes, Eckschutzschienen	386,00 m²	18,00 €	6.948,00 €	118,00 m²	2.124,00 €						
349	Innenwände, sonstiges	193,00 m²	8,80 €	1.698,40 €	193,00 m²	1.698,40 €						
350	**Decken**			**48.836,00 €**					**32.848,35 €**	**32,74 %**	**32.448,75 €**	**33,56 %**
351	Deckenkonstruktionen Deckenplatten aus Ortbeton B 25, Schalung, Bewehrung und Unterzüge, d=18-20cm	302,00 m²	91,00 €	27.482,00 €	45,00 m²	4.095,00 €	135,00 m²	54,81 € (51,65 €)	7.399,35 €		6.999,75 €	
352	Deckenbeläge	150,00 m²	66,00 €	9.900,00 €	150,00 m²	9.900,00 €						
353	Deckenbekleidungen	150,00 m²	22,00 €	3.300,00 €	150,00 m²	3.300,00 €						
359	Decken, sonstiges	302,00 m²	27,00 €	8.154,00 €	302,00 m²	8.154,00 €						
360	**Dächer**			**18.926,90 €**					**18.926,90 €**	**0,00 %**	**18.926,90 €**	**0,00 %**
361	Dachkonstruktionen	134,00 m²	48,00 €	6.432,00 €	134,00 m²	6.432,00 €						
363	Dachbeläge	135,00 m²	60,00 €	8.100,00 €	135,00 m²	8.100,00 €						
364	Dachbekleidung	112,00 m²	33,00 €	3.696,00 €	112,00 m²	3.696,00 €						
369	Dächer, sonstiges	241,00 m²	2,90 €	698,90 €	241,00 m²	698,90 €						
390	**Sonstige Kosten**			**2.880,90 €**					**2.880,90 €**	**0,00 %**	**2.880,90 €**	**0,00 %**
391	Baustelleneinrichtung	297,00 m²	7,60 €	2.257,20 €	297,00 m²	2.257,20 €						
392	Gerüste	297,00 m²	2,10 €	623,70 €	297,00 m²	623,70 €						
700	**Baunebenkosten**	**15,00 %**	**209.796,80 €**	**31.469,52 €**	**15,00 %**	**173.021,65 €**			**25.953,25 €**	**17,53 %**	**25.818,17 €**	**17,96 %**
	Gesamtsumme	**994,00 m²**		**241.266,32 €**	**994,00 m²**				**198.974,90 €**	**17,53 %**	**197.939,31 €**	**17,96 %**

7.9.2 Vereinshaus Kolkwitz[234]

Die Planung und Kalkulation des Vereinshauses Kolkwitz erfolgte in enger Zusammenarbeit der FG Bauliches Recycling mit dem Ingenieurbüro Jähne und Göpfert, Cottbus. Dabei wurden nachfolgend zusammengefasste Vergleichskalkulationen der Wiederverwendung sekundärer Bauteile und konventioneller Bauweise erstellt.

Tab. 65: Kostenvergleich der konventionelle Bauart und der Remontage von Plattenbauelemente – Vereinshaus Kolkwitz[235]

KG	Bezeichnung	konventionelle Bauweise	Plattenbau-elemente
		1 GP - €	GP - €
300	**Bauwerk – Baukonstruktion**		
310	**Baugrube**		
	Baugrubenaushub BK 3-5/Hinterfüllung	4.200,00	4.200,00
320	**Gründung**		
	Kiessauberkeitsschicht, d=20cm Streifenfundament B25, Bodenplatte B 25 Bitumenschweißbahn; Wärmedämmung Zementestrich	47.000,00	47.000,00
330	**Außenwände**		
	Tragende Außenwände; Poroton-Mauerwerk, d=24 cm; Mörtelgruppe II	16.820,00	
331	Tragende Außenwände; Aufarbeitung und Remontage Außenwandplatten		2.541,00
335	Außenwandbekleidung außen	9.000,00	9.000,00
336	Außenwandbekleidung innen	2.320,00	2.320,00
340	**Innenwände**		
341	Tragende Innenwände; Poroton-Mauerwerk, d=24cm; Mörtelgruppe II	7.560,00	
341	Tragende Innenwände; Aufarbeitung und Remontage Innenwandplatten		2.904,00
345	Innenwandbekleidungenen; Innenwandputz; zweilagig	2.160,00	2.160,00
360	**Dächer**		
361	Dachkonstruktion; Filigrandecke B 25, 4 + 10 cm Außenbeton aus Normalbeton	25.850,00	
361	Dachkonstruktion; Aufarbeitung und Remontage Deckenplatten		6.680,00
363	Dachdeckung mit Dämmung	28.200,00	28.200,00
390	**Sonstige Kosten**		
	Kran zur Montage der Deckenplatten	750,00	
	Anlieferung Plattenelemente mit Verladen		3.500,00
	Gesamtsumme KG 300	**147.780,00**	**108.505,00**
700	**Baunebenkosten 15 % aus Baukosten**	22.167,00	16.275,75
	Gesamtsumme netto:	**169.947,00**	**124.780,75**
	zuzügl. 16 % Mehrwertsteuer:	**27.191,52**	**19.964,92**
Gesamtsumme brutto:		**197.138,52**	**144.745,67**

[234] siehe Abschnitt 6.2.3
[235] Strothotte, J.: Vereinshaus Kolkwitzer Sportverein – Entwurf für ein Vereinshaus mit remontierten Plattenbauelementen, Studienarbeit, FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, Febr. 2006.

Durch die Verwendung von Altbetonbauteilen zur Errichtung des Vereinshauses für den Kolkwitzer Sportverein 1896 e.V. können gegenüber der konventionellen Bauausführung in Mauerwerk ca. 27 % der Rohbaukosten gespart werden.

7.9.3 Bürogebäude[236]

In den nachfolgenden Tabellen werden anhand von 4 Varianten die Kosten für die Bauausführung des Bürogebäudes gegenübergestellt.[237]

Die Kostenberechnung basiert auf der Kostengliederung nach DIN 276. Verglichen werden ausschließlich die Rohbaukosten, um eine Vergleichbarkeit zu gewähren. Dabei beschränkt sich die Untersuchung auf die Kostengruppe 300 (Bauwerk - Baukonstruktionen). Die Bauteilöffnungen (Türen und Fenster) werden nicht berücksichtigt. Alle angegebenen Kostenwerte enthalten die damals geltende Mehrwertsteuer von 16 % sowie anteilige Kosten der Baustelleneinrichtung. Die Baunebenkosten (Architektenhonorare, Gebühren usw.) sind in der KG 700 gemäß HOAI angesetzt.

Tab. 66: Variante 1 – Poroton- und Ziegelmauerwerk, Stahlbetonfertigteildecke

Kostenschätzung Herstellung konventionell (Mauerwerk) mit Stahlbetondecke (nach BKI)					
KG	**Kostengruppe**	**Menge**	**Einheit**	**€ / Einheit**	**Kosten €**
300	**Bauwerk - Baukonstruktion**				
310	**Baugrube**				
	Baugrubenaushub BK 3-5; Hinterfüllung	130	m³	10,00	**1.300,00**
320	**Gründung**				
	Kiessauberkeitsschicht d=20cm; Stb-Streifenfundament B25; Bodenplatte B 25, d=25cm; Bitumenschweißbahn; Wärmedämmung; Zementestrich	106	m²	100,00	**10.600,00**
330	**Außenwände**				
	Tragende Außenwände Poroton-Mauerwerk, d = 24-30cm, MG II	119,6	m²	61,00	**7.296,00**
335	Außenwandbekleidung außen Zementaußenputz, 2-lagig, Schutzschienen	125	m²	36,00	**4.500,00**
336	Außenwandbekleidung innen Maschinenputz, 2-lagig mit Anstrich	115	m²	24,00	**2.760,00**
340	**Innenwände**				
341	Tragende Innenwände Ziegelmauerwerk mit Stürzen, teils mit Fertigstürzen, Teilbereiche mit Horizontalsperre, d=24-30 cm	94,8	m²	60,00	**5.688,00**
345	Innenwandbekleidungen Innenwandputz; 2-lagig, Vorbereitung des Putzgrundes, Eckschutzschutzschienen	190	m²	15,00	**2.850,00**
342	Nichttragende Innenwände Gipswandplattenwände, d=8-10cm, beidseitig malerfertig verspachtelt	32,6	m²	47,00	**1.532,00**
360	**Dächer**				
361	Dachkonstruktion Stahlbeton-Deckenplatten als Fertigteile oder als teilelementierte Decken	106	m²	74,00	**7.844,00**
390	**Sonstige Kosten**				
	Kran zur Montage der Deckenplatten	pauschal		300,00	**300,00**

[236] Siehe Abschnitt 6.2.4.
[237] Mettke, A.; Asmus, S.: Entwurfsplanung – Bau eines Bürogebäudes unter Verwendung gebrauchter P2-Betonfertigteile im Boxberg, BTU Cottbus, 2006.

	Gesamtsumme KG 300				**44.670,00**
700	**Baunebenkosten 15 % aus Baukosten**	15	%	44.670,00	6.701,00
Gesamtsumme:					**€ 51.371,00**

Tab. 67: Variante 2 – Stahlbetonfertigteilwände, Stahlbetonfertigteildecke

Kostenschätzung Herstellung mit neuen Betonfertigteilwänden, Mauerwerk und Stahlbetondecke (nach BKI)					
KG	**Kostengruppe**	**Menge**	**Einheit**	**€ / Einheit**	**Kosten €**
300	**Bauwerk - Baukonstruktion**				
310	**Baugrube**				
	Baugrubenaushub BK 3-5; Hinterfüllung	130	m³	10,00	**1.300,00**
320	**Gründung**				
	Kiessauberkeitsschicht d=20cm; Stb-Streifenfundament B25; Bodenplatte B 25, d=25cm; Bitumenschweißbahn; Wärmedämmung; Zementestrich	106	m²	100,00	**10.600,00**
330	**Außenwände**				
331	Tragende Außenwände Betonfertigteil-Wände, d = 16-30cm	119,6	m²	110,00	**13.156,00**
335	Außenwandbekleidung außen Zementaußenputz, 2-lagig, Schutzschienen	125	m²	36,00	**4.500,00**
336	Außenwandbekleidung innen Maschinenputz, 2-lagig mit Anstrich	115	m²	24,00	**2.760,00**
340	**Innenwände**				
341	Tragende Innenwände Kalksandsteinwand KSL d=24cm; Stürze für Öffnungen; waagerechte Mauerwerksabdichtung G 200 DD	94,8	m²	110,00	**10.428,00**
345	Innenwandbekleidungen Innenwandputz; 2-lagig, Vorbereitung des Putzgrundes, Eckschutzschutzschienen	190	m²	15,00	**2.850,00**
342	Nichttragende Innenwände Kalksandsteinmauerwerk, d=11,5cm, Fertigteilstürze	32,6	m²	61,00	**1.989,00**
345	Innenwandbekleidungen Innenwandputz; zweilagig	66	m²	15,00	**990,00**
360	**Dächer**				
361	Dachkonstruktion Stahlbeton-Deckenplatten als Fertigteile oder als teilelementierte Decken	106	m²	74,00	**7.844,00**
390	**Sonstige Kosten**				
	Kran zur Montage der Deckenplatten	pauschal		300,00	**300,00**
	Gesamtsumme KG 300				**56.717,00**
700	**Baunebenkosten 15 % aus Baukosten**	15	%	56.717,00	8.508,00
Gesamtsumme:					**€ 65.225,00**

Tab. 68: Variante 3 –Leichthohlloch- und Ziegelmauerwerk, Ortbetondecke

Kostenschätzung Herstellung konventionell (Mauerwerk) mit Ortbeton-Deckenplatte (nach BKI)					
KG	**Kostengruppe**	**Menge**	**Einheit**	**€ / Einheit**	**Kosten €**
300	**Bauwerk - Baukonstruktion**				
310	**Baugrube**				
	Baugrubenaushub BK 3-5; Hinterfüllung	130	m³	10,00	**1.300,00**
320	**Gründung**				
	Kiessauberkeitsschicht d=20cm; Stb-Streifenfundament B25; Bodenplatte B 25, d=25cm; Bitumenschweißbahn; Wärmedämmung; Zementestrich	106	m²	100,00	**10.600,00**
330	**Außenwände**				
	Tragende Außenwände Leichthohllochziegel, d=30-36,5cm, einschließlich Öffnungen und Aussparungen	119,6	m²	76,00	**9.090,00**
335	Außenwandbekleidung außen Zementaußenputz, 2-lagig, Schutzschienen	125	m²	36,00	**4.500,00**
336	Außenwandbekleidung innen Maschinenputz, 2-lagig mit Anstrich	115	m²	24,00	**2.760,00**
340	**Innenwände**				
341	Tragende Innenwände Gasbeton-Plansteine, d=17,5-24cm, Dünnbettmörtelverfahren	94,8	m²	53,00	**5.024,00**
345	Innenwandbekleidungen Innenwandputz; 2-lagig, Vorbereitung des Putzgrundes, Eckschutzschutzschienen	190	m²	15,00	**2.850,00**
342	Nichttragende Innenwände Leichtbauwand, Gipskarton auf Metall, teils Gipswand, Oberflächen malerfertig, schalldämmend R´w>40db, teils feuerhemmend F30	32,6	m²	77,00	**2.510,00**
360	**Dächer**				
361	Dachkonstruktion Deckenplatten aus Ortbeton B25, Schalung und Bewehrung, d=18-30cm	106	m²	100,00	**10.600,00**
	Gesamtsumme KG 300				**49.234,00**
700	**Baunebenkosten 15 % aus Baukosten**	15	%	49.234,00	7.385,00
Gesamtsumme:					**€ 56.619,00**

Tab. 69: Variante 4 – Alt-/RC- Betonfertigteile der Typenserie P2

Kostenschätzung Herstellung unter Verwendung ausgewählte P2-Betonelemente (nach BKI)					
KG	**Kostengruppe**	**Menge**	**Einheit**	**€ / Einheit**	**Kosten €**
300	**Bauwerk - Baukonstruktion**				
310	**Baugrube**				
	Baugrubenaushub BK 3-5; Hinterfüllung	130	m³	10,00	**1.300,00**
320	**Gründung**				
	Kiessauberkeitsschicht d=20cm; Stb-Streifenfundament B25; Bodenplatte B 25, d=25cm; Bitumenschweißbahn; Wärmedämmung; Zementestrich	106	m²	100,00	**10.600,00**
330	**Außenwände**				
	Tragende Außenwände, 290 mm P2-Betonelemente	10	Stk.	0,00	**0,00**

	Tragende Außenwände, Poroton-Mauerwerk, d = 24-30 cm, Mörtel-gruppe II	14,1	m²	61,00	**860,00**
335	Außenwandbekleidung außen Zementaußenputz, 2-lagig, Schutzschienen	125	m²	36,00	**4.500,00**
336	Außenwandbekleidung innen Maschinenputz, 2-lagig mit Anstrich	115	m²	24,00	**2.760,00**
340	**Innenwände**				
	Tragende Innenwände, 150 mm P2-Betonelement	8	Stk.	0,00	**0,00**
341	Tragende Innenwände Betonsteinwände, d=24cm	26,1	m²	52,00	**1.357,00**
345	Innenwandbekleidungen Innenwandputz; 2-lagig, Vorbereitung des Putzgrundes, Eckschutzschutzschienen	190	m²	15,00	**2.850,00**
342	Nichttragende Innenwände Leichtbauwand, Gipskarton auf Metall, teils Gipswand, Oberflächen malerfertig, schall-dämmend R´w>40db, teils feuerhemmend F30	32,6	m²	77,00	**2.510,00**
360	**Dächer**				
	Deckenelemente, 140 mm P2-Betonelemente (12 Stück)	12	Stk.	0,00	**0,00**
390	**Sonstige Kosten**				
	Remontagekosten der P2-Betonelemente	30	Stk.	180,00	**5.400,00**
	Prüfkosten	pauschal		1.500,00[6]	**1.500,00**
	Gesamtsumme KG 300				**33.637,00**
700	**Baunebenkosten 15 % aus Baukosten**	15	%	33.367,00	5.046,00
Gesamtsumme:					**€ 38.683,00**

Tab. 70: Vergleich der Varianten

KG	Kostengruppe	**Kosten €**			
300	Bauwerk - Baukonstruktion	**Variante 1**	**Variante 2**	**Variante 3**	**Variante 4**
	Bemerkungen	Poroton-Wand, Fertigteildecke	Neue Stahlbetonfer-tigteile	Mauerwerk, Ortbetondecke	Alt-/RC-Betonbauteile
310	Baugrube	1.300	1.300	1.300	1.300
320	Gründung	10.600	10.600	10.600	10.600
330	Außenwände	14.556	20.416	16.350	8.120
340	Innenwände	10.070	16.257	10384	6.717
360	Dächer	7.844	7.844	10.600	0
390	Sonstige Kosten	300	300	0	6.900
700	Baunebenkosten 15%	6.701	8.508	7.385	5.046
Gesamtsumme €		**51.371**	**65.225**	**56.619**	**38.683**
Vergleich Kostenreduzierung durch Wiederverwendung		**24,7 %**	**40,7 %**	**31,7 %**	

Durch die Wiederverwendung von Altbetonbauteilen können die Rohbaukosten für die Erstellung des Bürogebäudes um 25 – 41 % je nach gewählter konventioneller Bauweise reduziert werden.

Aus den Fallbeispielen zum Einsatz sekundärer Betonbauteile ergeben sich demnach Kosteneinsparungen von ca. 10 % bis 40 % im Vergleich zur konventionellen Bauweise. Der finanzielle Vorteil der sich für den Bauherrn von Wiederneubauten ergibt, ist damit eindeutig belegt.

7.10 Gesamtwirtschaftliche Betrachtung

An dieser Stelle soll ein gesamtwirtschaftlicher Kostenvergleich für die Gewinnung und Wiederverwendung sekundärer Bauteile für einen Wiederneubau gegenüber der stofflichen Aufbereitung nicht wiederverwendeter Bauteile und der dem konventionellen Hausbau mit neuen Fertigteilen erstellt werden. Berücksichtigt werden sämtliche erforderlichen Transportmaßnahmen. Auch erfolgen die Betrachtung möglicher Aufbereitungsarbeiten und die erforderlichen Bauzustandsuntersuchungen an den sekundären Bauteilen. Erst hinsichtlich der Gegenüberstellung der Remontage mit anderen Bauweisen, wie z.B. der Ausführung mit neuen Fertigteilen oder der Herstellung der Wände in Ortbeton oder Mauerwerk und der Verwendung von Vollbetondecken, wird eine Betrachtung der Remontagekosten von Alt-/RC-Betonfertigteilen relevant.

Für die gesamtwirtschaftliche Betrachtung werden zunächst zwei Szenarien zur Verwendung von Alt- und Neubetonfertigteilen verglichen:

Szenario 1: Wiederverwendung

- Demontage des Alt-/RC-Bauelements
- Transport der Alt-/RC-Bauelemente zur Remontagebaustelle
- Bauzustandsuntersuchungen
- Bauteilaufarbeitung
- Remontage

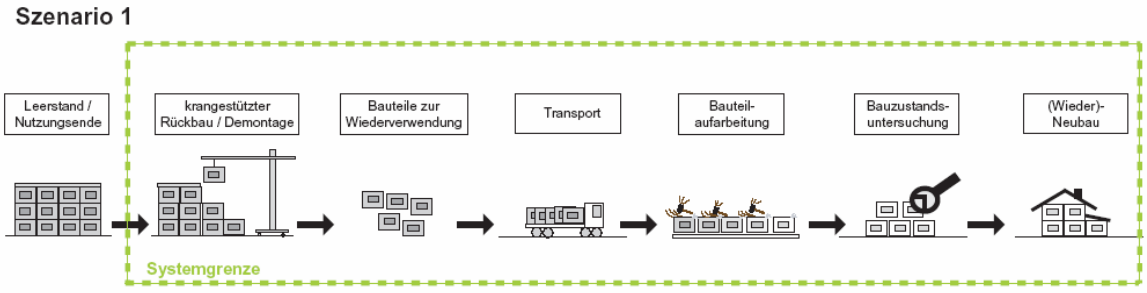


Abb. 148 : Darstellung des Szenario 1 – Wiederverwendung sekundärer Bauteile

Szenario 2: Stoffliche Aufbereitung und konventioneller Neubau

- Demontage (s. Szenario 2a) der in Szenario 1 benötigten Gebäudeteile
- Abbruch (s. Szenario 2b) der in Szenario 1 benötigten Gebäudeteile
- Stoffliche Aufbereitung aller demontierten Bauteile
- Herstellung der Neubauteile und -materialien
- Antransport der Neuteile
- Montage / Einbau der Neubauteile und -materialien

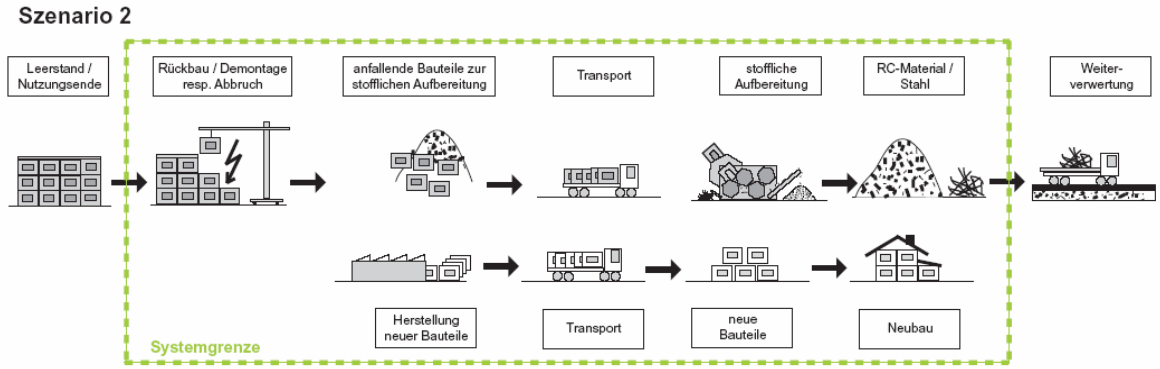


Abb. 149 : Darstellung des Szenario 2 – stoffliche Aufbereitung und konventioneller Neubau

Eine Gegenüberstellung beider Szenarien ergibt folgende Formel:

Kosten des Szenario 1 = Kosten des Szenario 2a(b)

$K_{De} + K_{TUL.WV} + K_{auf} + K_{Prüf\ I} + K_{re} = K_{De}\ (K_{ab}) + K_{SRC} + K_{TUL.SRC} + K_{konv}$

K_{De}	Kosten der Demontage
K_{Ab}	Kosten des Abbruch (alternativ zur Demontage)
$K_{TUL.WV}$	Transportkosten der sekundären Bauteile
K_{auf}	Kosten für die Bauteilaufarbeitung
$K_{Prüf}$	Kosten für Bauzustandsanalyse
K_{re}	Kosten für die Remontage
K_{TULSRC}	Kosten des Transportes zur stofflichen Aufbereitung (RC)
K_{SRC}	Kosten der stofflichen Aufbereitung
K_{konv}	Kosten für konventionelle Bauweisen

Um eine Vergleichbarkeit im Hinblick auf den Demontage- und den Abbruchprozess in den Szenarien zu erzielen, werden hier die an einem Fallbeispiel mit Teilrückbau und Abbruch des Restgebäudes ermittelten Daten verwendet. Dabei wurden Kosten von rd. 62 €/m² Wfl. für den Rückbau ermittelt und rd. 19 €/m² Wfl. für den Abbruch inklusive der Verwertung der nicht wiederverwendeten Betonmassen und den Transport dieser zur Verwertungsanlage. Die Verwertungskosten werden der Vollständigkeit halber in Tabelle 71 aufgeführt; fließen in die Berechnung aber nicht ein. Bei der Hochrechnung der Demontagekosten werden alle zu demontierenden Bauteile berücksichtigt. Daraus resultieren Kosten von ca. 56 €/t Betonbauteil für die Demontage und ca. 11 €/t für den Abbruch. Bei einer durchschnittlichen Masse je Bauteilfläche von ca. 0,34 t/m² ergeben sich somit Demontagekosten von ca. 19 €/m² Betonbauteil und Abbruchkosten von ca. 4 €/m².

Der Wiederverwendung sekundärer Bauteile wird dabei die Verwendung von neuen Fertigteilen sowie von Poroton-Mauerwerk / Gasbeton-Planstein zur Herstellung der Wandflächen und Ortbeton zur Herstellung der Deckenflächen gegenübergestellt.

Tab. 71: Übersicht der ermittelten Einzelpositionskosten

Einzelposition		**Kosten pro Bauteilfläche**
Demontage aller Bauteile (inkl. stoffliche Aufbereitung der Restmassen)	K_{De}	19,00 €/m²
Abbruch (inkl. stoffliche Aufbereitung)	K_{Ab}	4,00 €/m²
Stoffliche Aufbereitung	K_{SRC}	1,70 €/m²
Transport über 30 km	K_{TUL}	2,10 €/m²
Bauteilaufarbeitung (Beseitigung fester Verunreinigungen)	K_{auf}	2,00 €/m²
Bauzustandsanalyse	$K_{Prüf}$	5,33 €/m²
Remontage Wandelement	$K_{Re.WE}$	13,50 €/m²
Remontage Deckenplatte	$K_{Re.DP}$	22,00 €/m²
Wandmontage aus neuen Fertigteilen	$K_{konv.W.BE}$	110,00 €/m²
Deckenmontage aus neuen Fertigteilen	$K_{konv.DP.BE}$	77,00 €/m²
Außenwandausführung in Poroton-Mauerwerk	$K_{konv.AW.PM}$	80,00 €/m²
Innenwandausführung in Gasbeton-Planstein	$K_{konv.IW.GB}$	62,00 €/m²
Deckenplatte in Ortbeton	$K_{konv.DP.OB}$	91,00 €/m²

Aus der Hochrechung der gesamtwirtschaftlichen Aufwendungen für den krangestützten Rückbau leerstehender industrieller Bausubstanz und der Realisierung von Wiederverwendungen von Bauelemente gegenüber dem Gebäudeneubau, in konventioneller Bauweise errichtet plus den erforderlichen Rückbau- resp. Abbruchmaßnahmen zur Leerstandsbekämpfung in Plattenbauten folgern die in Tabelle 72 aufgeführten Kostendaten.

Tab. 72: Übersicht der ermittelten durchschnittlichen Einzelpositionskosten bezogen auf den Quadratmeter Bauteilfläche

	Demontage	Abbruch	Transport	Bauteil-	Bauzustands-	Montage /	Summe	Kostenvorteil	
			über 30 km	aufarbeitung	analyse	Remontage...		der Remontage	
Wiederverwendung Wand	19,00 €		2,10 €	2,00 €	5,33 €	13,50 €	41,93 €		
Wiederverwendung Decke	19,00 €		2,10 €	2,00 €	5,33 €	22,00 €	50,43 €		
Fertigteil neu Wand	19,00 €					110,00 €	129,00 €	87,07 €	67,5%
Fertigteil neu Decke	19,00 €					77,00 €	96,00 €	45,57 €	47,5%
Poroton Außenwand	19,00 €					80,00 €	99,00 €	57,07 €	57,6%
Gasbeton Innenwand	19,00 €					62,00 €	81,00 €	39,07 €	48,2%
Ortbeton Decke	19,00 €					91,00 €	110,00 €	59,57 €	54,2%
Fertigteil neu Wand		4,00 €				110,00 €	114,00 €	72,07 €	63,2%
Fertigteil neu Decke		4,00 €				77,00 €	81,00 €	30,57 €	37,7%
Poroton Außenwand		4,00 €				80,00 €	84,00 €	42,07 €	50,1%
Gasbeton Innenwand		4,00 €				62,00 €	66,00 €	24,07 €	36,5%
Ortbeton Decke		4,00 €				91,00 €	95,00 €	44,57 €	46,9%

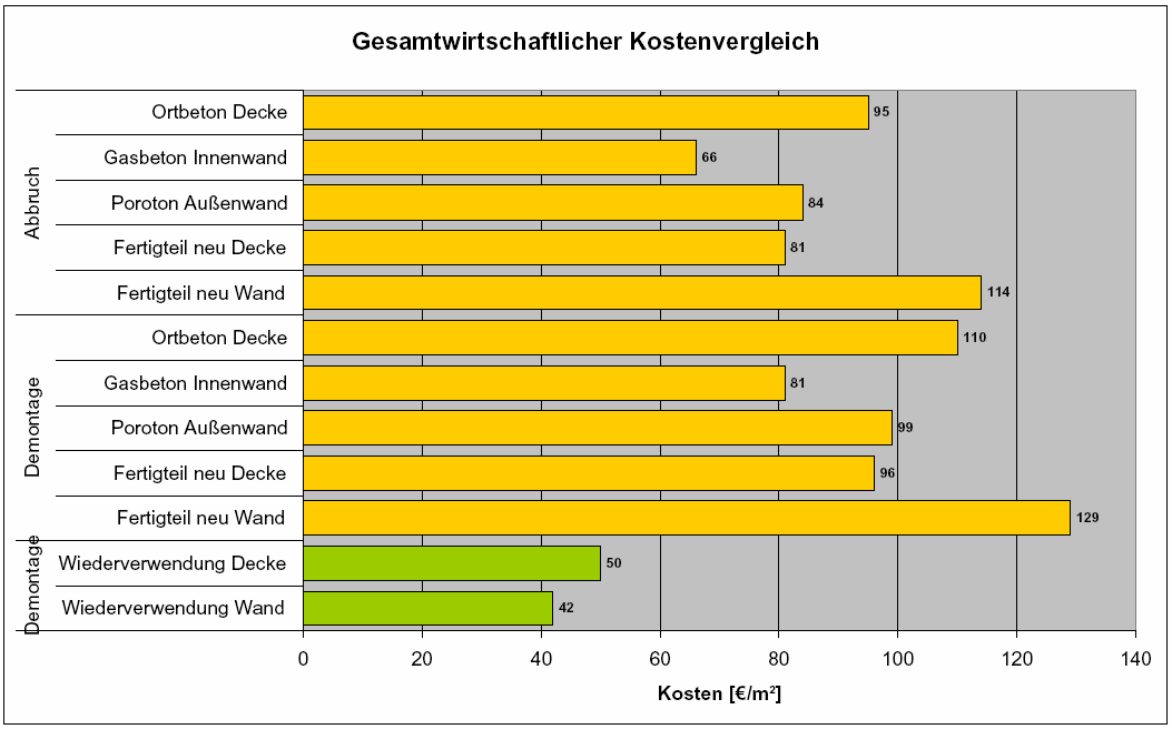


Abb. 150 : Vergleich der Szenarien 1 und 2

Die Wiederverwendung von einem Quadratmeter Altbetonbauteil erspart bei einer Betrachtung des Gesamtprozesses (Szenario 1) durchschnittlich ca. 58 €/m² Bauteil gegenüber dem konventionellen Neubau und dem Rückbau (Szenario 2a) beziehungsweise 43 €/m² gegenüber dem Neubau und dem Abbruch. Somit zeigt sich ein gesamtwirtschaftlicher Vorteil von 55 % gegenüber Demontage/Neubau resp. 47 % gegenüber Abbruch/Neubau durch die Wertsschöpfung aus der Verwendung sekundärer Bauteile. Somit liegt auch der volkswirtschaftliche Nutzen eines umfassenden Einsatzes sekundärer Betonelemente klar auf der Hand.

8 Ökologische Relevanz

8.1 Allgemeine Aussagen

Um eine ökologische Eindämmung der anthropogenen Einflüsse auf die Umwelt zu erreichen, ist es notwendig, Prozesse, die die Umwelt belasten, einzugrenzen – sofern sie nicht vermeidbar sind. Speziell für den Baubereich hat diese anzustrebende Optimierung eine ganzheitliche Betrachtung von Bauerzeugnissen zur Folge. Diese Bauerzeugnisse - Gebäude - sind über ihren gesamten Lebenszyklus zu analysieren (Abb. 151).

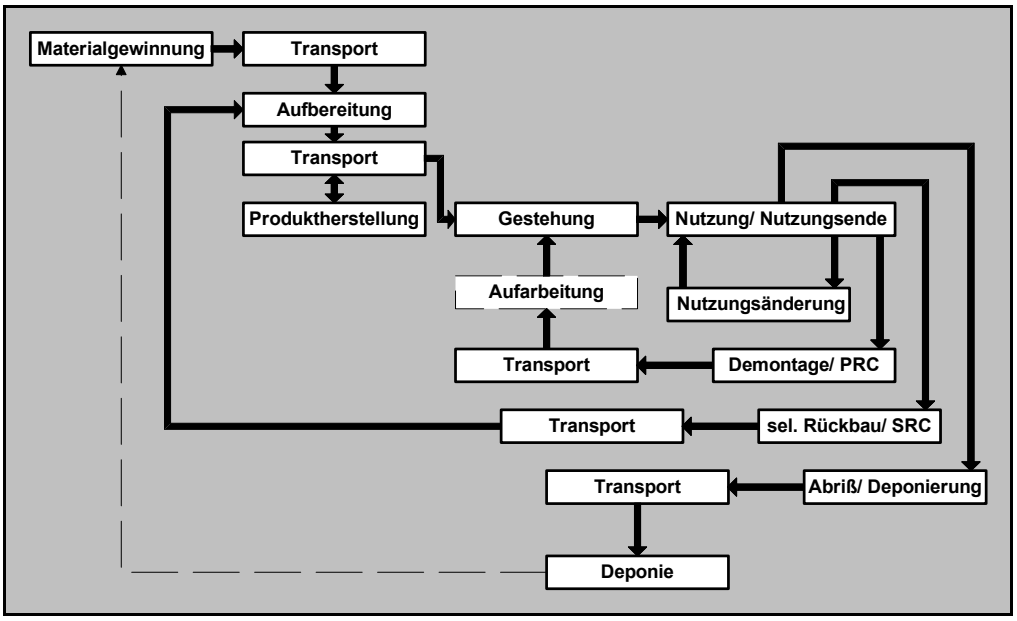


Abb. 151 : Gebäudelebenszyklus

Dieser Lebenszyklus ist mit einer Produktökobilanz auf seinen Umwelteinfluss qualifizierbar und quantifizierbar. Zur Erstellung einer ökologischen Bilanz sind bestimmte Bewertungskriterien zu untersuchen.

Tab. 73: Bewertungsgrundlagen von Produktökobilanzen

Kriterien einer Sachbilanz	Resultierende Wirkungsbilanz
Bedarf an Energieträgern	Ressourcenabbau
Bedarf an Rohstoffen	Ressourcenabbau
Flächeninanspruchnahme	natürlicher Lebensraum
Abfallmengen und Emissionsfreisetzung	Flächeninanspruchnahme, Eutrophierung, Treibhauseffekt, Toxizität, photolytische Prozesse

Eine Produktökobilanz für ein Gebäude setzt sich in ihrer Gesamtheit aus der in nachfolgender Abbildung dargelegten Ebenen zusammen.

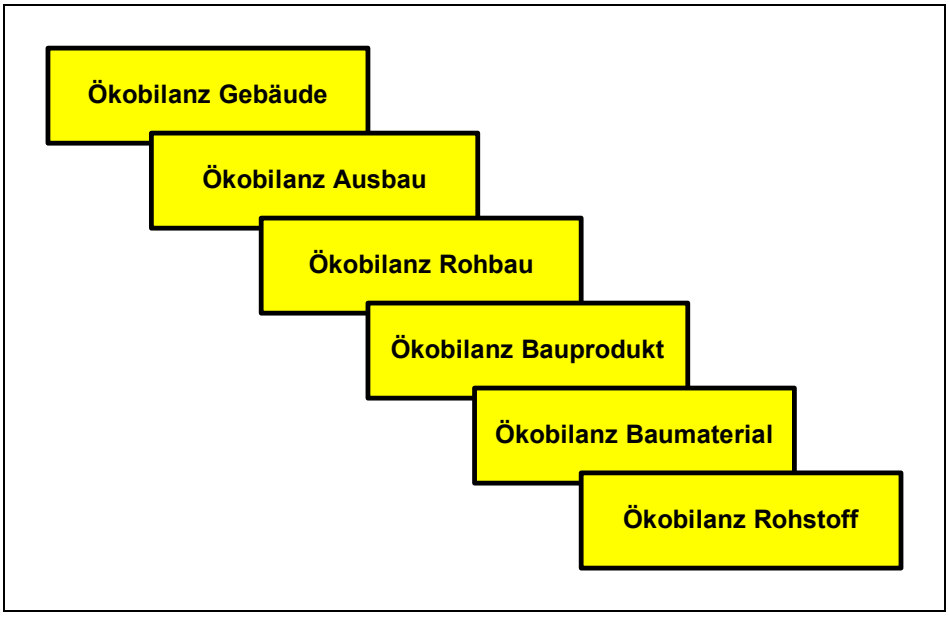


Abb. 152 : Bilanzebenen einer Produktökobilanz von Gebäuden

Dieses modulare Betrachtungssystem erfordert für seine praktische Umsetzung konkret zugewiesene Bilanzgrenzen, mit denen eine Vergleichbarkeit gewährleistet ist und Gefährdungspotenziale objektiv eingeschätzt werden können.

Eine Produktökobilanz - eine Gesamtbetrachtung jeglicher anthropogener, produktbezogener Aktivität zur Schaffung eines Produktes - ist in Hinblick auf das Bilanzziel immer mit den natürlichen Einflüssen ins Verhältnis zu setzen, um eine Beeinflussung zu bewerten. Gleiches gilt für die einzelnen Bilanzschwerpunkte. Diese orientieren sich i.d.R. an kritischen, umweltpolitischen Maßstäben. Für eine Gebäudebetrachtung nach Erstnutzungsende sind diese im Wesentlichen in der Material-, Energie- und Emissionsbilanz zu sehen. Die Flächeninanspruchnahme und die Wasser- und Abwasserproblematik hingegen sind aus folgenden Gründen nicht vordergründig zu betrachten:

- die Flächeninanspruchnahme durch das Gebäude besteht bereits,
- die Bauprodukte (Bauelemente) sind bereits hergestellt.

Dementsprechend sind für das Produkt notwendige Wasseranteile bereits genutzt bzw. vernachlässigbar und die anfallenden Abwassermengen unterliegen entsprechend ihrer Behandlung (Nutzung und Abbruchtechnik) i.d.R. keiner mittelbaren Kontamination und stellen auch keine akute Gefahr dar.

Die zu betrachtenden Bilanzschwerpunkte (Material, Energie, Emissionen) für eine Gebäudebetrachtung unter ökologischen Gesichtspunkten sind durch die Anwendung von Prozesskettenanalysen quantifizierbar.

Zur Untersuchung des Ressourcenbedarfs und der Emissionsbelastung, speziell der atmosphärisch relevanten Schadstoffe aus dem Energieerzeugungsprozess (CO_2, SO_2, NO_x) und der Abfallproblematik, sind folgende Einzeluntersuchungen notwendig:

- Analyse des Rohstoffbedarfs durch Materialbilanzierung,
- Ermittlung des Energie- und somit Energieträgerverbrauchs,
- Bestimmung des atmosphärischen Schadstoffpotenzials, resultierend aus dem Energieverbrauch.

Es werden nur energetische Hauptprozesse, ohne Aufwendungen zur Herstellung von Arbeitsmitteln bzw. Arbeitsgeräten, betrachtet.

Hinsichtlich der Lärm-, Erschütterungs- und Staubproblematik wird vorausgesetzt, dass die immissionsrechtlichen Anforderungen eingehalten werden.

Bei der nachfolgenden ökologischen Betrachtung werden verschiedene Szenarien mit und ohne Wiederverwendung von Elementen untersucht und gegenübergestellt. Als Basis dient die Errichtung eines Gebäudes mit einer Wohneinheit (Bauteilmasse ca. 60 t) aus den Alt-/RC-Betonelementen, die aus dem Rückbau von zwei Wohneinheiten (Bauteilmasse ca. 120 t) stammen. Dies entspricht einer durchaus realistischen Wiederverwendungsquote von 50 %.

Zur Betrachtung der Demontage- und Abbruchprozesse wird auf die Daten aus einem kombinierten Rückbau- und Abbruchprojekt in Gröditz[238] (WBS 70, 6-geschossig) zurückgegriffen, welches durch die Fachgruppe Bauliches Recycling wissenschaftlich detailliert begleitet wurde. Hier erfolgte zunächst die Demontage von 1½ Eingängen zur Bauteilgewinnung, dann der Abbruch der verbliebenen 2½ Eingangsbereiche. Somit ist ein direkter Vergleich der Prozesse Demontage und Abbruch möglich. Eine Betrachtung der energetischen Aufwendungen und der damit verbundenen klimarelevanten Emissionen erfolgte bereits in Teil 1 dieses Endberichtes, Abschn. 4.12.

Die Betrachtung über die Gesamtprozesse der Demontage, der Wiederverwendung sowie der stofflichen Verwertung der Restelemente und der notwendigen Transporte ergibt das Szenario 1. Das Szenario 2 umfasst den konventionellen Neubau unter Verwendung von Betonfertigteilen und die Demontage von 2 Wohneinheiten des Spendergebäudes aus Szenario 1 einschließlich dem Abtransport und der stofflichen Aufbereitung der demontierten Betonbauteile. Als Szenario 3 soll der konventionelle Fertigteil-Neubau und der Abbruch der entsprechenden Gebäudeteile mit anschließender stofflicher Aufbereitung einschließlich Transport betrachtet werden.

Zusammengefasst ergeben sich somit folgende Szenarien, welche einen Vergleich der energetischen Aufwendungen und der damit verbundenen Emissionen einer Wiederverwendung sekundärer Bauteile mit einer stofflichen Verwertung ermöglichen:

[238] Mettke, A.; Heyn S.: Partieller Rückbau eines Wohngebäudes der WBS 70 in Gröditz (Block 20), BTU Cottbus, 2005.

Szenario 1:

- Demontage von 2 Wohneinheiten (WE)
- Stoffliche Verwertung der nicht wiederverwendeten Bauteile (1 WE)
- Transport der Alt-/RC-Betonelemente zur Remontagebaustelle
- Aufbereitung der Alt-/RC-Betonelemente
- Einbau der Alt-/RC-Betonelemente (1 WE)

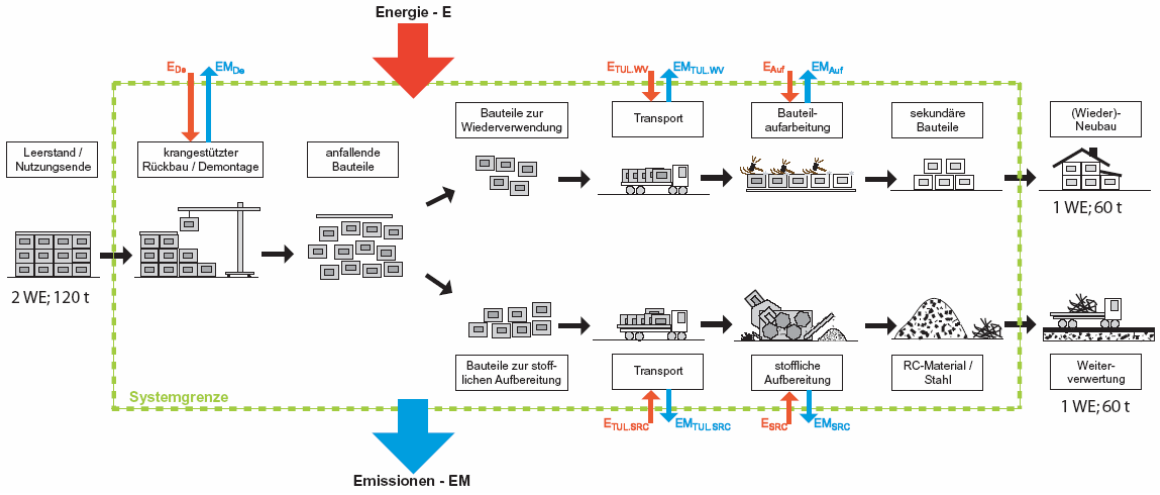


Abb. 153 : Systemgrenzen des Öko-Screenings Szenario 1

Szenario 2:

- Demontage von 2 WE
- Stoffliche Verwertung aller demontierten Bauteile (2 WE)
- Neuherstellung der Bauteile für den Hausneubau (1 WE)
- Antransport der Neuteile
- Einbau der Neuteile

Szenario 3:

- Abbruch von 2 WE
- Stoffliche Verwertung aller demontierten Bauteile (2 WE)
- Neuherstellung der Bauteile für den Hausneubau (1 WE)
- Antransport der Neuteile
- Einbau der Neuteile

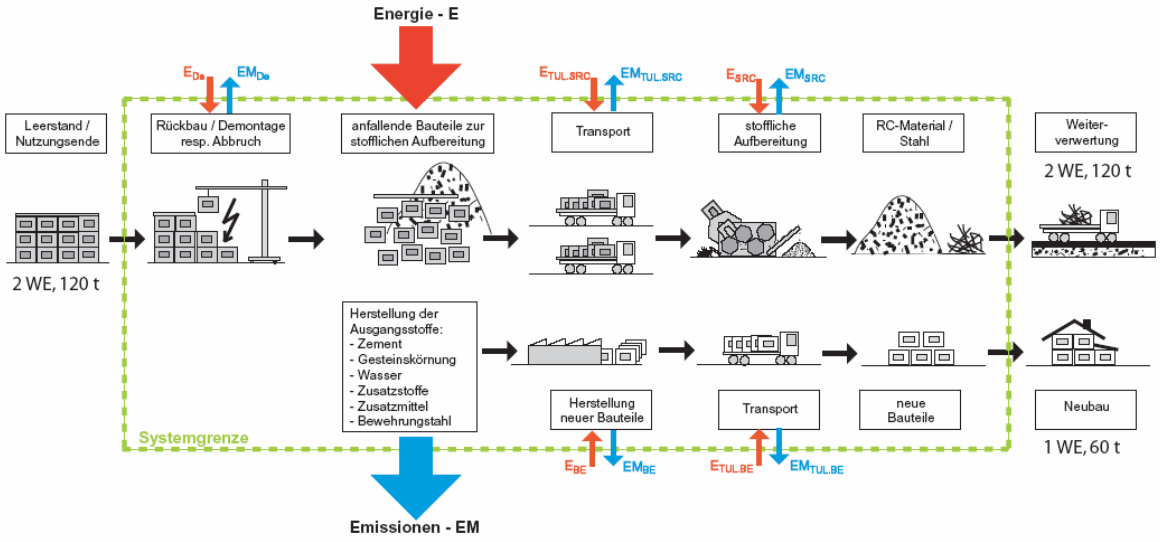


Abb. 154 : Systemgrenzen des Öko-Screenings Szenarien 2 und 3

Für die Ermittlung der energetischen Aufwendungen und der damit verbundenen Emissionen werden die im Zuge der wissenschaftlichen Begleitung von Rückbau- und Wiederverwendungsprojekten[239] erforschten Elementezahlen und –massen, Geräteeinsätze, Transporte etc. angesetzt. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um die Kraneinsatzzeiten, Stemmarbeiten zur Fugenöffnung, Freilegung der Tragösen und Bauteilverbindungen sowie die Trennung dieser beim Demontageprozess, Einsatzzeiten der Bagger beim Abbruch, die Transportaufkommen sowie die Aufwendungen für die stoffliche Verwertung. Siehe dazu auch Teil 1 dieses Endberichtes, Abschn. 4.12.

8.2 Materialbilanz der Bauelemente - Rohbaukonstruktion

Insgesamt beträgt die Masse der wiederverwendeten Betonelemente im (Wieder-)Neubau 60 t. Zur Herstellung eines Kubikmeters Beton der Festigkeitsklasse C 20/25 (B 25) in einer willkürlich gewählten Rezeptur werden folgende Ausgangsstoffe benötigt:

- 330 kg Zement
- 1.820 kg Gesteinskörnung (Zuschlag)
- 190 kg Zugabewasser

Eine Spannbetondeckenplatte enthält durchschnittlich ca. 100 kg Bewehrungsstahl. Bei den Außenwänden beläuft sich der Stahlanteil auf ca. 70 kg. In Innenwänden wurden durchschnittlich ca. 30 kg Stahl verbaut.

[239] Zugrunde gelegt wurden v.a. die Projekte „Ahrensfelder Terrassen“, „Haus Pieper“ und „Block 20“.

Tab. 74: Materialeinsparung durch die Wiederverwendung sekundärer Bauteile zur Errichtung einer Wohneinheit

C 20/25 (B 25)	pro m³	pro t	pro WE (60 t)
Zement	0,33 t	0,14 t	8,4 t
Gesteinskörnung	1,82 t	0,76 t	45,6 t
Zugabewasser	0,19 t	0,08 t	4,8 t
Bewehrungsstahl	0,02 t	0,008 t	0,5 t

Für den (Wieder-)Neubau ergibt sich somit eine Einsparung von ca. 8,4 t Zement, 45,6 t Gesteinskörnung, 4,8 t Zugabewasser und 0,5 t Bewehrungsstahl.

8.3 Energetische Betrachtung

8.3.1 Primärenergie der sekundären Bauelemente

Der Primärenergieinhalt von Baustoffen/Bauprodukten ist die Energie, die zur Produktion dieser aufgewendet wird. In den letzten Jahren wird dieser Wert hauptsächlich als KEA (**K**umulierter **E**nergie-**A**ufwand) angegeben. Der KEA ist die Summe aller Primärenergieinputs (inklusive der zur Materialherstellung), die für ein Produkt oder eine Dienstleistung aufgewendet wird.

Für die Herstellung von Betonfertigteilen werden nachfolgend die Untersuchungsergebnisse der FfE[240] angesetzt. Vereinfachend wird angenommen, dass es sich um Betonfertigteile C 20/25 (B 25) mit Portlandzement (PZ) handelt, die mit Dampfhärtung hergestellt wurden.

Für die in einer Wohneinheit verbauten Betonfertigteile (s. Tab. 75) ergibt sich folgender energetischer Aufwand:

Tab. 75: Energetischer Aufwand der wiederverwendeten Elemente – 1 WE

	m_{BE} , Gesamtmasse [t]	KEA [MJ/ t]	E_{BE} [MJ]
Elemente (gesamt):	**60**	**3.080**	**184.800**

Hinweis: 1kWh = 3,6MJ; Vergleich Bsp.: Stromverbrauch 3-Personen-Haushalt 3.500 kWh/a entspr. 12.600 MJ

In den zur Wiederverwendung vorgesehenen Elementen sind folglich rund 185 GJ bzw. ca. 0,18 TJ Energie enthalten. Müssen diese Teile neu hergestellt werden, wäre diese Energiemenge für die Produktion bereitzustellen. Für die Erzeugung von 185 GJ thermischer Energie müssen (bei Heizwerten von 8,41 GJ/t Braunkohle oder 41,86 GJ/t Rohöl[241]) ca. 22 t Braunkohle oder 4,4 t Rohöl eingesetzt werden. Dies entspricht einem jährlichen Stromverbrauch von ca. 15 Haushalten mit 3 Personen. Errichtet man entsprechend dieses vereinfachten Hauskonzeptes eine Siedlung aus 10 Gebäuden, so erhöht sich die enthaltene Energie auf 1,8 TJ, dem Verbrauch von 147 3-Personen-Haushalten im Jahr.

[240] FO-Stelle für Energiewirtschaft: Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen Halbzeugen, Teil 2 Baustoffe, 1999, S. 60.
[241] nach MSE: Woher kommt unsere Energie? Info 1: Von der Primärenergie zur Energiedienstleistung, S. 82.

Für die Neuherstellung äquivalenter Elemente im Falle eines hier betrachteten konventionellen Neubaus ohne Wiederverwendung von einer WE fallen somit zusätzliche Energieaufwendungen von 185 GJ an.

8.3.2 Aufarbeitung

Zur weiteren Vorbereitung eines Produktrecyclings (Wiederverwendung) sind in speziellen Fällen Aufarbeitungsmaßnahmen notwendig (s. Abschn. 3). Deren Ziel ist eine ausreichende Ertüchtigung der gebrauchten Bauelemente, sofern wirtschaftliche Kriterien sowie eine Vermarktung diese Maßnahme rechtfertigen. Eine Aufschlüsselung des energetischen Einsatzes ist hierbei aufgrund der vielfältigen Aufarbeitungsmethoden und –materialien unterschiedlicher Anbieter nicht möglich. Daher wird dieser Part des Produktrecyclings i.d.S. ausgenommen.

8.3.3 Demontage / Abbruch

Die energetischen Aufwendungen für diesen Part umfassen im Wesentlichen die zum Einsatz kommenden technischen Geräte. Der Energiebedarf der eingesetzten Technik orientiert sich an der Einsatzzeit und dem abzuschätzenden Auslastungsniveau der Maschinen. Eine Herleitung und Auswertung der energetischen Aufwendungen für den Rückbau mit einem Turmdrehkran und einem Fahrzeugkran sowie für den Abbruch erfolgte bereits in Teil 1 dieses Endberichtes. Dabei erfolgte die Hochrechnung über die Demontage resp. den Abbruch eines Komplettgebäudes der WBS 70 (6-geschossig, 4 Segmente) mit einer Gesamtbauteilmasse von 4.100 t.

Tab. 76: Energetischer Aufwand für die Demontage und den Abbruch

	Energieaufwand [MJ]		
	Gesamtgebäude	**pro Tonne**	**pro 2 WE (120 t)**
Demontage mit FZK; $E_{DE,F}$	642.921	157	18.840
Demontage mit TDK; $E_{DE,t}$	298.829	73	8.760
Abbruch; E_{Ab}	432.425	106	12.720

Eine vergleichende Darstellung der ermittelten Energieaufwände zur Demontage bzw. zum Abbruch einer Tonne Betonbauteil eines 6-geschossigen WBS 70-Blocks ist in Abb. 155 gegeben.

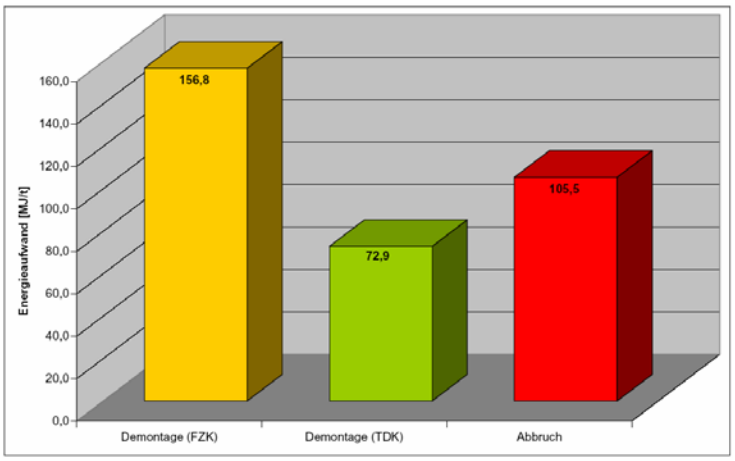


Abb. 155 : Vergleich der Energieaufwendungen für die Demontage und den Abbruch einer Tonne Betonbauteile

8.3.4 Stoffliche Aufbereitung - Materialrecycling

Erfolgt keine Wiederverwendung, so müssen die Elemente stofflich aufbereitet werden. Dafür werden energetische Aufwendungen in Form des maschinentechnischen Einsatzes notwendig. Als allgemeiner Ansatz zur Ermittlung sind die in Tab. 77 dargestellten Durchschnittswerte zu berücksichtigen.

Tab. 77: Durchschnittlicher Energiebedarf für Teile einer Aufbereitungsanlage für mineralische Bauabfälle[242]

Anlagenteil	Energiebedarf [MJ/t]
Zerkleinerung (Brecher)	2,9
Staubabscheidung (Sichter)	2,2
Klassierung (Siebe)	0,4
Förderbänder	0,2 - 0,4
Beschickung (Radlader)	4,3 - 10,5
Störstoffauslese (Bagger)	36,8[243]
Anlagendurchschnitt	**50**

Der rechnerische Ansatz ergibt sich wie folgt:

$$E_{SRC} = m * E_{Aufbereitung}$$

E_{SRC}	Gesamtenergiebedarf für das Stoffrecycling [MJ]
m	Masse [t]
$E_{Aufbereitung}$	Energiebedarf für die Aufbereitung [MJ/ t].

[242] nach Thomas, C./ Birle, A.: Stoff- und Energieflüsse bei der Aufbereitung mineralischer Baureststoffe, Studienarbeit, BTU Cottbus; aktualisiert 2007.
[243] entspricht einem Baggereinsatz (30 t, 130 kW) über ca. 2 Minuten bei 100 % Auslastung.

Einer stofflichen Aufbereitung werden im Szenario 1 nur die Bauelemente unterworfen, welche nicht für eine Wiederverwendung vorgesehen sind. Dies sind 60 t bei einem Wiederverwendungsgrad von 50 %. Im Szenario 2 sowie im Szenario 3 wird die komplette Elementemasse von 120 t aus den demontierten bzw. abgebrochenen Gebäudeteilen verwertet.

Tab. 78: Gesamtenergiebedarf für die stoffliche Aufbereitung

Szenario	Beschreibung	Elementemasse zur stofflichen Aufbereitung	Energiebedarf für stoffliche Aufbereitung
1	Aufbereitung nicht wiederverwendeter Elemente (1 WE)	60	3.000 MJ
2	Aufbereitung aller demontierten Elemente (2 WE)	120	6.000 MJ
3	Aufbereitung aller abgebrochenen Elemente (2 WE)	120	6.000 MJ

8.3.5 Transportaufwendungen

Der Energiebedarf für Transportprozesse lässt sich aus der zu nutzenden Technik, der zurückzulegenden Entfernung, der Transportgeschwindigkeit sowie der Transportauslastung bestimmen.

Die eingesetzte Technik unterliegt hierbei der Abhängigkeit von den Transportmitteln und deren Motorisierung.[244] Es wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Entfernung De- und Remontagebaustelle: 30 km
- Entfernung Demontagebaustelle – Recyclinganlage: 30 km
- Entfernung Fertigteilwerk – Baustelle bei Neubau: 30 km
- Optimale Transportmittelauslastung
- Basis für Energie- und Emissionsdaten ist PROBAS, Lkw-Sattelzug (KEA = 1,33 x 10^{-6} TJ/t*km entspr. 1,33 MJ/t*km Gütertransport-Dienstleistung)

Bei einer Transportstrecke von 30 km ergibt sich somit ein Energiebedarf von ca. 40 MJ.

Tab. 79: Gesamtenergiebedarf – Transportaufkommen für die stoffliche Aufbereitung

Szenario	Beschreibung	Transporte für stoffliches Recycling			
		M [t]	s [km]	KEA [MJ/t*km]	Energieaufwand E_{TUL} [MJ]
1	Aufbereitung nicht wiederverwendeter Elemente (1 WE)	60	30	1,33	2.394
2	Aufbereitung aller demontierten Elemente (2 WE)	120	30	1,33	4.788
3	Aufbereitung aller abgebrochenen Elemente (2 WE)	120	30	1,33	4.788

Der Transport von 60 t Restmassen (Szenario 1) zur stofflichen Aufbereitung über 30 km benötigt ca. 2,4 GJ. Der Gesamtbauteilmassen nach der Demontage und dem Abbruch über 30 km ca. 4,8 GJ.

[244] Schade, D.: „Energiebedarf, Energiebereitstellung, Energienutzung“, S. 89 ff., z.B. Hochdruckeinspritzung, Direkteinspritzung, Zylinderabschaltung, Schwung-Nutz-Automatik

Tab. 80: Gesamtenergiebedarf – Transportaufkommen für die Wiederverwendung resp. Neuteilproduktion

Szenario	Beschreibung	Transporte für Wiederverwendung / Neubauteile			
		M [t]	s [km]	KEA [MJ/t*km]	Energieaufwand E_T [MJ]
1	Antransport wiederverwendeter Elemente (1 WE)	60	30	1,33	2.394
2	Antransport neu produzierter Elemente (1 WE)	60	30	1,33	2.394
3	Antransport neu produzierter Elemente (1 WE)	60	30	1,33	2.394

Die Anlieferung der Alt-/RC-Betonelemente sowie der Neubauteile über 30 km Transportweg zum Einbauort verbraucht ca. 2,4 GJ Energie.

8.3.6 Zusammenfassung und Vergleich der Energieaufwendungen

Eine Zusammenstellung aller ermittelten Energieaufwände für die Arbeitsschritte Demontage, Abbruch, stoffliche Verwertung, Wiederverwendung und sämtliche Transporte in Bezug auf eine Tonne Bauteil zeigt nachfolgende Tab. 81.

Tab. 81: Zusammenstellung der ermittelten Energieaufwände je Tonne Bauteil

Energieaufwand		[MJ/t]
E_{BE}	Neubauteilherstellung	3.080
$E_{De.FZK}$	Demontage mit Fahrzeugkran	157
$E_{De.TDK}$	Demontage mit Turmdrehkran	73
E_{Ab}	Abbruch	106
E_{SRC}	Stoffliche Aufbereitung	50
$E_{TUL.SRC}$	Transport zur stofflichen Aufbereitung (30 km)	40
$E_{TUL.BE}$	Transport der Neubauteile (30 km)	40
$E_{TUL.WV}$	Transport der sekundären Bauteile (30 km)	40

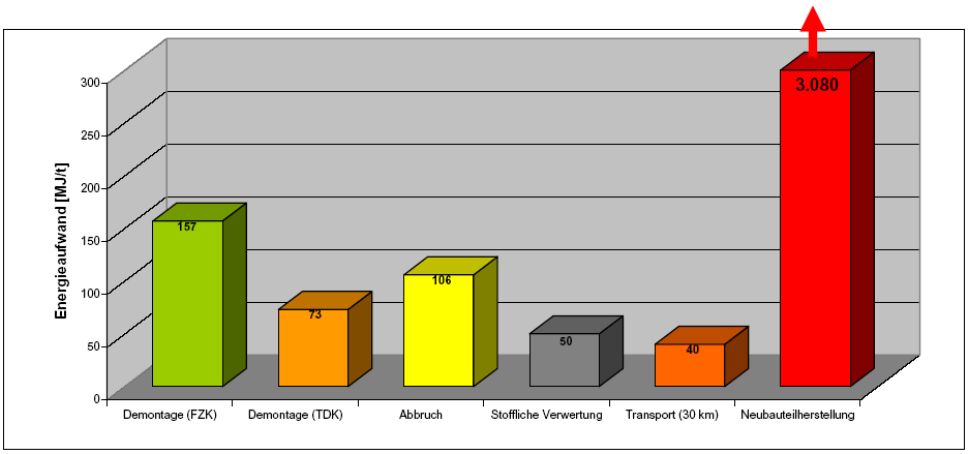


Abb. 156 : Zusammenstellung der ermittelten Energieaufwendungen für eine Tonne Betonbauteile

Deutlich zeigt sich in der Zusammenstellung der ermittelten Energieaufwände der hohe Energiebedarf der Bauteilneuproduktion. Durch eine umfangreiche Wiederverwendung rückgebauter Bauteile kann somit der Energieverbrauch für die Neuherstellung vermindert werden. Bei der Ausführung von Wiederverwendungsmaßnahmen im Nahbereich (ca. 30 km) kann zudem der Energiebedarf für den Transport der sekundären Bauteile vernachlässigt werden, da die gleichen Massen im Falle einer stofflichen Verwertung auch einer Aufbereitungsanlage zugeführt werden müssen.

Aus den Ergebnissen zur Energieaufwandsberechnung lässt sich nun der Energiebedarf der einzelnen Szenarien zusammenfügen. Dabei wird der Energieeinsatz für die Errichtung des neuen Gebäudes nicht berücksichtigt, da dieser bei allen Szenarien auftritt und bei Verwendung baugleicher Neubauteile gleich ist.

Der Energieaufwand für das Szenario 1 mit der Demontage der notwendigen Bauwerksteile zur Gewinnung der sekundären Bauteile, dem stofflichen Recycling der verbliebenen Elemente sowie den erforderlichen Transporten zur Recyclinganlage wie auch zum Neubaustandort setzt sich wie folgt zusammen:

Tab. 82: Berechnung des Gesamtenergieaufwandes für das Szenario 1

	Energieaufwand	**Szenario 1**	
	pro Tonne Bauteil	**Bauteilmasse**	**Energieaufwand**
Demontage			
mit Fahrzeugkran (FZK)	157 MJ/t	120 t	18,8 GJ
mit Turmdrehkran (TDK)	73 MJ/t	120 t	8,8 GJ
Stoffliches Recycling			
Restmasse (ausschl. WV)	50 MJ/t	60 t	3,0 GJ
Transport zum stofflichen Recycling			
Restmasse (ausschl. WV)	40 MJ/t	60 t	2,4 GJ
Transport der sekundären Bauteile	40 MJ/t	60 t	2,4 GJ
Gesamt mit FZK	**287 MJ/t**		**26,6 GJ**
Gesamt mit TDK	**203 MJ/t**		**16,6 GJ**

Das Szenario 2 umfasst die Demontage der in Szenario 1 aufgeführten Bauwerksteile, deren stoffliche Verwertung sowie die Neuproduktion baugleicher Betonelemente für den Neubau und sämtliche Transporte.

Tab. 83: Berechnung des Gesamtenergieaufwandes für das Szenario 2

	Energieaufwand	Szenario 1	
	pro Tonne Bauteil	**Bauteilmasse**	**Energieaufwand**
Demontage			
mit Fahrzeugkran (FZK)	157 MJ/t	120 t	18,8 GJ
mit Turmdrehkran (TDK)	73 MJ/t	120 t	8,8 GJ
Stoffliches Recycling			
Restmasse (ausschl. WV)	50 MJ/t	120 t	6,0 GJ
Transport zum stofflichen Recycling			
Restmasse (ausschl. WV)	40 MJ/t	120 t	4,8 GJ
Energiegehalt der sekundären resp. Neubauteile	3.080 MJ/t	60 t	184,8 GJ
Transport der Neuteile	40 MJ/t	60 t	2,4 GJ
Gesamt mit FZK	**3.367 MJ/t**		**216,8 GJ**
Gesamt mit TDK	**3.283 MJ/t**		**206,8 GJ**

Szenario 3 folgt insgesamt der Grundstruktur des Szenarios 2, nur dass hier die Bauwerksteile des rückzubauenden Gebäudes nicht demontiert sondern klassisch abgebrochen werden.

Tab. 84: Berechnung des Gesamtenergieaufwandes für das Szenario 3

	Energieaufwand	Szenario 1	
	pro Tonne Bauteil	**Bauteilmasse**	**Energieaufwand**
Abbruch	106 MJ/t	120 t	12,7 GJ
Stoffliches Recycling			
Restmasse (ausschl. WV)	50 MJ/t	120 t	6,0 GJ
Transport zum stofflichen Recycling			
Restmasse (ausschl. WV)	40 MJ/t	120 t	4,8 GJ
Energiegehalt der sekundären resp. Neubauteile	3.080 MJ/t	60 t	184,8 GJ
Transport der Neuteile	40 MJ/t	60 t	2,4 GJ
Gesamt	**3.316 MJ/t**		**210,7 GJ**

Zur besseren Übersicht werden in Tab. 85 und Abb. 157 die Szenarien gegenübergestellt.

Tab. 85: Gegenüberstellung der ermittelten Gesamtenergieaufwände der einzelnen Szenarien

Energieaufwand	mit FZK	mit TDK
Szenario 1: Dem. / WV / WVW	**26,6 GJ**	**16,6 GJ**
Szenario 2: Dem. / WVW / Neubau	**216,8 GJ**	**206,8 GJ**
Szenario 3: Ab. / WVW / Neubau	**210,7 GJ**	

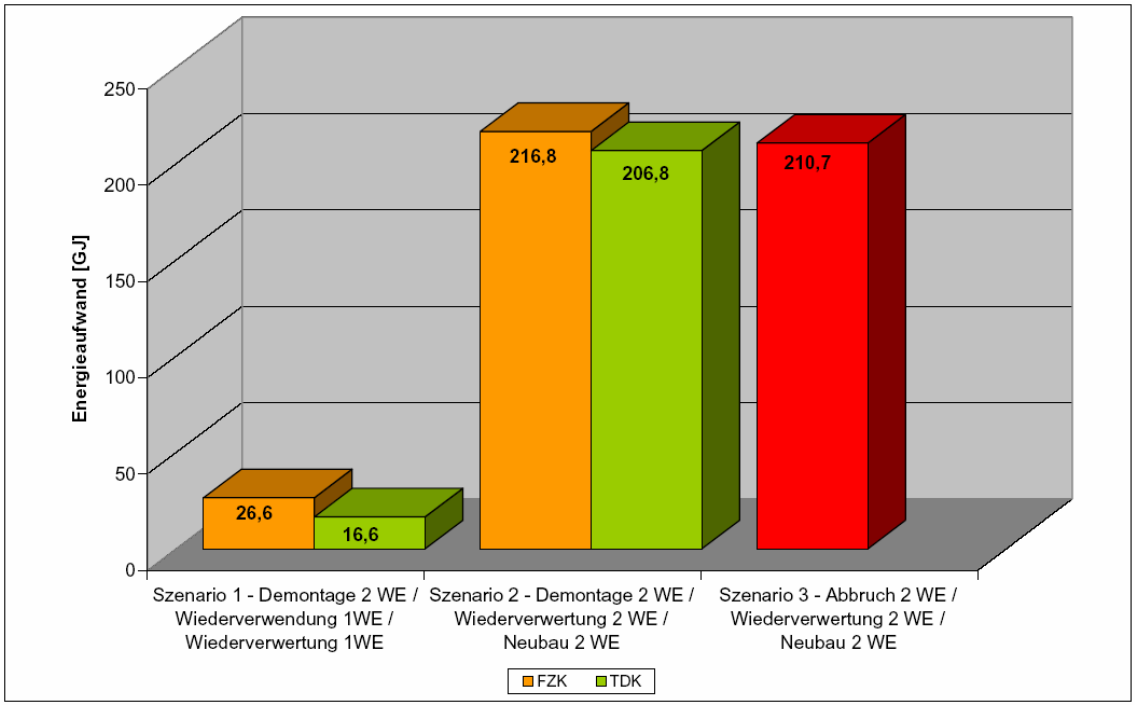


Abb. 157 : Vergleich der ermittelten Gesamtenergieaufwände der einzelnen Szenarien

Die energetisch deutlich günstigste Variante ist Szenario 1: die Demontage, 50 % Wiederverwendung der Bauteile und 50 % Wiederverwertung. Die Demontage sowie der Abbruch und die stoffliche Aufbereitung aller demontierten Bauteile sowie die Neuproduktion der für die Errichtung des Neubaugebäudes notwendigen Betonelemente (Szenarien 2 und 3) weist einen 10-fach höheren Energieaufwand auf. Ein Unterschied zwischen den Szenarien 2 und 3, der Demontage und dem Abbruch, ist nicht gegeben. Daher erfolgt im Weiteren ausschließlich der Vergleich der Szenarien 1 und 3, Demontage / Wiederverwendung und Abbruch / Neubau.

Eine Gegenüberstellung der Energieaufwände der Szenarien 1, Demontage mit FZK / Wiederverwendung und 3, Abbruch / Neubau hinsichtlich der Beretstellung einer Tonne Altbetonbauteil kann über folgende Gleichung erfolgen:

Tab. 86: Berechnung des Energieaufwandes für die Szenarien 1 und 3 für eine Tonne Bauteil (vgl. Tab. 81)

Energieaufwand pro Tonne	
Szenario 1	**Szenario 3**
$E_{De} + E_{TUL.WV}$	$E_{Ab} + E_{SRC} + E_{TUL.SRC} + E_{BE} + E_{TUL.BE}$
157 MJ/t + 40 MJ/t	106 MJ/t + 50 MJ/t + 40MJ/t + 3.080 MJ/t + 40 MJ/t
197 MJ/t	**3.316 MJ/t**

So können bei einer Wiederverwendung mit einer Transportentfernung von 30 km mind. 3.100 MJ pro Tonne Altbetonbauteil eingespart werden. Vergleichsweise entspricht dies dem durchschnittlichen Energiebedarf eines 3-Personen-Haushaltes (12.600 MJ/a) in einem viertel Jahr. Bei einer Transportentfernung zum Remontageort von 150 km sind es immer noch 3.000 MJ. Durch die Wiederverwendung von 60 t sekundärer Bauteile bei einer Transportentfernung von 30 km ergibt sich eine Reduzierung des Energieverbrauchs von 186.000 MJ gegenüber eines Abbruchs und Neubaus. Mit dieser Energiemenge könnte der Energiebedarf von 15 Drei-Personen-Haushalten über ein Jahr gedeckt werden.

8.4 Emissionsbetrachtung

Die nachfolgenden Emissionsbetrachtungen beschränken sich auf die Analyse atmosphärisch relevanter Stoffe (CO_2, SO_2, NO_x), die aufgrund ihrer freigesetzten Menge auf die Umwelt negativ Einfluss nehmen können.

Tab. 87: Quelle und Wirkung klimarelevanter Schadstoffe[245]

Schadstoff	Quelle	Wirkung
CO_2	Verbrennung fossiler Brennstoffe	Treibhauseffekt
SO_2	Verbrennung schwefelhaltiger fossiler Brennstoffe	Vorläufersubstanz des „Sauren Regens, neuartige Waldschäden
NO_x	Verbrennung fossiler Brennstoffe bei hohen Temperaturen	Vorläufersubstanz des troposphärischen Ozons

Dem ermittelten spezifischen Energiekennwert der wiederzuverwendenden Betonfertigteile werden entsprechende, spezifische Emissionen zugewiesen. Diese Zuweisung ist abhängig von den Stoffcharakteristiken der eingesetzten Energieträger, die für die Energiebereitstellung genutzt werden. Berücksichtigt werden neben den Emissionen, die durch die Umwandlung freigesetzt werden auch jene, die bei der Bereitstellung bzw. Gewinnung der Energieträger entstehen.

Nachfolgend sind die Emissionsfaktoren für die Bereitstellung der benötigten elektrischen Energie aus einem regional spezifischen Elektroenergiemix aus Kohle, Öl und Gas aufgeführt.

[245] aus Mettke, A.: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, Langfassung, 1999, S. 328.

Tab. 88: Emissionsdaten für Strombereitstellung (Stromnetz-lokal, GEMIS 4.2, 2004)

Energieträger	Emissionsfaktor* [kg/$TJ_{Endenergie}$]		
	SO_2	NO_x	CO_2
Elektroenergiemix	111,67	181,39	170.167

Der maschinentechnische Einsatz von Baggern und Fahrzeugkränen beruht auf dem Energieträger Diesel. Die spezifischen Emissionen können nachfolgender Tabelle entnommen werden.

Tab. 89: Emissionen von Systemen zur Energiebereitstellung (GEMIS 4.2, 2004)

Energieträger	Emissionsfaktor [kg/TJ_{Input}]		
	SO_2	NO_x	CO_2
Diesel	86,1	1.381	79.800

8.4.1 Herstellung von Betonbauteilen

Der Energieverbrauch korreliert bekanntermaßen mit dem Emissionsausstoß. Durch den energetischen Vorteil des Produktrecyclings (= Wiederverwendung, keine Neuproduktion von Betonteilen erforderlich) gegenüber des Abbruchs und der Neuproduktion ergibt sich folglich auch ein Vorteil hinsichtlich der Eindämmung von Luftschadstoffen.

Durch die Forschungsstelle für Energiewirtschaft werden die freigesetzten Emissionen für die Herstellung einer Tonne Betonfertigteil aus Normalbeton B 25 (entspr. C 20/25) mit Portlandzement unter Dampferhärtung folgender Maßen angegeben.

Tab. 90: Energetisch bedingte Emissionen zur Neuherstellung 1 Tonne Fertigteilbeton[246]

	SO_2	NO_x	CO_2
Emissionen [kg/t]	0,806	0,604	394

Durch die Wiederverwendung von einer Tonne Betonbauteile wird der Ausstoß von ca. 800 g SO_2, 600 g NO_X und 394 kg CO_2 in die Atmosphäre verhindert. Für den Einsatz der Altbetonbauteile nach Szenario 1 in Höhe von 60 t bedeutet dies eine Emissionseinsparung von ca. 48,4 kg SO_2, 36,2 kg NO_X und 23,6 t CO_2.

[246] FfE, Forschungsstelle für Energiewirtschaft: Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen und Halbzeugen, Teil II Baustoffe, München, 1999, S. 60.

8.4.2 Demontage/ Abbruch

Anhand der ermittelten Energieaufwände der bei Rückbau und Abbruch eines kompletten 6-geschossigen WBS 70-Blocks über 4 Eingangsbereiche eingesetzten Geräte und Maschinen kann folgende Berechnung der energetisch bedingten Emission von SO_2, NO_X und CO_2 erfolgen.

Tab. 91: Emissionen bei Demontage und Abbruch von einer Tonne Betonbauteil

		Emissionen		
	[MJ/t]	[kg/t]		
		SO_2	NO_X	CO_2
Demontage FZK	157	0,013	0,22	12,5
Demontage TDK	73	0,001	0,02	12,2
Abbruch	106	0,009	0,15	8,4

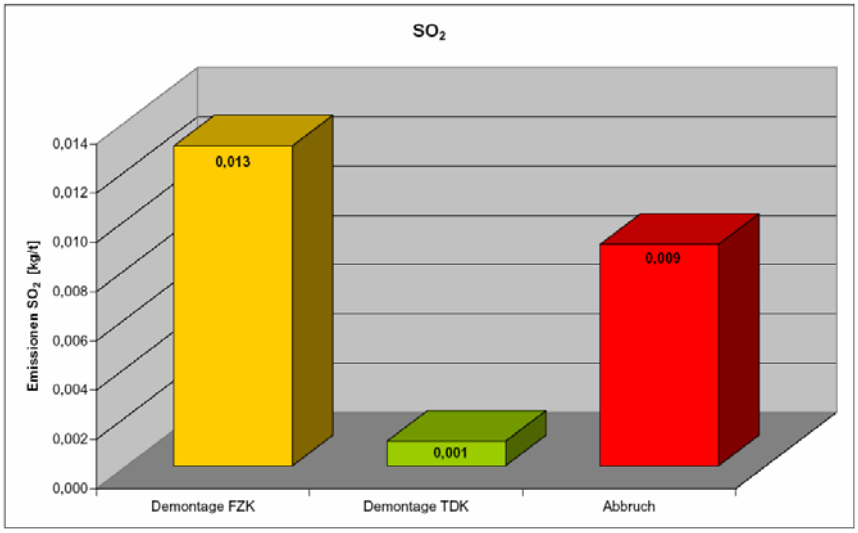


Abb. 158 : Vergleich der SO_2-Emissionen für Demontage und Abbruch einer Tonne Betonbauteile

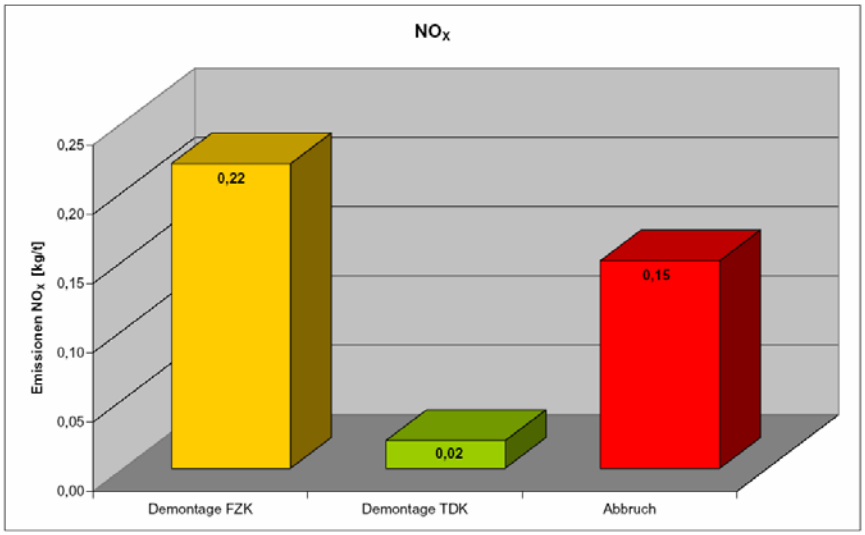


Abb. 159 : Vergleich der NO_X-Emissionen für Demontage und Abbruch einer Tonne Betonbauteile

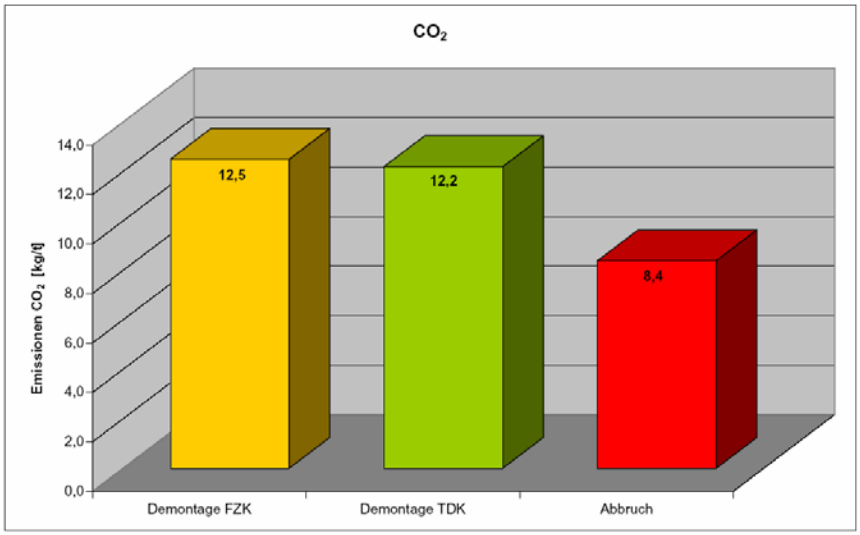


Abb. 160 : Vergleich der CO_2-Emissionen für Demontage und Abbruch einer Tonne Betonbauteile

Die ermittelten energiebedingten Emissionswerte für SO_2 und NO_X des Rückbaus mit dem Turmdrehkran liegen deutlich unter denen des Abbruchs und auch unter denen der Demontage mit dem Fahrzeugkran. Bei den CO_2-Emissionen schneidet der Abbruch emissionsärmer als der krangeführte Rückbau mit Fahrzeugkran ab. Allerdings liegen in diesem Fall die Emissionswerte der Demontage mit dem Turmdrehkran gleich auf mit denen des Fahrzeugkrans.

8.4.3 Stoffliche Aufbereitung

Der Energieaufwand der stofflichen Aufbereitung setzt sich aus nachfolgend aufgeführten Energieträgern zusammen:

Tab. 92: Durchschnittlicher Energiebedarf für Teile einer Aufbereitungsanlage für mineralische Bauabfälle

Anlagenteil	Energieträger	Energiebedarf [MJ/ t]
Zerkleinerung (Brecher)	Strom	2,9
Staubabscheidung (Sichter)	Strom	2,2
Klassierung (Siebe)	Strom	0,4
Förderbänder	Strom	0,3
Beschickung (Radlader)	Diesel	7,4
Störstoffauslese (Bagger)	Diesel	36,8
Gesamt	**Strom**	**5,8**
Gesamt	**Diesel**	**44,2**
Anlagendurchschnitt		**50**

Somit lassen sich für die stoffliche Verwertung der Bauteile folgende Emissionen errechnen:

Tab. 93: Energetisch bedingte Emissionen für die stoffliche Aufbereitung je Tonne Bauteil

Gesamtbedarf [TJ]		**spezifische Emissionen** [kg/TJ_{Input}] – Brennstoff [kg/TJ_{End}] – elektr. Energie			**Emissionen** [kg/t]		
		SO_2	NO_x	CO_2	SO_2	NO_x	CO_2
Stoffliche Verwertung							
Diesel:	0,000044	86,1	1.381	79.800	0,0038	0,0608	3,51
Strom:	0,000006	111,67	181,39	170.167	0,00067	0,0011	0,34
Summe					**0,0045**	**0,063**	**3,85**

Die stoffliche Aufbereitung der 60 t nicht wiederverwendeten Bauteile aus den Szenario 1 und die Aufbereitung aller demontierten Bauteile der Szenarien 2 bzw. 3 mit einer Gesamtmasse von je 120 t führen zu folgend aufgeführten Emissionen.

Tab. 94: Energetisch bedingte Emissionen für die stoffliche Aufbereitung der Szenarien 1 - 3

Szenario	**Bauteil-masse**	**Emissionen [kg]**		
	[t]	**SO_2**	**NO_x**	**CO_2**
Szenario 1 - Demontage / Wiederverwendung	60	0,27	3,78	231
Szenario 2 – Demontage / Neubau	120	0,54	7,56	462
Szenario 3 – Abbruch / Neubau	120	0,54	7,56	462

Werden Alt-/RC-Betonelemente anstelle neuer Betonelemente für den Bau einer Wohneinheit bereitgestellt, so verhindert dies den Ausstoß von ca. 0,3 kg SO_2, 4 kg NO_X und 230 kg CO_2 durch die entfallende stoffliche Aufbereitung der sekundären Bauteile.

8.4.4 Transporte

Energieträger für die auszuführenden Transporte ist Diesel.

Tab. 95: Energetisch bedingte Emissionen für die Transporte

Szenario / Vorhaben Transport zu:	**Masse** [t]	**Entfernung** [km]	**Gesamt-bedarf** [TJ]	**Emissionen** [kg]		
				SO_2	NO_x	CO_2
1 t Altbetonbauteil	1	1	0,0000013	0,000112	0,0018	0,104
Szenario 1						
stoffliche Verwertung	60	30	0,00234	0,20	3,24	187,2
Wiederverwendung	60	30	0,00234	0,20	3,24	187,2
Szenario 2 und 3						
stoffliche Verwertung	120	30	0,00468	0,40	6,48	374,4
Neubauteile	60	30	0,00234	0,20	3,24	187,2

8.4.5 Zusammenfassung

Eine Zusammenstellung aller energetisch bedingten Emissionen für die Einzelpositionen Demontage, Abbruch, stoffliche Aufarbeitung, Wiederverwendung und sämtliche Transporte hinsichtlich des Vergleiches zeigt nachfolgende Tab. 96.

Tab. 96: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen

Emissionen		**[kg/t]**		
		SO_2	**NO_x**	**CO_2**
EM_{De}	Demontage			
$EM_{De.FZK}$	mit Fahrzeugkran (FZK)	0,013	0,22	12,5
$EM_{De.TDK}$	mit Turmdrehkran (TDK)	0,001	0,02	12,2
EM_{Ab}	Abbruch	0,009	0,15	8,4
EM_{SRC}	Stoffliche Aufbereitung	0,0045	0,063	3,85
EM_{BE}	Neuproduktion der Bauteile	0,806	0,604	394
EM_{TUL}	Transport 1 km	0,000112	0,0018	0,104

Nachfolgend sollen die ermittelten Emissionen der einzelnen Szenarien dargestellt werden, welche die Schadstoffreduzierung durch eine sekundäre Nutzung gebrauchsfähiger Bauteile beispielhaft belegen sollen.

Die Betrachtung zu Szenario 1 soll die Emissionen der Demontage von 2 WE zur Gewinnung der sekundären Elemente für die Errichtung 1 WE und deren Transport sowie die stoffliche Verwertung der Restmassen aufzeigen.

Tab. 97: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für das Szenario 1

Szenario 1	**Bauteil-**	**Emissionen [kg]**		
	masse	**SO_2**	**NO_x**	**CO_2**
Demontage				
mit Fahrzeugkran (FZK)	120 t	1,56	26,4	1.500
mit Turmdrehkran (TDK)	120 t	0,12	2,4	1.464
Stoffliche Aufbereitung				
Restmasse (ausschl. WV)	60 t	0,27	3,78	231
Transport zur stoffliche Aufbereitung (30 km)				
Restmasse (ausschl. WV)	60 t	0,20	3,24	187,2
Transport Altbauteile (30 km)	60 t	0,20	3,24	187,2
Gesamtemission mit FZK		**2,23**	**36,7**	**2.105**
Gesamtemission mit TDK		**0,79**	**12,7**	**2.069**

Im Szenario 2 werden die Emissionen der Demontage wie in Szenario 1 betrachtet, wobei die demontierten Bauteile komplett stofflich verwertet und die Bauteile für den Neubau neu produziert werden.

Tab. 98: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für das Szenario 2

Szenario 2	Bauteil-	Emissionen [kg]		
	masse	SO_2	NO_x	CO_2
Demontage				
mit Fahrzeugkran (FZK)	120 t	1,56	26,4	1.500
mit Turmdrehkran (TDK)	120 t	0,12	2,4	1.464
Stoffliche Aufbereitung				
Gesamtmasse	120 t	0,54	7,56	462
Transport zur stoffliche Aufbereitung (30 km)				
Restmasse (ausschl. WV)	120 t	0,40	6,48	374,4
Neuproduktion der Bauteile	60 t	48,36	36,24	23.640
Transport Neubauteile (30 km)	60 t	0,20	3,24	187,2
Gesamtemission mit FZK		**51,1**	**79,9**	**26.164**
Gesamtemission mit TDK		**49,6**	**55,9**	**26.128**

Im Szenario 3 werden die Häuser Pieper und Hose, wie in Szenario 2, neu errichtet. Die Gebäudeteile der Spendergebäude aus Szenario 1 jedoch nicht demontiert sondern abgebrochen.

Tab. 99: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für das Szenario 3

Szenario 3	Bauteil-	Emissionen [kg]		
	masse	SO_2	NO_x	CO_2
Abbruch	120 t	1,08	18,0	1.008
Stoffliche Aufbereitung				
Gesamtmasse	120 t	0,54	7,56	462
Transport zur stoffliche Aufbereitung (30 km)				
Restmasse (ausschl. WV)	120 t	0,40	6,48	374,4
Neuproduktion der Bauteile	60 t	48,36	36,24	23.640
Transport Neubauteile (30 km)	60 t	0,20	3,24	187,2
Gesamtemission		**50,6**	**71,5**	**25.672**

Tab. 100 bietet eine Zusammenstellung der ermittelten Emissionen der einzelnen Szenarien.

Tab. 100: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für alle Szenarien

Emissionen	[kg]		
	SO_2	NO_x	CO_2
Szenario 1: Demontage mit FZK / WV / WVW	**2,23**	**36,7**	**2.105**
Szenario 1: Demontage mit TDK / WV / WVW	**0,79**	**12,7**	**2.069**
Szenario 2: Demontage mit FZK / WVW / Neuprod.	**51,1**	**79,9**	**26.164**
Szenario 2: Demontage mit TDK / WVW / Neuprod.	**49,6**	**55,9**	**26.128**
Szenario 3: Abbruch / Neuproduktion	**50,6**	**71,5**	**25.672**

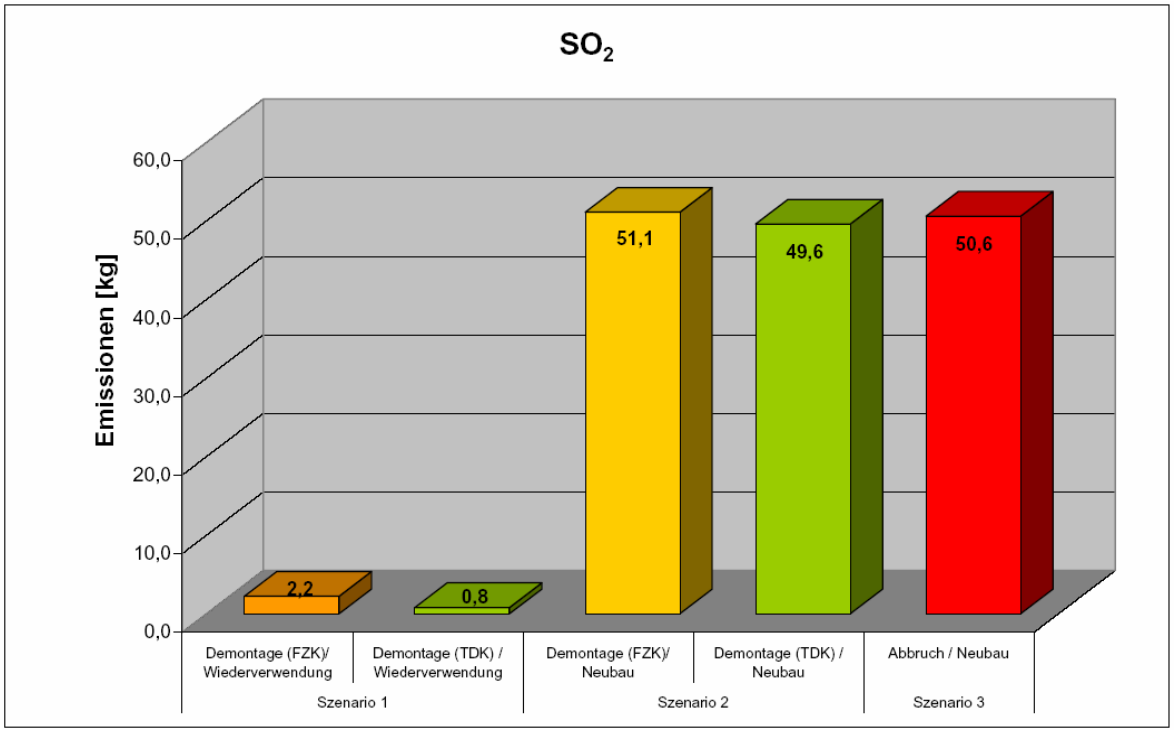


Abb. 161 : Vergleich der ermittelten energetisch bedingten SO_2-Emissionen der einzelnen Szenarien

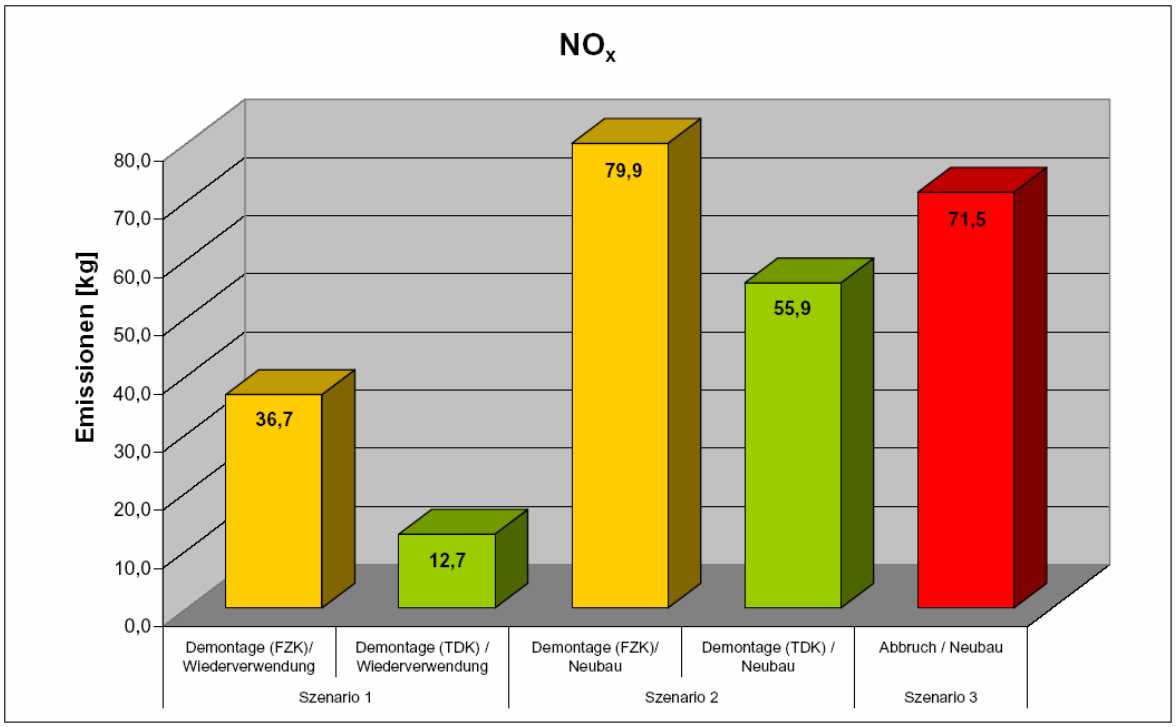


Abb. 162 : Vergleich der ermittelten energetisch bedingten NO_X-Emissionen der einzelnen Szenarien

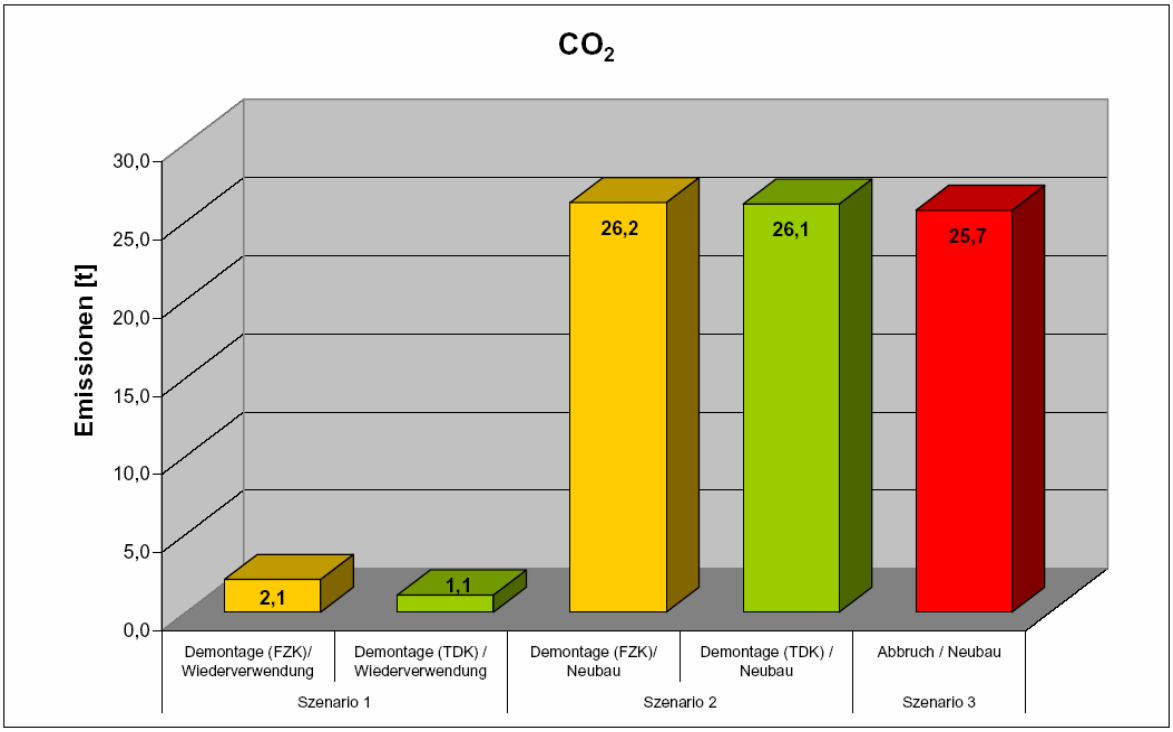


Abb. 163 : Vergleich der ermittelten energetisch bedingten CO_2-Emissionen der einzelnen Szenarien

Durch den Wiedereinsatz der demontierten Bauteile für eine WE mit einer Bauteilmasse von 60 t lassen sich die Emissionen von SO_2, NO_X und CO_2 deutlich senken. Ursache dafür sind die sehr hohen Emissionswerte der Bauteilneuherstellung.

Die Verringerung der Schadstoffbelastung der Atmosphäre durch die Demontage mit dem Fahrzeugkran und Wiederverwendung bezogen auf 1 t Altbetonbauteil gegenüber dem Abbruch und Neubau

soll nachfolgend ermittelt werden. Ausgegangen wird dabei von Transportentfernungen von je 30 km für den Transport der sekundären Elemente, der Neubauteile und der Betonmassen zur stofflichen Aufbereitung.

Für eine Gegenüberstellung des Wiederverwendungsszenario mit dem Abbruchszenario ergibt sich folgende Situation für drei gewählte Modelle:

Emissionen des Szenario 1: WV = Emissionen des Szenario 3: Ab

$$EM_{De} + EM_{TUL.WV} = EM_{Ab} + EM_{SRC} + EM_{TUL.SRC} + EM_{BE} + EM_{TUL.BE}$$

Modell 1: Rückbau/Demontage und Wiederverwendung vor Ort anstelle Abbruch und Neuproduktion

Daraus ergibt sich eine Emissionsreduzierung ohne Transport der sekundären Bauteile zur Wiederverwendung:

$$EM = EM_{Ab} - EM_{De} - EM_{TUL.WV} + EM_{SRC} + EM_{TUL.SRC} + EM_{BE} + EM_{TUL.BE}$$

EM_{SO2} = 0,812 kg/t

EM_{NOx} = 0,71 kg/t

EM_{CO2} = 400 kg/t

Modell 2: Rückbau/Demontage und Wiederverwendung in 30 km Entfernung anstelle Abbruch und Neuproduktion

Bei einer Transportstrecke von 30 km beläuft sich die Schadstoffreduzierung auf:

EM_{SO2} = 0,808 kg/t

EM_{NOx} = 0,66 kg/t

EM_{CO2} = 397 kg/t

Modell 3: Rückbau/Demontage und Wiederverwendung in 150 km Entfernung anstelle Abbruch und Neuproduktion

Bei einer Transportstrecke von 150 km beläuft sich die Schadstoffreduzierung auf:

EM_{SO2} = 0,795 kg/t

EM_{NOx} = 0,44 kg/t

EM_{CO2} = 384 kg/t

Angesichts der Tatsache, dass aus einem 6-geschossigen Wohnblock der WBS 70 mit 4 Eingängen bei einer Wiederverwendungsquote von ca. 64 % (alle Deckenplatten, Innenwände und Außenwände) ca. 2.624 t gebrauchsfähige Altbetonbauteile gewonnen, in einem Umkreis von 150 km verbaut und somit allein die Emission von 1.023 t des Treibhausgases CO_2 vermieden werden können, zeigt die ökologische Relevanz der Wiederverwendung sekundärer Bauteile.

8.5 Fazit – Ökologische Relevanz

Im Hinblick auf die allgegenwärtige Diskussion zur weltweiten Klimaveränderung und den damit verbundenen Forderungen nach Energieeinsparungen und der Reduzierung des Ausstoßes klimarelevanter Stoffe in die Atmosphäre zeigt sich die Wiederverwendung von Altbetonbauteilen aus dem industriellen Wohnungsbau als ein wirksames Mittel zur Umsetzung diese Ziele auf dem Bausektor. Durch den Einsatz sekundärer Betonelemente können der Energie- und Umweltverbrauch sowie der Schadstoffausstoß deutlich reduziert werden.

Nach den in Teil 1 dieses Endberichtes aufgeführten Erhebungen werden in den kommenden Jahren allein über Mittel des Stadtumbau-Ost Förderprogramms ca. 150.000 WE industriell errichteter Bauweisen in den ostdeutschen Bundesländern abgebrochen bzw. rückgebaut. Bei einer durchschnittlichen Bauteilanzahl von 30 Elementen pro WE fallen ca. 4,5 Mio. Betonelemente als Bauprodukt in Gänze an. Bei einer durchschnittlich angesetzten Wiederverwendungsquote von ca. 60 % (alle Deckenplatten, Außen- und Innenwände eines 6-geschossigen WBS 70) stünden ca. 2,7 Mio. gebrauchsfähige Altbauteile zur sekundären Verwendung bereit. Bei einer durchschnittlichen Bauteilmasse von ca. 3,5 t bedeutet dies ca. 9,5 Mio. t wieder verwendungsfähiger Bauteile. Durch deren Einsatz kann der Energieverbrauch bei einer Einsparung von 3,0 GJ/t (Transportentfernung 150 km) um 28.500 TJ gesenkt und der CO_2-Ausstoß um 3,65 Mio. t vermindert werden. Dies entspricht dem jährlichen Energiebedarf von ca. 2,2. Mio. Drei-Personen-Haushalten (ergo 6,6 Mio. Menschen). Die Haushalte Berlins[247] könnten damit fast ca. 2 Jahre mit Energie versorgt werden. Die durch die Wiederverwendung von 9,5 Mio. t Betonelemente eingesparte CO_2-Emission entspräche dem Ausstoß des Kraftwerks Schwarze Pumpe über 3,5 Monate (Land Brandenburg; Vattenfall Europe AG, Jahresemission 2006: ca. 12,2 Mio. t CO_2[248]).

[247] Einwohnerzahl Berlin lt. Statistisches Landesamt für Berlin Juni 2006: 3.399.500, Quelle: http://www.in-berlin-brandenburg.com/News/Infos/einwohner.html, Stand 02.07.2007.
[248] WWF: Dirty Thirty - Ranking of the most polluting power stations in Europe, May 2007, S.1.

9 Fazit - Wiederverwendung

Rückgebaute Betonelemente können entweder als Bauteil in Gänze ggf. aufgearbeitet oder in RC-Anlagen aufbereitet als Sekundärrohstoff resp. Recyclat nachgenutzt werden. Beide Kreislaufvarianten entsprechen dem übergeordneten Ziel der Nachhaltigkeitspolitik, natürliche Ressourcen zu schonen. Dem Produktrecycling kommt dabei jedoch eine herausragende Bedeutung zu, weil Wertschöpfung erhalten bleibt und somit die eingesetzten Stoffe (Materialien und Energie) weitgehend oder vollständig ausnutzbar sind. Weitere Energieeinsparungen ergeben sich aus der Substitution für neu herzustellende Betonbauteile. Außerdem trägt das Bauteilrecycling dem Vermeidungsgedanken von Bauabfällen gemäß §4 (1) Satz 1 KrW-/AbfG Rechnung (höchste Priorität). D.h. der Entstehung von Bauabfall wird vorgebeugt und Energie- sowie Stoffflüsse werden reduziert.

Wiederverwendungseignung

Die Bewertung der Wiederverwendungseignung von Betonelementen ist durch eine grundsätzliche Vorgehensweise gekennzeichnet, um die Entscheidungsfindung hinsichtlich der qualitativen Eigenschaften, statischen sowie technologischen Kriterien des Wiedereinsatzes der untersuchten Bauteile eindeutig abzusichern. Diese grundsätzliche Vorgehensweise beruht auf einem mehrstufigen Problemlösungsprozess aus Voruntersuchung und 3 Entscheidungsstufen.

Im Zuge der Voruntersuchung wird durch die Recherche und Auswertung von Projektierungsunterlagen sowie der Eruierung der vorhandenen Standortbedingungen die Rückbaufähigkeit resp. Demontierbarkeit des Gebäudes untersucht. Die Untersuchungen der Fachgruppe Bauliches Recycling erbrachten den Nachweis, dass die in industrieller Bauweise gefertigten Gebäude – a priori nicht demontabel errichtet - grundsätzlich demontierbar / rückbaufähig sind. Dies ermöglicht, Altbetonelemente zur sekundären Nutzung zu gewinnen.

Für die Beurteilung der Wiederverwendungseignung ist die Dauerhaftigkeit von gebrauchten Bauteilen aus Stahlbeton von entscheidender Bedeutung, da diese die Zeit des weiteren Einsatzes der Elemente bestimmt. Dauerhaftigkeit von Beton bedeutet, ein befriedigendes uneingeschränkt funktionsfähiges Verhalten eines Bauwerkes hinsichtlich der Tragfähigkeit, der Gebrauchsfähigkeit und seiner Ästhetik während der angestrebten Nutzungsdauer.

Im Rahmen der Eignungsprüfung (Entscheidungsstufe 1 - vor der Demontage) wurden in Vorortbegehungen umfangreiche Untersuchungen zum Bauzustand an ausgewählten Elementegruppen der Plattenbautypen WBS 70, P2, PN 36-NO vorgenommen. Diese umfassten neben den visuellen Begutachtungen baustoffliche und –technische Analysen und das bauphysikalische Verhalten der Bauteile.

Die visuellen Begutachtungen der Bauteile im eingebauten Zustand ergaben fast ausschließlich Einstufungen in die Bauzustandsstufe 1 und 2, welche die Funktionsfähigkeit der Bauelemente implizieren.

Gleiches gilt für die Ergebnisse der baustofflichen- / -technischen Untersuchungen. Die Einhaltung der lt. Projektierung geforderten Betondruckfestigkeitsklassen konnte eindeutig nachgewiesen werden. Teilweise liegen die ermittelten Druckfestigkeitswerte bis zu 6 Klassen (nach DIN EN 206-1:2001-07)

über den Anforderungen der Projektierung. Die nachgewiesene hohe Qualität der Betonbauteile konnte in den Untersuchungen zur Karbonatisierung bestätigt werden. Der Vergleich der Analyseergebnisse mit dem Verlauf der Zeitgesetzfunktion x_c zur Entwicklung der Karbonatisierungstiefe in Abhängigkeit von der Festigkeitsklasse und der Zeit zeigt, dass die ermittelten Werte deutlich unter den prognostizierten Ergebnissen der jeweiligen Festigkeitsklasse liegen. In der Gegenüberstellung der ermittelten Karbonatisierungshorizonte mit den Resultaten der Betondeckungsuntersuchungen stellt sich ein ausreichender Korrosionsschutz der Bauteile bei unveränderten Umweltbedingungen heraus. Die Anforderungen an die Betondeckung für den Einsatz der Elemente als Innenbauteil – Expositionsklasse XC1 – werden erfüllt. Ein Einsatz als Außenbauteil – Expositionsklasse XC 4- ist durch entsprechende Schutzmaßnahmen (Beschichtungen, Imprägnierungen u.ä.) möglich. Die Betondeckung stellt im Verhältnis zum Stabdurchmesser einen ausreichenden Haftverbund zwischen Beton und Bewehrungsstahl sicher.

Die zugrunde gelegten, vergleichenden Untersuchungen zur Tragfähigkeit basieren auf einem unveränderten Nutzungszweck im Vergleich zur primären Nutzung; also zum Wohnungsbau nach heute gültigen Vorschriften. Durch ergänzende Traglastversuche konnten die rechnerischen Nachweise untersetzt werden bzw. es konnten auch Tragfähigkeitsreserven an Spannbetondeckenplatten nachgewiesen werden.

Die durch die FG Bauliches Recycling durchgeführten bauphysikalischen Untersuchungen zum Schall-, Wärme- und Brandschutz ergeben Folgendes:

Hinsichtlich des Schallschutzes zeigt der Vergleich der damaligen Anforderungswerte nach TGL mit den heutigen Schallschutzanforderungen, dass die industriell errichteten Plattenbauweisen nicht die heutigen Anforderungen an den Schallschutz erfüllen. Die gewonnenen Messergebnisse von ca. 30 Einzelmessungen weichen zudem teilweise von den Rechenwerten ab. Das trifft besonders auf den Luftschallschutz von Wohnungstrenndecken und Wohnungstrennwänden zu. Als Ursache wurden Bau- und Verarbeitungsmängel aber auch konstruktive Zusammenhänge festgestellt. Auf bauakustische Sanierungs- oder Verbesserungsmaßnahmen kann bei einer Wiederverwendung der Bauteile im Wohnungsbau nicht verzichtet werden.

Der mangelnde Wärmeschutz der industriell errichteten Wohngebäude ist in der Regel in allen Wohnbautypen anzutreffen. Eine Wiederverwendung von Altbetonbauteilen im Wohnungsbau erfordert immer Ertüchtigungsmaßnahmen betreffs der Verbesserung der wärmeschutztechnischen Kennwerte.

Hinsichtlich des Feuerwiderstandes ist festzustellen, dass sich die Elemente, sofern sie nicht ertüchtigt werden, nur in Wohngebäuden mit einer Höhe bis zu 7 m wieder einbauen lassen. Denn die Gebäudeklasse 3 erfordert den Einsatz feuerhemmender Feuerwiderstandsklassen für Decken und Wände im Normalgeschoss. Bei einem sekundären Einsatz der Decken und Wände im Kellergeschoss ist dies bis zur Gebäudeklasse 2 (Wohngebäude mit einer Höhe bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m² Grundfläche) unaufgearbeitet möglich.

Auf der Grundlage des Ist-Zustandes an Standardkonstruktionen des P2-Typs zu bauphysikalischen Erfordernissen ist festzustellen, dass die Rohbau-Bauteile unter Berücksichtigung der aktuellen Anforderungen einen gewissen Aufwand erfordern, generell jedoch aufgearbeitet werden können. Die im

Endbericht empfohlenen Sanierungen sind auf andere industriell errichtete Gebäudetypen mit adäquat verbautem Sortiment übertragbar.

Die Entscheidungsstufe 2 (Hauptprüfung) trägt den Einflüssen der Demontage Rechnung. Zurückgewonnene Platten sind iterativ auf eventuelle Kanten-, Verbindungsmittel-, Tragösenbeschädigungen, Deformierungen und Rissbildungen zu kontrollieren. Es hängt vom jeweiligen Schadensbild der demontierten Elemente ab, ob ggf. Prüfkriterien der Entscheidungsstufe 1 wiederholt oder erweiternd abgearbeitet werden müssen.

Die Hauptprüfung der sekundären Betonbauteile wird nach erfolgter Demontage durchgeführt. Sie bezieht sich hauptsächlich auf die Untersuchung von Beschädigungen oder Mängeln, welche durch den Demontageprozess auftreten können. Baustoffliche- / -technische sowie bauphysikalische Parameter bleiben durch den Demontageprozess unberührt. Einzig kann der Bauzustand der Elemente durch den Rückbau negativen Veränderungen unterliegen. Deshalb ist durch eine wiederholte visuelle Begutachtung der Elemente nach dem Demontageprozess notwendig. Bei der wissenschaftlichen Begleitung verschiedener Rückbauvorhaben stellten sich vor allem

- Betonabplatzungen an Ecken und Kanten,
- Ausbrüche an Tragösen,
- freiliegende Bewehrung,
- Haar- und Biegerisse,
- Öffnungen für alternative Anschläge,
- anhaftende Tapetenreste,
- Anhaftungen von Beton- und Mörtelresten sowie von Ausbau- und Einbaumaterialien

als am häufigsten auftretende Mängel, Beschädigungen und/oder Schäden nach erfolgter Demontage dar.

Eine Zusatzprüfung (Entscheidungsstufe 3) wird notwendig, wenn wiederverwendungsfähige Betonfertigteile unsachgemäß gelagert oder die Dauer der Zwischenlagerung so lang war, dass Verschleißerscheinungen aufgetreten sind. Im Sinne einer ordnungsgemäßen Remontagevorbereitung würden dann an den betreffenden Elementen weitere Analysen des physischen Zustandes der Fertigteile zur Bewertung der Belastbarkeit und Benutzbarkeit notwendig werden.

Die von der FG Bauliches Recycling durchgeführten Untersuchungen bestätigen eindeutig, dass die Betonbauteile (das Betonalter liegt etwa zwischen 18 und 30 Jahren) noch über hohe Gebrauchseigenschaften verfügen. Die Wiederverwendbarkeit der demontierten Betonfertigteile aus industrieller Bausubstanz ist bei sachgemäßem Rückbau, Transport und Zwischenlagerung nicht nur möglich sondern sinnvoll. Baustoffliche und –technische Untersuchungen an Altbetonfertigteilen ergaben, dass sich für Wiederverwendungen insbesondere die ehemals tragenden Innenwände und die Deckenplatten von den Normalgeschossen eignen. Allerdings ist der sekundäre Verwendungszweck und somit die sekundären Anforderungen entscheidend, ob eine Ertüchtigung des Bauelementes erforderlich wird und wirtschaftlich vertretbar ist. Bis auf die Trennwände und diejenigen mehrschichtigen Außen-

wände, in denen Kamilit als Dämmstoff verwendet wurde, ist im Prinzip das gesamte Altbetonfertigteilsortiment nachnutzbar.

Für die Wiederverwendung von Altbetonelementen ist festzustellen, dass Schäden bei der Demontage, dem Transport und der Zwischenlagerung auftreten können. Geringfügige Abplatzungen an den Ecken und Kanten führen nicht zwangsläufig zu einer Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit. Die notwendigen Maßnahmen zur Aufarbeitung von sekundären Betonbauteilen sind in der DAfStb-Richtlinie – Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen verbindlich aufgeführt und zu Grunde gelegt worden.

Transport

In Abhängigkeit von der verkehrstechnischen Anbindung des Demontage- und Remontageortes und von der Art und Masse der zu transportierenden Bauteile ist das Transportmittel für die Beförderung der sekundären Bauteile vom Gewinnungs- zum Einsatzort zu wählen. Für den regionalen Bauteiltransport stellt der LKW mit hoher Wahrscheinlichkeit das wirtschaftlich günstigste Transportmittel dar. Bei größeren Entfernungen sind die Möglichkeiten des Schienen- und Schiffstransportes zu prüfen, insbesondere dann wenn De- und/oder Remontageort über Bahn- oder Hafenanbindung verfügen. Ein Transport über die Schiene oder den Wasserweg ist nur sinnvoll, wenn die zusätzlichen Aufwendungen für Umschlag, Zwischenlagerung, Vor- und Nachläufe durch die Vorteile des großen Transportvolumens mit geringerem Personalaufkommen abgedeckt werden.

Planung der Wiedeverwendung

Insgesamt ist der Bau von Häusern mit Altbetonbauteilen einem höheren Aufwand der Planung unterworfen. Insbesondere die Ausführungsplanung verlangt unmissverständliche Pläne und Details. Da es gegenwärtig noch keine allgemein anerkannten Regeln der Technik für den Einsatz von Gebrauchtbzw. RC-Betonelementen gibt, bedürfen sie einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung, eines allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses oder einer Zustimmung im Einzelfall. Deshalb ist der Genehmigungsaufwand für eine Wiederverwendung unter Umständen außerordentlich zeitintensiv.

Zudem erfordern Wiederverwendungsmaßnahmen eine logistische Optimierung. Diese trifft für die Bereitstellung der Alt-/RC-Betonelemente zu und für sämtliche TUL-Prozesse. Es kann hervorgehoben werden, dass insbesondere die Wiederverwendung von geometrisch unveränderten Betonbauteilen den Verfahrensprozess auf der Baustelle erleichtert, da die Schaffung alternativer Anschlagmöglichkeiten entfällt oder die für die Demontage geschaffenen genutzt werden können. Sofern Sägearbeiten erforderlich werden, hat dies Auswirkungen sowohl auf den Bauablauf als auch auf die Kosten. Bei ausschließlicher Verwendung von Alt-/RC-Betonbauteilen im Hausbau greift der Vorteil des industriellen Bauens. Zusätzliche Arbeiten, wie die Herstellung von Mauerwerk und Ringankern und deren Anbindung an die restliche Bausubstanz können i.d.R. entfallen. Ein hundertprozentiger Einsatz von Altbetonbauteilen ist durchaus denkbar. Die Spannbetondecken mit einem Systemmaß von 6 m lassen dem Architekten viel Freiheit in der Gestaltung.

Empfohlen wird die Planung der Wiederverwendung von Betonfertigteilen an ein konkretes Rückbauvorhaben (Spendergebäude) zukoppeln. So kann der Architekt den Wiederneubau direkt an das ver-

baute Elementesortiment des Spendergebäudes anpassen. Die Verfügbarkeit des gewünschten Elementesortiments ist direkt auf der Demontagebaustelle zu prüfen, die benötigten Betonfertigteile sind zu begutachten und zu kennzeichnen. Der direkte Kontakt und eine zeitnahe Absprache mit dem rückbauausführenden Unternehmen sind für das Gelingen des Wiederneubaus von entscheidender Bedeutung. Die Rückbaufirma sollte zu größtmöglicher Sorgsamkeit bei der Demontage der Betonfertigteile angehalten werden, um Beschädigungen durch den Demontageprozess weitestgehend auszuschließen. Sofern die Rückbaufirma auch den Zuschlag für den Wiederneubau erhält, erübrigt sich diese Forderung von selbst. Der Planer sollte einige Tage vor dem Abtransport die zwischengelagerten Elemente vor Ort noch einmal in Augenschein nehmen und die Anzahl bzw. das Sortiment überprüfen.

Auf der Remontagebaustelle sind die Elemente entsprechend ihrer Einbaureihenfolge sortiert und fachgerecht zwischenzulagern. Der Anschlag der sekundären Bauteile sollte möglichst über die vorhandenen originalen Tragösen erfolgen, so weit diese noch vorhanden und nicht durch die Demontage oder TUL-Prozesse beschädigt wurden. Eine Inaugenscheinnahme der Ösen hinsichtlich ihrer Nachnutzbarkeit ist unabdingbar. Werden alternative Anschlagspunkte erforderlich, so sind zum Teil erhöhte Anforderungen an die Zugänglichkeit der einzelnen Bauteile zu stellen.

Vor der Remontage sind die Bauteile visuell auf evtl. Schadstellen (Risse, Abplatzungen u.a.) zu prüfen. Die Remontage der Elemente kann mit den üblichen Geräten und Arbeitsmitteln und gleichem Arbeitskräfteeinsatz wie bei der Montage neuer Fertigteilelemente ausgeführt werden. Der Kranstandort ist so zu wählen, dass eine Entnahme und der Einbau der Betonbauteile ohne zusätzliches Umsetzen möglich sind. Die Auflager der zu remontierenden Elemente sind von Anhaftungen (Mörtelreste u.a.) zu befreien, zu säubern und vorzunässen, um eine optimale Verbindung des Auflagermörtels mit dem Untergrund und dem Altbetonelement sicher zu stellen. Die vertikale und horizontale Ausrichtung der Wandbauteile sowie deren Sicherung erfolgt über Montagestreben. Diese sind sicher in den Untergrund und im Bauteil zu befestigen. Die Anbindung der Montagestreben an den Untergrund kann über Schwerlastdübel (Einschlagbolzen) realisiert werden. Für die Befestigung an den Wandelementen eignen sich Durchstecksysteme, da diese leicht entfernt und die entstanden Löcher verschlossen werden können.

Bei ausschließlichem Einsatz von Altbetonbauteilen kann der Ringanker über die Verschweißung der bereits vorhandenen Ringankerbewehrung in den Bauteilen geschlossen werden. Dabei müssen die Enden der Verbindungsstähle freigelegt und gesäubert werden. Die Verbindung erfolgt über die Zulage von Stählen gleichen Abmaßes. Ebenso können zur Herstellung der Deckenscheibe die Verbindungseisen der Altbetondeckenplatten wieder miteinander verbunden werden. Es ist zu beachten, dass über die Bauteilverbindung die Übertragung von Druck-, Zug- und Schubkräften gewährleistet sein muss. Reprofilierungen und Betonausbrüche oder –abplatzungen können im Zuge des Fugenverschlusses erfolgen.

Sofern verschiedene Materialien für Wände (Mauerwerk) verwendet werden, empfiehlt sich die Herstellung eines aufgesetzten Ringankers. So können u.a. Höhenunterschiede ausgeglichen werden. Die kraftschlüssige Verbindung des Ringankers mit den Altbetonwänden sowie die Anbindung der Deckenscheibe muss hierbei sichergestellt werden.

Der Einsatz von Altbetonwänden im Außenbereich eines Wohngebäudes ist auf Grund der wärmetechnischen Anforderungen immer mit der Ausführung einer Wärmeschutzfassade verbunden. Somit sind auch der Fassadengestaltung des Bauwerkes keine Grenze gesetzt. Die jeweiligen Bedürfnisse und Wünsche des Bauherrn sind umsetzbar. Der Charakter eines Plattenbaus kann hervorgehoben (Sichtbarmachen der Fugen)oder versteckt (verputzt, verkleidet) werden. Analog gilt dies für den Innenausbau. Es bestehen die gleichen Optionen wie für jede andere konventionelle Bauweise.

Sekundäre Einsatzmöglichkeiten für Alt-/RC-Betonelemente

Dass der Wiederneubau technisch machbar, ökologisch sowie preislich vorteilhaft ist und kreativen Gestaltungsspielraum zulässt, ist durch eine Vielzahl von Entwürfen und vor allem durch realisierte Pilotprojekte unter Beweis gestellt worden. Der breite Spielraum für die Wieder- und Weiterverwendung gebrauchter Betonbauteile zeigt sich in den bereits fertig gestellten, derzeit ausgeführten, geplanten und in der Entwurfsphase befindlichen Bauten und Bauwerken. Diese Einsatzmöglichkeiten umfassen die Bereiche

- Wohnungsbau: Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäuser, Ferienhäuser und Bungalows,
- Gesellschaftsbau: Vereinshäuser, Sportstätten, Sozialbauten, Pavillons,
- Mehrzweckbau: Carports, Garagen und Werkstätten, Überdachungen für Fahrradständer,
- Landschafts-, Park- und Gartenbau: Kletterfelsen, Boulderwände, Freitreppen, Platz- und Wegbefestigungen, Sitzgelegenheiten, gestalterische Elemente im Wohnumfeld, in Tierparks
- Umweltschutzmaßnahmen: Lärmschutzwände, zur Deichstabilisierung,
- Landwirtschaftsbau: Silos, Platzbefestigungen, Tierställe….

Wiederverwendungspotenzial

In den nächsten Jahren ist mit einer verstärkten Umsetzung von Rückbauvorhaben zu rechnen. Begründungen für diese Vorhersage liegen vor allem im greifenden Umdenkungsprozess in der Stadtplanung hinsichtlich der Eindämmung der Perforierung von Siedlungsgebieten durch innerstädtische Brachflächen auf Grund von Totalabbrüchen und deren Folgen für die gesamte Infrastruktur des Wohngebietes. Gleichzeitig müssen Wohnungsunternehmen bei der Ausführung von Abbruchvorhaben häufig starke Mieterfluktuationen zu anderen Anbietern in Kauf nehmen. Eine direkte Mieterbindung bei gleichzeitiger Leerstandsbekämpfung lässt sich vor allem durch Rückbaumaßnahmen im bewohnten Zustand erreichen. Zudem wird der größte Teil von „Problemgebäuden“ mit sehr hohen Leerstandsquoten bereits beseitigt sein, so dass die Leerstandszahlen von Einzelgebäuden nicht mehr auf diesen extrem hohen Level stehen. Hier bietet sich der Teilrückbau als Problemlösung an. Reflektiert wird dies auch aus vielen Gesprächen mit Wohnungsunternehmen: „Erst nachdem der hohe Leerstand mittels Abbruch beseitigt ist, wird der Teilrückbau verstärkt greifen, verknüpft mit der Aufwertung des verbleibenden Bestandes.“ Daher ist die Verfügbarkeit von Altbetonbauteilen aus Rückbauvorhaben auch in den nächsten Jahren gesichert.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Ein Rückbau ausschließlich zur Gewinnung von wiederverwendbaren Bauteilen wird nicht stattfinden. Erst wenn die Alt-/RC-Betonelemente ab einem Quadratmeterpreis für Sekundärbauteile von mind. 30 € abgesetzt/verkauft werden, können die Demontagekosten kompensiert werden. Vorausgesetzt alle wiederverwendbaren Bauteile also Deckenplatten, tragende Innenwände, Außenwände sind zum Mindestpreis zu verkaufen. Da derzeit nur ein schwach funktionierendes Marktsegment für Altbetonbauteile zu verzeichnen ist und zudem ein Überangebot an Sekundärbauteilen aus Rückbauvorhaben besteht, sind diese zum Teil kostenfrei oder gegen Zahlung eines obligatorischen Betrages ab Baustelle verfügbar. Das Rückbauunternehmen und der Bauherr eines Rückbauvorhabens kann durch die Abgabe der Altbetonbauteile Einsparungen bei den Entsorgungskosten von ca. 1,70 €/m² Bauteilfläche (ca. 5 €/t) erzielen. Selbst eine Abgabe wiederverwendbarer Bauteile zu null € ermöglicht einen wirtschaftlichen Vorteil.

Für die Wiederverwendung von Altbetonbauteilen wurde zunächst davon ausgegangen, die Kosten für die Gewinnung und Bereitstellung zu vernachlässigen. Entscheidende Kostenpunkte für die Herstellung von Wand- und Deckenflächen aus sekundären Betonbauteilen sind:

1. Bauzustandsuntersuchungen
2. der Transport,
3. evtl. erforderliche Bauteilaufarbeitungen,
4. Remontagekosten.

Die Bereitstellung eines Wandelementes zur Wiederverwendung kostet bei einer Transportentfernung von 30 km ca. 23 €/m² einer Deckenplatte ca. 31 €/m².

Ausgehend davon, dass die Übernahme der sekundären Bauteile vom Bauherrn des Rückbaus oder der ausführenden Firma kostenfrei erfolgt, der Transportweg der Altbetonbauteile nicht länger als 30 km ist, keine zusätzlichen konstruktiven Aufwendungen gegenüber der Einbausituation im Spendergebäude (zusätzlicher Ringanker u.ä.) und keine weiteren Arbeiten zur Bauteilaufarbeitung erforderlich sind, wurde an einem Fallbeispiel eine Kostenreduzierung für die Herstellung von Wand- und Deckenflächen von mindestens 56,6 % gegenüber dem Einsatz konventioneller Bauweisen ermittelt.

Ausgeführte Vorhaben belegen, dass durch die Wiederverwendung von Altbetonbauteilen die Rohbaukosten um 10 – 41 % je nach gewählter konventioneller Bauweise, Wiederverwendungsgrad und Bauausführung reduziert werden können. Der finanzielle Vorteil, der sich für den Bauherrn von Wiederneubauten erweist, konnte eindeutig belegt werden.

Durch die Wiederverwendung von einem Quadratmeter Altbetonbauteil können unter Einbeziehung der Kosten für den Prozess von Rückbau und Wiederverwendung durchschnittlich ca. 58 €/m² bezogen auf die Bauteilfläche gegenüber dem Rückbau und konventionellen Neubau eingespart werden. Gegenüber dem Abbruch und Neubau sind es 43 €/m². Somit zeigt sich ein wirtschaftlicher Vorteil von 55 % gegenüber Demontage/Neubau resp. 47 % gegenüber Abbruch/Neubau in Folge des Erhaltes der Wertsschöpfung sekundärer Bauteile.

Ökologisches Screening

Für den Wiederneubau einer Wohneinheit aus ca. 60 t Altbetonbauteilen ergibt sich eine Ressourceneinsparung von ca. 8,4 t Zement, 45,6 t Gesteinskörnung, 4,8 t Zugabewasser und 0,5 t Bewehrungsstahl. Das energetisch deutlich günstigste Szenario ist die Demontage und Wiederverwendung der Bauteile. Die Demontage resp. der Abbruch und die stoffliche Aufbereitung aller demontierten Bauteile sowie die Neuproduktion der für die Errichtung des Neubaugebäudes notwendigen Betonelemente weist einen 10-fachen Energieaufwand aus. So können bei einer Wiederverwendung mit einer Transportentfernung von 30 km mind. 3,1 GJ pro Tonne Altbetonbauteil eingespart werden. Dies entspricht vergleichsweise einem Energiebedarf eines 3-Personen-Haushaltes (12,6 GJ/a) in einem viertel Jahr. Bei einer Transportentfernung zum Remontageort von 150 km sind es immer noch 3,0 GJ. Durch die Wiederverwendung von 60 t sekundärer Bauteile 30 km weit transportiert, ergibt sich eine Reduzierung des Energieverbrauchs von 186 GJ. Mit dieser Energiemenge könnte der Energiebedarf gemessen an 15 Drei-Personen-Haushalten über ein Jahr gedeckt werden. Der Wiedereinsatz von demontierten Bauteilen für eine WE mit einer Bauteilmasse von 60 t senkt die Schadstoffemissionen von SO_2 um 48,5 kg, NO_X um 39,6 kg und CO_2 um 23,8 t. Dabei liegt die Schadstoffreduzierung bei 0,808 kg SO_2, 0,66 kg NO_X und 397 kg CO_2 je wiederverwendeter Tonne Altbetonbauteil.

Im Hinblick auf die allgegenwärtige Diskussion zur global Klimaveränderung und den damit verbundenen Forderungen nach Energieeinsparungen und der Reduzierung des Ausstoßes klimarelevanter Stoffe in die Atmosphäre zeigt sich die Wiederverwendung von Altbetonbauteilen aus dem industriellen Wohnungsbau als ein wirksames Mittel, diese Ziele auch auf dem Gebiet des Bauwesens umzusetzen. Durch den Einsatz sekundärer Betonelemente kann der Energie- und Umweltverbrauch sowie der Schadstoffausstoß deutlich reduziert werden.

Abkürzungsverzeichnis

Ab	Abbruch	max	maximal
Abb.	Abbildung	min	minimial
Abs.	Absatz	Mio.	Millionen
Abschn.	Abschnitt	Mrd.	Milliarden
allg.	allgemein	n	Anzahl
AW	Außenwand	n.e.	nicht erfüllte
BE	Betonelement	n.v.	nicht vorhanden
bzgl.	bezüglich	OG	Obergeschoss
BZS	Bauzustandstufe	OFF	Oberfläche Fertigfußboden
bzw.	beziehungsweise	PAK	polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
ca.	circa	RC	Recycling
d.h.	das heißt	Pkt.	Punkt
De	Demontage	rd.	rund
DG	Dachgeschoss	resp.	Respektive
DKP	Dachkassettenplatte	s.	siehe
DP	Deckenplatte	sog.	so genannt
E	Energieaufwand	spezif.	spezifisch
EG	Erdgeschoss	SRC	stoffliches Recycling / stoffliche Verwertung
EM	Emissionen	Tab.	Tabelle
entspr.	entsprechend / entspricht	TDK	Turmdrehkran
etc.	et cetera	TUL	Transport, Umschlag, Lagerung
FG	Fachgruppe	TW	Trennwand
FoPo	Forschungsprojekt	u.E.	unseres Erachtens
FZK	Fahrzeugkran	u.v.a.	und viele andere
GB	Grundbedingung	usw.	und so weiter
ggf.	gegebenenfalls	u.U.	unter Umständen
i.d.R.	in der Regel	v.a.	von allen
i.M.	im Mittel	vgl.	vergleiche
IW	Innenwand	WBS	Wohnbauserie
K	Kosten	WE	Wohneinheiten
k.A.	keine Angaben	Wfl.	Wohnfläche
KG	Kellergeschoss	WV	Wiederverwendung
Kita	Kindertagesstätte	WVW	Wiederverwertung
KMF	künstliche Mineralfasern	z.B.	zum Beispiel
KV	kombinierter Verkehr	z.T.	zum Teil
LS	Lehrstuhl	zul.	zulässig
lt.	laut		

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 : Darstellung der angestrebten Kreislaufführung in der Baubranche 8
Abb. 2 : Lebenszyklus eines Baustoffes/Bauelementes 9
Abb. 3 : Denkbare Einsatzbereiche zur Nachnutzung gebrauchter Betonelemente mit der Möglichkeit der Vermarktung [METTKE] 16
Abb. 4 : Möglichkeiten zur optimalen Nachnutzung von Gebäuden und baulichen Anlagen 17
Abb. 5 : Grundbedingungen der Wiederverwendungseignung 19
Abb. 6 : Untersuchungsprogramm Bauzustand Betonelemente 20
Abb. 7 : Häufigkeitsdiagramm ermittelter Druckfestigkeitswerte für Spannbetondeckenplatten P2 und WBS 70 30
Abb. 8 : Häufigkeitsdiagramm ermittelter Druckfestigkeitswerte für Innenwandelemente P2 und WBS 70 31
Abb. 9 : Entwicklung der Karbonatisierungstiefe in Abhängigkeit von der Festigkeitsklasse und der Zeit 33
Abb. 10 : Darstellung eines Bohrkerns (Deckenelement WBS 70, Dresden) nach der Bestimmung der Karbonatisierungstiefe – hier: alkalische (unversehrte) Bereiche mit violetter Verfärbung 33
Abb. 11 : Darstellung der Karbonatisierungstiefe der Deckenplatten des Typs WBS 70 34
Abb. 12 : Karbonatisierungstiefe der Innenwände des Typs WBS 70 35
Abb. 13 : Karbonatisierungstiefe der Außenwände des Typs WBS 70 35
Abb. 14 : Darstellung der Karbonatisierungstiefe der Deckenplatten des Typs P2 36
Abb. 15 : Darstellung der Karbonatisierungstiefe der Innenwände des Typs P2 37
Abb. 16 : Karbonatisierungstiefe der Außenwände des Typs P2 37
Abb. 17 : Maßgebliche Expositionsklassen im Wohngebäudebau 39
Abb. 18 : Hilti-Ferroscan-System FS 10 zur Ermittlung der Betondeckung 41
Abb. 19 : Graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung der vorhandenen mittleren Betondeckung c von 32 Spannbetondeckenplatten des Typs WBS 70 42
Abb. 20 : Graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung der vorhandenen mittleren Betondeckung c von 52 Spannbetondeckenplatten des Typs P2 43
Abb. 21 : Graphische Darstellungen der Häufigkeitsverteilung der vorhandenen mittleren Betondeckung c von 37 schlaff bewehrten Deckenplatten der Typenserie P2 44
Abb. 22 : Graphische Darstellungen der Häufigkeitsverteilung der vorhandenen mittleren Betondeckung c von 50 Innenwänden der Typenserie P2 45
Abb. 23 : Graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung der vorhandenen mittleren Betonfestigkeit c von 23 Geschoßdecken des Bautyps PN 36-NO 46
Abb. 24 : Zwischengelagerte Deckenplatten im Außenbereich 54
Abb. 25 : Belastungsanordnung und Einrichtung Spannbetondeckenplatte 22 006 (li.) und Versuchseinrichtung (re.) 54
Abb. 26 : Lage der Krafteinleitungslinien und Messstellen zur Untersuchung des Tragverhaltens 55

Abb. 27 : Dehnmessstreifen in der Zugzone (li.); freigelegter Bereich zur Ermittlung der Dehnung des Spannstahles unter Lasteinwirkung (mi.); Messung der Querkraftspannung (re.) 56
Abb. 28 : Last-Zeit-Diagramm, anlehnend an DIN EN 1356: 1997-2..... 56
Abb. 29 : Kraft-Weg-Diagramm Spannbetondeckenplatte 1, Elemente-Nr. 22006..... 57
Abb. 30 : Kraft-Dehnungs-Diagramm Spannbetondecke 1, Elemente-Nr. 22006 58
Abb. 31 : Kraft-Dehnungs-Diagramm Spannbetondecke 1, Elemente-Nr. 22006 59
Abb. 32 : Last-Zeit-Diagramm anlehnend an DIN EN 1356: 1997-02..... 60
Abb. 33 : Kraft-Weg-Diagramm Stahlbetondecke 2, Elemente-Nr. 21 120..... 61
Abb. 34 : Kraft-Dehnungs-Diagramm Stahlbetondecke 2, Elemente-Nr. 21 120..... 62
Abb. 35 : P Kraft-Weg-Diagramm Stahlbetondecke 3, Elemente-Nr. 21 120 62
Abb. 36 : Kraft-Dehnungs-Diagramm Stahlbetondecke 3, Elemente-Nr. 21 120..... 63
Abb. 37 : Infrarotaufnahmen einer Gebäuderückseite (li.); Anschluss Giebelaußenwand-Kellerdecke EG im Kinderzimmer (re. oben), im Bad (re. unten)..... 72
Abb. 38 : Infrarotaufnahmen Anschluss Giebelaußenwand-Kellerdecke EG im Wohnzimmer 72
Abb. 39 : Typische Wärmebrücken und Luftundichtheiten an Fensteranschlüssen mit Bestandsfenstern..... 73
Abb. 40 : Infrarotaufnahmen Außenwandecke Kinder- (li.) und Wohnzimmer (re.), oberstes Wohngeschoss 73
Abb. 41 : Exemplarische Darstellung der Messpunkte und des Belastungsplanes zur Untersuchung des Feuerwiderstandes – Spannbetondeckenplatte 21000 77
Abb. 42 : Brandraum (li.) und Simulation Belastung (re.)..... 77
Abb. 43 : Prüfanordnung / Lage der Brandraummessstellen – Spannbetondeckenplatte 21000..... 78
Abb. 44 : Temperaturerhöhung auf der unbeflammten Deckenoberfläche – Spannbetondeckenplatte21000 (Probe I)..... 79
Abb. 45 : Durchbiegung in Richtung Brandraum – Spannbetondeckenplatten21000 (P2-Typ) 80
Abb. 46 : Durchbiegung in Richtung Brandraum – Sahlbetondeckenplatten21119, 21120 (P2-Typ).. 80
Abb. 47 : Vergleich der Anteile der Bauzustandstufen der Bauteile vor der Demontage (Fallbeispiel)83
Abb. 48 : Vergleich der Anteile der Bauzustandstufen der Bauteile nach der Demontage (Fallbeispiel) 83
Abb. 49 : Vergleich der Anteile der Bauzustandstufen der Bauteile nach dem Transport (Fallbeispiel) 87
Abb. 50 : Zusammenstellung der Ergebnisse der Bauzustandsuntersuchungen über den gesamten Rückbauprozess (Fallbeispiel Gröditz)..... 88
Abb. 51 : Zwischenlagerung und Transport von Deckenplatten 110
Abb. 52 : Anordnung der Stapelhölzer bei Deckenplattenstapeln (li., mi.); Bauteilbruch durch unsachgemäße Anordnung der Stapelhölzer (re.) 111
Abb. 53 : A-Bock, Transportvorbereitung, Sicherung der Türschäfte und Zwischenlagerung von Außenwandelementen (v.l.n.r.) 111
Abb. 54 : Fahrzeuge für den Straßentransport von Fertigteilen a) Sattelzug gemäß StVZO b) Zugmaschine mit Plattformanhänger gemäß StVZO c) Sattelzug mit Plattformauflieger d) Sattelzug mit Nachläufer e) Tiefladeanhänger zum Transport von Deckenplatten auf Palette f)

Tieflader-Sattelzug mit absetzbarem Ladegerüst zum stehenden Transport von Wandelementen ... 113
Abb. 55 : Innenlader (li.), A-Bock (mi.), Plattentransportsattelzug (re.) ... 115
Abb. 56 : Einsatz von Paletten für Wandelemente des VEB Baumechanik Heringsdorf ... 115
Abb. 57 : Einsatz von Containern für den Bauteiltransport ... 116
Abb. 58 : Modelldarstellung „Haus Pieper“ ... 128
Abb. 59 : Schnitt „Haus Pieper“ ... 128
Abb. 60 : Grundriss des Erd- und Obergeschosses (blau / grün dargestellt: wiederverwendete Elemente) ... 129
Abb. 61 : Zwischenlagerung und Schneiden der sekundären Betonbauteile ... 132
Abb. 62 : Remontage der Wandelemente ... 132
Abb. 63 : Ringanker (li.); zusätzliche Sicherung der remontierten Wandbauteile (mi., re.) ... 132
Abb. 64 : Montagezwischenzustand: Abstützung der Deckenelemente (li.), Remontage der Dachkassettenplatten ... 132
Abb. 65 : Musterhaus, Vorderansicht oben, Hinteransicht unten ... 135
Abb. 66 : Grundriss des Musterhauses ... 136
Abb. 67 : Alternativen zur Gestaltung der Raumhöhe durch Fußbodenaufbau, Sockel, Wärmedämmung (v.l.n.r.) ... 137
Abb. 68 : Ein- und zweigeschossigen Variante – EFH ... 138
Abb. 69 : Grundriss der eingeschossigen Variante (98 m²) (li.) sowie des Erd- (93 m²) und Obergeschosses (84 m²) der zweigeschossigen Variante – EFH ... 138
Abb. 70 : Rohbauzustand – EFH ... 138
Abb. 71 : Doppelhaus in Eggesin ... 139
Abb. 72 : Zweifamilienhaus in Bröthen ... 139
Abb. 73 : Stadtvillen in Cottbus, Sachsendorf ... 140
Abb. 74 : Einfamilienhaus in Mehrow (Rohbau) ... 140
Abb. 75 : Einfamilienhaus in Plauen ... 140
Abb. 76 : Einfamilienhaus in Leinefelde ... 141
Abb. 77 : Mehrfamilienhaus in Mühlhausen (Modell) ... 141
Abb. 78 : Perspektivische Darstellung des Einfamilienhauses – Variante 1 (Generationenhaus) ... 143
Abb. 79 : Perspektivische Darstellung des Einfamilienhauses – Variante 2 (mit Dachterrasse) ... 143
Abb. 80 : Grundrisse des Einfamilienhauses Kellergeschoss (li.), Erdgeschoss (re.) ... 143
Abb. 81 : Grundrisse des Einfamilienhauses Obergeschoss - Variante 1und 2 (v.l.n.r) ... 144
Abb. 82 : Schnitte des Einfamilienhauses - Variante 1und 2; Perspektive Wohnraum (v.l.n.r) ... 144
Abb. 83 : Grundrisse der Shell-Haus-Konstruktionen. eingeschossig (li.), zweigeschossig EG (mi.) OG (re.) ... 145
Abb. 84 : Modell der Shell-Haus-Konstruktionen. eingeschossig ... 145
Abb. 85 : Grundrisse der Doppelhaus-Konstruktion ... 146
Abb. 86 : Modell der Doppelhaus-Konstruktion ... 146
Abb. 87 : Grundrisse der Reihenhaus-Konstruktion ... 147
Abb. 88 : Modell der Reihenhaus-Konstruktion ... 147

Abb. 89 : Vereinshaus Sportverein 1911Gröditz e.V. - Modell 148
Abb. 90 : Vereinshaus Gröditz zwischengelagerte Platten (li.), Betonieren der Frostschürze (re.) ... 149
Abb. 91 : Vereinshaus VFC Plauen e.V. - Planung 149
Abb. 92 : Rückbau, Transport und Zwischenlagerung der sekundären Bauteile - Vereinshaus Plauen 150
Abb. 93 : Remontage der Wandelemente eines Segmentes - Vereinshaus Plauen 150
Abb. 94 : Zwischenbauzustände der Remontage eines Segmentes - Vereinshaus Plauen 150
Abb. 95 : Fassadengestaltung - Vereinshaus Plauen 151
Abb. 96 : Innenausbau - Vereinshaus Plauen 151
Abb. 97 : Fertiggestellte Segmente - Vereinshaus Plauen 151
Abb. 98 : Raumplanung - Vereinshaus Kolkwitz 152
Abb. 99 : Geplante Wiederverwendung von Betonfertigteilen - Vereinshaus Kolkwitz 152
Abb. 100 : Altes Vereinsgebäude (li.), Spendergebäude (mi.), Zwischenlager (re.) - Vereinshaus Kolkwitz 153
Abb. 101 : Entwurf eines Bürogebäudes Ansicht (li.) Schnitt (re.) 154
Abb. 102 : Entwurf eines Bürogebäudes Grundriss (li.) Deckenverlegeplan (re.) 154
Abb. 103 : Entwurfsidee zum Gästehaus mit Café von Prof. Jo Ackermann, Ayse Hicsasmaz, Heinrich Weid 155
Abb. 105 : Modellfoto zum Entwurf Gästehaus mit Café von Minka Kersten, Andreas Kopp 156
Abb. 106 : Modellfoto einer Baueinheit als Pavillon (li.); Explosionsperspektive (re.) 157
Abb. 107 : Grundriss einer Baueinheit und mögliche Anordnungen mehrerer Baueinheiten 157
Abb. 108 : Entwurf einer Raststätte aus einer Baueinheit als quadratische Variante, mehreren Baueinheiten als Längsvariante 157
Abb. 109 : Entwurf eines Bürgerhauses; konzeptionelle Darstellung und Grundrisse 158
Abb. 110 : Carportanlage in Waltershausen 159
Abb. 111 : Rückbau, Transport und Zwischenlagerung der sekundären Bauteile – Garage in Weißwasser 159
Abb. 112 Zwischenbauzustände der Remontage – Garage in Weißwasser 160
Abb. 113 : Ausführung der Auflager und Bauteilverbindungen der Wandelemente – Garage in Weißwasser 160
Abb. 114 : Abgeschlossene Remontage – Garage in Weißwasser 160
Abb. 115 : Isometrische Darstellung und Verlegeplan der Sohl- und Wandelemente 161
Abb. 116 : Draufsicht Swimmingpool und Schnitt durch die Baugrube 162
Abb. 117 : Spendergebäude 1. Mittelschule „Sigmund Jähn“ (li.), Rückbau (mi.), Zwischenlager - Freizeitpark Gröditz 163
Abb. 118 : Vorentwurf – Freizeitpark Gröditz 163
Abb. 119 : Vorbereitung der Bauteile (Sandstrahlen), Errichtung Lange, Wand, Baumhaus, Lange Treppe – Freizeitpark Gröditz 164
Abb. 120 : Fertiggestellte Gestaltungselemente des 1. BA: Plattenberg, Baumhaus, Tore, Lange Wand und Lange Bank, – Freizeitpark Gröditz 164

Abb. 121 : Fertiggestellte Gestaltungselemente des 2. und 3. BA: Flöße, Sternschnuppen und Lange Treppe, – Freizeitpark Gröditz 164
Abb. 122 : Freitanzfläche des Sportvereins „Wacker 09“ Ströbitz 165
Abb. 123 : Kletterfelsen in Leipzig-Grünau (li.) und Berlin (mi.), Boulderwand in Cottbus (re.) 166
Abb. 124 : Gestaltung der Außenanlage des Jugendzentrums Leinefelde 167
Abb. 125 : Gestaltung des Japanischen Gartens in Leinefelde 167
Abb. 126 : Wohnumfeldgestaltung in Dresden - Gorbitz 167
Abb. 127 : Freistehende Markise, Durchgang innerhalb einer Erdmauer (re.) 167
Abb. 128 : „Ecken in der Landschaft“ (li.), „Das Abendmahl“ (mi.), „Blumen“ (re.) 168
Abb. 129 : Aufbau des Großversuchs der FG Bauliches Recycling zum Einsatz gebrauchter Betonbauteile im Deichbau 169
Abb. 130 : Einsatz gebrauchter Betonbauteile im Deichbau als Innendichtung (li.), Oberflächendichtung (mi.) und Überlaufstrecken (re., im Hintergrund) 169
Abb. 131 : Regenwasserauffangbecken 170
Abb. 132 : Grabenüberquerung aus ostdeutschen Altbetondeckenplatten in den Niederlanden (li.), Böschungsbefestigung am Zu- und Ablauf des Versuchsdeichkörpers der FG Bauliches Recycling (vgl. Abschn. 6.4.1) 171
Abb. 133 : Siloanlagen aus sekundären Betonelementen in den Niederlanden 171
Abb. 134 : Altbetonbauteile als Trennwände zur Lagerhaltung verschiedener Schüttgutfraktionen in den Niederlanden 171
Abb. 135 : Entwicklung der Rückbaukosten 175
Abb. 136 : Annahmepreise für Stahlbetonbruch (Kantenlänge > 60 cm) und für Bauschutt 178
Abb. 137 : Abhängigkeit der Transportkosten von der transportierten Bauteilanzahl 2006 184
Abb. 138 : Abhängigkeit der Transportkosten von der transportierten Bauteilmasse 2006 184
Abb. 139 : Abhängigkeit der Transportkosten von der Transportentfernung per LKW/Tieflader 2007 185
Abb. 140 : Vergleich der Remontagekosten mit den Kosten konventioneller Bauweisen zur Herstellung eines Quadratmeters Deckenfläche 192
Abb. 141 : Vergleich der Remontagekosten mit den Kosten konventioneller Bauweisen zur Herstellung eines Quadratmeters Innenwandfläche 193
Abb. 142 : Vergleich der Remontagekosten mit den Kosten konventioneller Bauweisen zur Herstellung eines Quadratmeters Außenwandfläche 193
Abb. 143 : Vergleich der Kosten für die Montage von neuen Wandelementen mit den Remontagekosten sekundärer Bauteile in Abhängigkeit der Transportentfernung 194
Abb. 144 : Vergleich der Kosten für die Montage von neuen Deckenelementen mit den Remontagekosten sekundärer Bauteile in Abhängigkeit der Transportentfernung 195
Abb. 145 : Vergleich der Außenwandausführung in Poroton-Mauerwerk mit den Remontagekosten sekundärer Bauteile in Abhängigkeit der Transportentfernung 196
Abb. 146 : Vergleich der Innenwandausführung in Poroton-Mauerwerk mit den Remontagekosten sekundärer Bauteile in Abhängigkeit der Transportentfernung 196

Abb. 147 : Vergleich der Deckenausführung in Ortbeton mit den Remontagekosten sekundärer Bauteile in Abhängigkeit der Transportentfernung 197
Abb. 148 : Darstellung des Szenario 1 – Wiederverwendung sekundärer Bauteile 206
Abb. 149 : Darstellung des Szenario 2 – stoffliche Aufbereitung und konventioneller Neubau 207
Abb. 150 : Vergleich der Szenarien 1 und 2 209
Abb. 151 : Gebäudelebenszyklus 210
Abb. 152 : Bilanzebenen einer Produktökobilanz von Gebäuden 211
Abb. 153 : Systemgrenzen des Öko-Screenings Szenario 1 213
Abb. 154 : Systemgrenzen des Öko-Screenings Szenarien 2 und 3 214
Abb. 155 : Vergleich der Energieaufwendungen für die Demontage und den Abbruch einer Tonne Betonbauteile 217
Abb. 156 : Zusammenstellung der ermittelten Energieaufwendungen für eine Tonne Betonbauteile 219
Abb. 157 : Vergleich der ermittelten Gesamtenergieaufwände der einzelnen Szenarien 222
Abb. 158 : Vergleich der SO_2-Emissionen für Demontage und Abbruch einer Tonne Betonbauteile 225
Abb. 159 : Vergleich der NO_X-Emissionen für Demontage und Abbruch einer Tonne Betonbauteile 225
Abb. 160 : Vergleich der CO_2-Emissionen für Demontage und Abbruch einer Tonne Betonbauteile 226
Abb. 161 : Vergleich der ermittelten energetisch bedingten SO_2-Emissionen der einzelnen Szenarien 230
Abb. 162 : Vergleich der ermittelten energetisch bedingten NO_X-Emissionen der einzelnen Szenarien 231
Abb. 163 : Vergleich der ermittelten energetisch bedingten CO_2-Emissionen der einzelnen Szenarien 231

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Entscheidungsstufen 19
Tab. 2: Rissursachen 25
Tab. 3: Arten, Erscheinungsformen und Merkmale der verschiedenen Rissformen 25
Tab. 4: Anforderungen an die Begrenzung der Rissbreite nach DIN 1045-1, Abschnitt 11.2 26
Tab. 5: Zulässige Rissbreiten für Stahlbeton 26
Tab. 6: Gegenüberstellung der Mindest-Betonfestigkeitsklassen entsprechend der Projektierungsunterlagen und der geltenden Norm DIN EN 206-1:2001-07 28
Tab. 7: Anforderungen an Mindest-Betonfestigkeitsklassen lt. Projektierung angepasst an DIN EN 206-1:2001-07 für die untersuchten Wohnungsbauserien 28
Tab. 8: Ergebnisse der Auswertung der Betondruckfestigkeitsuntersuchungen nach DIN 1048-4:1991-06 30
Tab. 9: Karbonatisierungstiefen, Betonalter und Standort bei Deckenplatten des Typs WBS 70 34
Tab. 10: Karbonatisierungstiefen, Betonalter und Standort bei Innenwänden des Typs WBS 70 34
Tab. 11: Karbonatisierungstiefen, Betonalter und Standort bei Außenwänden des Typs WBS 70 35
Tab. 12: Karbonatisierungstiefen, Betonalter und Standort bei Deckenplatten des Typs P2 36
Tab. 13: Karbonatisierungstiefen, Betonalter und Standort bei Innenwänden des Typs P2 36
Tab. 14: Karbonatisierungstiefen, Betonalter und Standort bei Außenwänden des Typs P2 37
Tab. 15: Maßgebliche Expositionsklasse und resultierende Mindestbetondeckung 39
Tab. 16: Übersicht der Untersuchungsergebnisse zur Betondeckung 46
Tab. 17: Vergleich der Untersuchungsergebnisse zur Betondeckung und Karbonatisierung 47
Tab. 18: Überblick über die geprüften Altbetonplatten – rechnerische und experimentelle Nachweise zur Trag- und Nutzungsfähigkeit 48
Tab. 19: Im ausgebauten Zustand / offside belastete Deckenplatten 49
Tab. 20: Im eingebauten Zustand / in situ belastete Deckenplatten 49
Tab. 21: Lastannahmen 50
Tab. 22: Spannbetondecken – Ergebnisse der rechnerischen Nachweise zur Tragfähigkeit 51
Tab. 23: Deckenplatten im Geltungsbereich der Bewertung 52
Tab. 24: Bewertung der Tragfähigkeit ausgewählter Stahlbetondeckenplatten nach DIN 1045-1 53
Tab. 25: Ergebnisse der Beprobungen bzgl. Permeabilität, totale Porosität, Wassereindringtiefe, Karbonatisierungstiefe 64
Tab. 26: Anforderungen und Ist-Werte zum Luft- und Trittschallschutz für Bauteile des P2-Typs (Standardkonstruktion) 67
Tab. 27: Wärmeschutz – Bewertung der Bestandssituation 71
Tab. 28: Feuerwiderstandsklassen nach DIN 4102-4:2004-11 76
Tab. 29: Ergebnisse der Brandversuche 79
Tab. 30: Schadensbilder von demontierten Deckenplatten der WBS 70 91
Tab. 31: Schadensbilder von demontierten Deckenplatten des Schultyps „Dresden“ (Mischbauweise) 91

Tab. 32: Schadensbilder von demontierten Innenwandelementen der WBS 70 92
Tab. 33: Schadensbilder von demontierten Innenwandelementen des Schultyps „Dresden“ (Mischbauweise)..... 93
Tab. 34: Schadensbilder von demontierten Außenwandelementen der WBS 70..... 93
Tab. 35: Schadensbilder von demontierten Innenwandrahmen des Schultyps „Dresden“ (Mischbauweise)..... 94
Tab. 36: Schadensbilder von demontierten Stützen des Schultyps „Dresden“ (Mischbauweise) 95
Tab. 37: Synopse der Vor- und Nachteile von Oberflächenschutzsystemen..... 101
Tab. 38: Rissfüllspezifische Anwendungen für Injektionen nach Instandsetzungs-Rili 102
Tab. 39: Instandsetzungsmaßnahmen bei typischen Bauschäden im Plattenbau 104
Tab. 40: Stärken und Schwächen der unterschiedlichen Verkehrsträger..... 117
Tab. 41: Montagefolge der Nass- und Trockenmontage bei Wandkonstruktion (TGL 22720/02) 121
Tab. 42: Vorschlag einer Remontagevorschrift für sekundäre Wandbauteile..... 123
Tab. 43: Vorschlag einer Remontagevorschrift für sekundäre Deckenbauteile..... 124
Tab. 44: Wiederverwendungsgrad bezogen auf den Konstruktions-Rauminhalt (Rohbaukonstruktion) 129
Tab. 45: Übersicht Bauablauf Rohbau „Haus Pieper“..... 131
Tab. 46: Kostenkalkulation Kostengruppe 300 (Bauwerk - Baukonstruktion)..... 133
Tab. 47: Aufstellung der zur Wiederverwendung geplanten WBS-70 Betonfertigteile 136
Tab. 48: Verwendete Altbetonelemente der Typenserie P2 144
Tab. 49: Ermittelte Rückbaukosten je Quadratmeter Rückbaufläche an untersuchten Fallbeispielen175
Tab. 50: Ermittelte Rückbaukosten je Quadratmeter Bauteilfläche am untersuchten Fallbeispiel 176
Tab. 51: Ermittelte Abbruchkosten je Quadratmeter Bauteilfläche am untersuchten Fallbeispiel 177
Tab. 52: Ergebnisse der Preisrecherche zu Bauzustandsuntersuchungen Febr. 2005 179
Tab. 53: Aufarbeitungskosten nach Baukostenkatalog 2006..... 180
Tab. 54: Ergebnisse der Nachkalkulation der Be- und Entladevorgänge am Fallbeispiel 182
Tab. 55: Ergebnisse der Recherchen zu Transportkostenpreisen..... 183
Tab. 56: Übersicht zu Remontagekosten von Wand- und Deckenelementen verschiedener Wiederverwendungsprojekte..... 187
Tab. 57: Neuteilpreise – Umfrage vom Februar 2007 der FG Bauliches Recycling 188
Tab. 58: Ausführungskosten des Neubaus in konventionellen Bauweisen 189
Tab. 59: Übersicht der ermittelten Einzelpositionskosten 190
Tab. 60: Kosten der Remontage sekundärer Bauteile 191
Tab. 61: Vergleich der Remontagekosten mit den Kosten konventioneller Bauweisen zur Herstellung eines Quadratmeters Wand- oder Deckenfläche (s. Tab. 58) 192
Tab. 62: Ermittelte Wiederneubaukosten je Quadratmeter Wohnfläche an untersuchten Fallbeispielen 198
Tab. 63: Kostenschätzung Rohbau Einfamilien-/Generationenhaus Variante 1..... 200
Tab. 64: Kostenschätzung Rohbau Einfamilien-/Generationenhaus Variante 2..... 200
Tab. 65: Kostenvergleich der konventionelle Bauart und der Remontage von Plattenbauelemente – Vereinshaus Kolkwitz 201

Tab. 66: Variante 1 – Poroton- und Ziegelmauerwerk, Stahlbetonfertigteildecke 202
Tab. 67: Variante 2 – Stahlbetonfertigteilwände, Stahlbetonfertigteildecke 203
Tab. 68: Variante 3 –Leichthohlloch- und Ziegelmauerwerk, Ortbetondecke 204
Tab. 69: Variante 4 – Alt-/RC- Betonfertigteile der Typenserie P2 204
Tab. 70: Vergleich der Varianten 205
Tab. 71: Übersicht der ermittelten Einzelpositionskosten 208
Tab. 72: Übersicht der ermittelten durchschnittlichen Einzelpositionskosten bezogen auf den Quadratmeter Bauteilfläche 209
Tab. 73: Bewertungsgrundlagen von Produktökobilanzen 210
Tab. 74: Materialeinsparung durch die Wiederverwendung sekundärer Bauteile zur Errichtung einer Wohneinheit 215
Tab. 75: Energetischer Aufwand der wiederverwendeten Elemente – 1 WE 215
Tab. 76: Energetischer Aufwand für die Demontage und den Abbruch 216
Tab. 77: Durchschnittlicher Energiebedarf für Teile einer Aufbereitungsanlage für mineralische Bauabfälle 217
Tab. 78: Gesamtenergiebedarf für die stoffliche Aufbereitung 218
Tab. 79: Gesamtenergiebedarf – Transportaufkommen für die stoffliche Aufbereitung 218
Tab. 80: Gesamtenergiebedarf – Transportaufkommen für die Wiederverwendung resp. Neuteilproduktion 219
Tab. 81: Zusammenstellung der ermittelten Energieaufwände je Tonne Bauteil 219
Tab. 82: Berechnung des Gesamtenergieaufwandes für das Szenario 1 220
Tab. 83: Berechnung des Gesamtenergieaufwandes für das Szenario 2 221
Tab. 84: Berechnung des Gesamtenergieaufwandes für das Szenario 3 221
Tab. 85: Gegenüberstellung der ermittelten Gesamtenergieaufwände der einzelnen Szenarien 222
Tab. 86: Berechnung des Energieaufwandes für die Szenarien 1 und 3 für eine Tonne Bauteil (vgl. Tab. 81) 223
Tab. 87: Quelle und Wirkung klimarelevanter Schadstoffe 223
Tab. 88: Emissionsdaten für Strombereitstellung (Stromnetz-lokal, Gemis 4.2, 2004) 224
Tab. 89: Emissionen von Systemen zur Energiebereitstellung (GEMIS 4.2, 2004) 224
Tab. 90: Energetisch bedingte Emissionen zur Neuherstellung 1 Tonne Fertigteilbeton 224
Tab. 91: Emissionen bei Demontage und Abbruch von einer Tonne Betonbauteil 225
Tab. 92: Durchschnittlicher Energiebedarf für Teile einer Aufbereitungsanlage für mineralische Bauabfälle 226
Tab. 93: Energetisch bedingte Emissionen für die stoffliche Aufbereitung je Tonne Bauteil 227
Tab. 94: Energetisch bedingte Emissionen für die stoffliche Aufbereitung der Szenarien 1 - 3 227
Tab. 95: Energetisch bedingte Emissionen für die Transporte 227
Tab. 96: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen 228
Tab. 97: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für das Szenario 1 . 228
Tab. 98: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für das Szenario 2 . 229
Tab. 99: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für das Szenario 3 . 229
Tab. 100: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für alle Szenarien 230

Literaturverzeichnis

Al-Ahdab, Jaqueline: Erfahrungen der WBG Marzahn mbH beim Rückbau von Plattenbauten. Das Projekt „Ahrensfelder Terrassen“, in: Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt, Hrsg. Angelika Mettke, 2005.

Asam, Claus: Voräufiger Endbericht zum Forschungsprojekt: Untersuchung der Wiederverwendungsmöglichkeiten von demontierten Fertigteilelementen aus Wohnungsbautypen der ehemaligen DDR für den Einsatz im Wohnungsbau, IEMB Bericht Nr. 1 – 15 / 2004.

Baasch, Helga; Paap, Helga; Rietz, Andreas: Sanierungsgrundlagen Plattenbau - Wohnwertverbesserung durch Grundrissveränderungen, Fraunhofer IRB Verlag, 1999.

Bericht der Kommission „Wohnungswirtschaftlicher Strukturwandel in den in den neuen Bundesländern, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Nov. 2000.

BKI Baukostenkatalog 2006, Teil 2 Statistische Kostenwerte für Bauelemente, Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern, Stuttgart 2006.

Brand, Bernhard; Glatz, Gerhard: Schäden an Tragwerken aus Stahlbeton, Fraunhofer IRB Verlag, 2005.

Bundesvorstand des FDGB: Montage von Fertigteilen, Verlag Tribüne Berlin, 1970.

Caruso, Dagmar: Was muss bei der Umsetzung der Abbruchmaßnahmen beachtet werden? in: Tagungsband zur Fachtagung „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, Hrsg. Angelika Mettke, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, 2005.

Cziesielski, Erich: Sanierungsgrundlagen Plattenbau, Katalog Instandsetzung und Modernisierung von vorgefertigten Außenwänden, Fraunhofer IRB Verlag, 1998.

Dechantsreiter, Ute: Bauteilnetz Deutschland, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Teil 2“, Hrsg. Angelika Mettke, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, 2007.

Deininger, Klaus: Wiederverwendung gebrauchter Bauelemente – Bauteilbörse Thüringen – Projekte und Strategien, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, Hrsg. Angelika Mettke, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, 2005.

Djahani, Majid; Pötke, Wilfried: Gutachten zur Deckentragfähigkeit, IEMB, Berlin, Dezember 2001.

Doll, Manuela: Marktanalyse der An- und Verkaufspreise von RC-Materialien im Vergleich zu Primärrohstoffen in den neuen Bundesländern, Studienarbeit, FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, 2003.

Ehlers, Benjamin: Rechtliche Aspekte der Wiederverwendung, Hammermann & Ehlers, Cottbus, März 2006.

Eisentraut, Wolf R.: Geordneter Teilabtrag bewohnter Häuser und Möglichkeiten der Wiederverwendung mit dem Ziel sozialer und ökologischer Stadtentwicklung, in Tagungsband: Alte Platte – Neues Design – Teil 2“, Hrsg.: Angelika Mettke, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, 2007.

Eisentraut, Wolf R.: Plattenbausiedlungen. Nutzung der Substanz und nachhaltige Umgestaltung, in: Beton- und Stahlbetonbau 96, (2001), S. 518, Verlag Ernst & Sohn, Berlin.

Ettel, Wolf-Peter: Beton, in: Baustoffkenntnis; Hrsg. Scholz, Wilhelm; Wiese, Wolfram, 2003.

FfE, Forschungsstelle für Energiewirtschaft: Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen und Halbzeugen, Teil II Baustoffe, München, 1999.

Fitz, S.: Sanierung von Bauwerken, in: Handbuch des Umweltschutzes, Band 5: Sanierender Umweltschutz, Brauer, Heinz [Hrsg.]; Springer Verlag, 1997.

GdW, BDA, DST [Hrsg.]: Bauherrenpreis Modernisierung 2003, Aktion Hohe Qualität – Tragbare Kosten, Architektur Verlag Nord GmbH, Berlin, 2003.

Graf, Ulrich; Koch, Volker; Spitzley, Helmut: Woher kommt unsere Energie? Von der Primärenergie zur Energiedienstleistung, Modulares Schulinformationssystem Energie (Hrsg.), Bremen 1995.

Grosch, Volker; Pöthing, Steffen: Wärmeschutz von Standardkonstruktionen des Wohnbautyps P2, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, 2002.

Hertel, Claudia: Prüfung des Brandverhaltens von Spann- und Stahlbetondeckenplatten zur Ermittlung der Deckenunterseite, Auszug aus Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, MFPA Leipzig GmbH, Bereich Bauphysik, Baulicher Brandschutz, AG Brandverhalten von Bauteilen, April 2003.

Hesse, Jürgen: Erfolge und Probleme des Stadtumbaus am Beispiel Kräutersiedlung Dresden-Gorbitz, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, Hrsg. Angelika Mettke, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, 2005.

Hilsdorf, Hubert K.: Dauerhaftigkeit von Betonen, Schlussbericht zum Forschungsauftrag der Forschungsgemeinschaft Transportbeton e. V. (FTB), 2. überarb. Fassung, Stuttgart, IRB-Verlag, 1991.

Jackisch, Reinhard: Rechnerischer und messtechnischer Nachweis der Luft- und Trittschalldämmung von Standardkonstruktionen der Wohnungsbauweise P2, Prüfbericht im Auftrag der FG B4auliches Recycling, BTU Cottbus, 2002.

Kabisch, Sigrun; Bernt, Mathias: Stadtumbau aus Bewohnerperspektive, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, S. 31-37, Hrsg. Angelika Mettke, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, 2005.

Kania, Gregor: Statistische Auswertung der ermittelten Ergebnisse von Untersuchungen zur Betondruckfestigkeit und Karbonatisierungstiefe sowie Betondeckung an gebrauchten Betonfertigteilen, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, August 2006.

Kerschberger, Alfred: energetischer Umbau von Plattenbauten – Deutschland, Osteuropa, Russland, China [Toblacher Gespräche 2005: Bauen für die Zukunft, 22.09. – 24.09.2005].

Knebel, Johannes: Baukonstruktion - Grundlagen, 1981, 1. Aufl., Berlin ,Verlag für Bauwesen.

Kunde, Dieter; Lätsch, Elvira: Elementefertigung und Transporttechnologien am Beispiel eines Betonwerks, bericht, im Auftrag der FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, 2005.

Künzel, Eberhard; Blume-Wittig, Judith; Kott, Matthias; Ost, Christiane: Technischer Leitfaden Plattenbau, Bauforschung für die Praxis, Band 70, Institut für Fertigteiltechnik und Fertigbau Weimar e.V., Fraunhofer IRB Verlag, 2004.

Leitzke, Claus: Rechtliche Betrachtung von Rückbauprojekten sowie zum Transport, Neueinsatz und Export von gebrauchten Betonfertigteilen, Gutachten von Leinen und Dericks Anwaltsozietät, im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, Teil 1, Potsdam, Jan. 2001.

Lewicki, Bohdan: Hochbauten aus großformatigen Fertigteilen, Verlag Deuticke, Wien 1967.

Lippok, Jürgen; Korth, Dietrich: Abbrucharbeiten, 2., aktualisierte und erw. Aufl., Berlin, Verl. für Bauwesen, 1987.

Ludewig, Siegfried: Montagebau, Grundlagen-Wissensspeicher, VEB Verlag für Bauwesen Berlin, 1972.

Lüdtke, Moritz: Kostenuntersuchungen zum Einsatz von Altbetonelementen anhand eines Referenzprojektes, Diplomarbeit, Fachgruppe Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, 2007.

Luley, Hanspeter et.al.: Instandsetzen von Stahlbetonoberflächen: Ein Leitfaden für den Auftraggeber, Hrsg. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, Köln, Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf, 6. geänderte Auflage, 1994.

Mettke, Angelika (Hrsg.): Alte Platte – Neue Design – Die Platte lebt, Tagungsband der Fachtagung 16./17.02.2005 an der BTU Cottbus, Fachgruppe Bauliches Recycling, Lehrstuhl Altlasten, BTU Cottbus, 2005.

Mettke, Angelika (Hrsg.): Alte Platte – Neues Design, Teil 2 – Die Platte wrapped und verpackt, Tagungsband der Fachtagung 01./02.03.2007 an der BTU Cottbus, Fachgruppe Bauliches Recycling, Lehrstuhl Altlasten, BTU Cottbus, 2007.

Mettke, Angelika (Hrsg.): Elementekatalog, Übersicht: Elementesortiment des Typs WBS 70 am Beispiel Gebäudetyp WBS 70/11, FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, 2007.

Mettke, Angelika (Hrsg.): Elementekatalog, Übersicht: Elementesortiment der Typenserie P2, FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, 2003.

Mettke, Angelika (Hrsg.): Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendungen, Anwenderkatalog II, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, 2003.

Mettke, Angelika (Hrsg.): Rahmentechnologie Rückbau-/Demontagevorhaben Plattenbauten – am Beispiel der Typenserie P2, FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, 2004.

Mettke, Angelika, Lassan, Bärbel, Britze, Matthias: Betoninstandsetzung und Oberflächenschutz von Betonfertigteilelementen, FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, 2005.

Mettke, Angelika, Thomas, Cynthia: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, 1999, Freistaat Sachsen, Materialien zur Abfallwirtschaft.

Mettke, Angelika: Nachnutzungsmöglichkeiten gebrauchter Betonbauteile, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt, [Hrsg.] Angelika Mettke, FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, 2005, S. 127-144.

Mettke, Angelika: Rückbau von Plattenbauten – Wieder- und Weiterverwendbarkeit gebrauchter Betonbauteile, in: Holschemacher (Hrsg.) Stahlbetonplatten, 2005.

Mettke, Angelika: Wieder- und Weiterverwendung von gebrauchten Betonfertigteilen, in: Beton+Fertigteil-Jahrbuch 2003.

Mettke, Angelika: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, Reihe Umweltwissenschaften, Eberhard Blottner Verlag, 1995.

Mettke, Angelika; Asmus, Stefan: Entwurfsplanung – Bau eines Bürogebäudes unter Verwendung gebrauchter P2-Betonfertigteile in Boxberg, FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, Januar 2006.

Mettke, Angelika; Emig, Tanja; Thomas, Cynthia: Bauzustandsuntersuchungen an ausgewählten Gebäuden der Typenserie P2 – Standort Weißwasser, BTU Cottbus, 2003.

Mettke, Angelika; Heyn, Sören: Ergebnisse der Untersuchungen zu den zwischengelagerten Betonelementen für das Vereinshaus Gröditz 1911 e.V. – Bauzustand, Wert, ökologisches Potenzial, , BTU Cottbus, 2005 (unveröffentlicht).

Mettke, Angelika; Heyn, Sören: Ergebnisse der Untersuchungen zum Bauzustand der zwischengelagerten Elemente für den Freizeitpark, BTU Cottbus, 2005.

Mettke, Angelika; Heyn, Sören: Geschossweiser Rückbau eines Wohngebäudes WBS 70 mit anschließendem Totalabbruch in Osterburg, Cottbus, 2006.

Mettke, Angelika; Heyn, Sören: Partieller Rückbau eines Wohngebäudes der WBS 70 in Gröditz, Robert-Schumann-Straße 5 – 8 (Block 20) BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, September 2005.

Mettke, Angelika; Heyn, Sören: Rückbau eines Schulgebäudes des Schultyps „Dresden“ in Gröditz, Wainsdorfer Straße, 1. Mittelschule und Zwischenbericht – Freizeitpark Gröditz 1. Bauabschnitt, BTU Cottbus, 2005.

Mettke, Angelika; Heyn, Sören: Statistische Auswertung der Ergebnisse der zerstörungsfreien Druckfestigkeitsprüfung an Betonbauteilen der Typenserien P2 und WBS 70 - Rückprallstatistik, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, August 2005.

Mettke, Angelika; Jahn, Ursula; Asmus, Stefan: Konzeption zur Herstellung eines Swimmingpools aus gebrauchten Betonplatten der P2-Gebäudeserie, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Jan. 2004.

Mettke, Angelika; Kania, Gregor: Statistische Auswertung der ermittelten Ergebnisse von Untersuchungen an gebrauchten Betonfertigteilen, Studienarbeit, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, 2006 (unveröffentlicht).

Mettke, Angelika; Lassan, Bärbel; Britze, Matthias: Schadensbilder von demontierten Betonfertigteilen, FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, 2004, unveröffentlicht.

Mettke, Angelika; Müller, Isabelle; Daldrop-Weidmann, Monika: Stegreif Jugendpark Gröditz, BTU Cottbus, 2003.

Mettke, Angelika; Rupp, Eva-Katharina: Generationenwohnen – Entwurf eines Wohngebäudes unter Verwendung gebrauchter Betonfertigteile vom Gebäudetyp P2, FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, Dez. 2007.

Mettke, Angelika; Strothotte, Jörg: Vereinshaus Kolkwitzer Sportverein – Entwurf für ein Vereinshaus aus remontierten Plattenbauelementen, FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, Febr. 2005.

Mettke, Angelika; Thomas, Cynthia: Begutachtung von Elementen der Typenserie P2 sowie einer Kita hinsichtlich ihrer Wiederverwendungseignung am Standort Magdeburg, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling BTU Cottbus, 2004.

Mettke, Angelika; Thomas, Cynthia: Begutachtung von Elementen der WBS 70 hinsichtlich ihrer Wiederverwendungseignung am Standort Gröditz, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, August 2004.

Mettke, Angelika; Thomas, Cynthia: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, Reihe Materialien zur Abfallwirtschaft 1999, Landesamt für Umwelt und Geologie des Freistaates Sachsen (Hrsg.), Lößnitz Druck GmbH, 1999.

Mundt, Jörg: Projektunterlagen: Vogtland-Stadion Plauen, Neugestaltung Umkleide-/Sanitärbereiche, Bauplanung Plauen GmbH, architektur- und Ingenieurbüro, Plauen Januar 2006.

Muster-Montageanweisung für den Betonfertigteilbau, FDB Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau e.V. (Hrsg.), 3. korrigierte und überarbeitete Auflage, April 1998.

Nagora, Anja: Demontage von Plattenbauten unter Berücksichtigung der Wiederverwendung (Remontage) ausgewählter Fertigteile aus baubetrieblicher und bauwirtschaftlicher Sicht, dargestellt am Beispiel der Plattenbauserie P2, Dissertation, BTU Cottbus, 2002.

Prüfbericht - Ermittlung des Tragverhaltens von zwei- und dreiseitig gelagerten WBS 70-Deckenplatten, Otto-Mohr-Laboratorium an der TU Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Massivbau, Dresden, November 2003.

Prüfbericht - Ermittlung Durchlässigkeitsbeiwert und totale Porosität: IBeWa-Ingenieur-Partnerschaft für Bergbau, Wasser und Deponietechnik, Freiberg, Dez. 2004.

Prüfbericht - Prüfung des Brandverhaltens von Spann- und Stahlbetondeckenplatten zur Ermittlung der Deckenunterseite, MFPA Leipzig GmbH, Bereich Bauphysik, Baulicher Brandschutz, AG Brandverhalten von Bauteilen, April 2003.

Reuschel, Matthias: Gebäudediagnose aus bauphysikalischer Sicht. Energieeffiziente Gebäudesanierung, in: Tagungsband Alte Platte – Neues Design – die Platte lebt, Hrsg. Angelika Mettke, Cottbus, 2005.

Richter, Steffen: Rechtskonformer Abbruch von Plattenbauten mit schadstoffhaltigen Mehrschichtenplatten, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, Hrsg.: Mettke, Angelika; BTU Cottbus, 2005.

Röhling, Stefan; Eifert, Helmut; Kaden, Reiner: Betonbau: Planung und Ausführung, Verl. Bauwesen, Berlin, 2000.

Schade, Diethard: Energiebedarf, Energiebereitstellung, Energienutzung, Springer Verlag, Berlin, 1995.

Schleinitz, Hardy: Sozialwissenschaftliche Begleitforschung im Stadtumbau, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, 2005.

Schleinitz, Hardy; Schluchter, Wolfgang; Serbser, Wolfgang: Wiederverwenden statt Abreißen, Sozialwissenschaftliche Ergebnisse im Überblick, LS Sozialwissenschaftliche Umweltfragen, BTU Cottbus, 2002.

Schmiedehausen, Rudolf: Prüfbericht – Rechnerische Nachweise zur Trag- und Nutzungsfähigkeit ausgewählter Deckenplatten und Wände von Wohngebäuden der Typenserie P2, im Auftrag der Fachgruppe Bauliches Recycling, September 2001.

Schmiedehausen, Rudolf: Prüfbericht Auswertung der rechnerischen mit den experimentell ermittelten Ergebnissen zur Trag- und Nutzungsfähigkeit von Spannbetondeckenplatten der WBS 70-Serie, Cottbus, Dezember 2003.

Schmiedehausen, Rudolf: Rechnerische Nachweise für ausgewählte Dachplatten, Deckenplatten und Wandfertigteile von Wohngebäuden des Typs PN 36-NO, Prüfbericht im Auftrag der Fachgruppe Bauliches Recycling, 2001.

Schmiedehausen, Rudolf: Rechnerische und experimentelle Untersuchungen für Spannbetondeckenplatten des P2-Wohnungbaus, Elemente-Nr. 22006, Prüfbericht im Auftrag der Fachgruppe Bauliches Recycling vom 08.08.2006.

Schmiedehausen, Rudolf: Rechnerische und experimentelle Untersuchungen für Stahlbetondeckenplatten des P2-Wohnungsbaus, El.-Nr. 21120 und 21121, Prüfbericht im Auftrag der BTU Cottbus, Fachgruppe Bauliches Recycling vom 02.10.2006.

Schmiedehausen, Rudolf: Was sind gebrauchte Betonfertigteile eigentlich heute noch wert?, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Febr. 2005.

Scholz, Siegfried: Grundlagen der Montagebaukonstruktionen, Verl. für Bauwesen, 1976.

Schwarz, Christiane: Freiflächengestaltung mit Altbetonelementen – Freizeitpark Gröditz, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design –Teil 2“,BTU Cottbus, 2007.

Schwarz, Christiane: Freizeitpark Gröditz – Freiraumgestaltung mit recyclierten Plattenbauteilen, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, BTU Cottbus, 2005.

Seiffarth, H.: Stahlbetonfertigteilbauweisen in der DDR für ein- und mehrgeschossige Gebäude des Industrie- und Gesellschaftsbaus, in: Betonwerk + Fertigteiltechnik 6/1990.

Sprinz, Norbert: Rückbau, Sanierung, Modernisierung und Wiederverwendung an einem praktischen Beispiel am Standort Walttershausen, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design, teil 2, Hrsg. Angelika Mettke, BTU Cottbus, 2008.

Thomas, Cynthia; Birle, Andreas: „Stoff- und Energieflüsse bei der Aufbereitung mineralischer Baureststoffe“, Studienarbeit am Lehrstuhl Baustoff-Neuwerttechnik, BTU Cottbus; aktualisiert 2007.

Uhl, Markus: Bauen in und mit dem Bestand „Vereinshaus Fußballverein Gröditz – Metamorphose der Platte“, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, Hrsg.: Mettke, Angelika; FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, 2005.

Unruh, Hans-Peter; Nagora, Anja: Rückbau von Plattenbauten, Auflage 1, Vieweg, Dezember 2002.

WBS 70 Bauten in Wandkonstruktion in Montagebauweise, Vorschrift (1977), Schriftenreihe der Bauforschung, Reihe Wohn- und Gesellschaftsbauten, Heft 34, Berlin.

Weidemüller, Dagmar: Sozialwissenschaftliche Begleitung von Rückbaumaßnahmen in Berlin und Cottbus, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, Hrsg.: Mettke, Angelika; FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, 2005.

WWF: Dirty Thirty - Ranking of the most polluting power stations in Europe, May 2007.

Zement-Merkblatt Betontechnik B 18 „Risse im Beton“, Bauberatung Zement, Hrsg. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V., Köln, 02.2003.

Gesetz-, Normen- und Richtlinienverzeichnis

Gesetze und Verordnungen

Baugesetzbuch (BauGB) vom 23.06.1960, zuletzt geändert am 21.12.2006.

Gesetz über das Inverkehrbringen von und den freien Warenverkehr mit Bauprodukten zur Umsetzung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte und anderer Rechtsakte der Europäischen Gemeinschaften (Bauproduktengesetz - BauPG), zuletzt geändert am 31.10.2006.

Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen vom 27. September 1994, zuletzt geändert am 19. Juli 2007.

Güterkraftverkehrsgesetz (GüKG) vom 22.06.1998, zuletzt geändert am 19.07.2007

Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energiesparverordnung – EnEV) vom 24.07.2007.

Verordnung über den grenzüberschreitenden Güterkraftverkehr und den Kabotageverkehr (GüKGrKabotageV) vom 22.12.1998, zuletzt geändert am 31. Oktober 2006.

Verordnung über die Honorare für Leistungen der Architekten und der Ingenieure (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure - HOAI) vom 17.09.1976, zuletzt geändert vom 10.11. 2001

Sächsische Bauordnung (SächsBO) vom 28.05.2004.

Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO) vom 13.11.1937, zuletzt geändert am 24.05.2007.

Brandenburgische Bauordnung (BbgBO) vom 16.07.2003, zuletzt geändert am 28.06.2006.

DIN-Regelungen

DIN 1045:1988-07 Beton und Stahlbeton - Bemessung und Ausführung (zurückgezogen Juli 2001).

DIN 1045-1:2001-07 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 1: Bemessung und Konstruktion; Änderung durch DIN 1045-1/A1 (2007- 05).

DIN 1045-2:2001-07 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1; Änderung durch DIN 1045-2/A1 (2004-08), DIN 1045-2/A2 (2006-10).

DIN 1045-3:2001-07 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 3: Bauausführung; Vorgesehener Ersatz durch DIN EN 13670 (2007-04); Änderung durch DIN 1045-3/A1 (2004-08), DIN 1045-3/A2 (2007-05).

DIN 1045-4:2001-07 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 4: Ergänzende Regeln für die Herstellung und die Konformität von Fertigteilen.

DIN 1048-1:1991-06 Prüfverfahren für Beton; Frischbeton.

DIN 1048-2:1991-06 Prüfverfahren für Beton; Festbeton in Bauwerken und Bauteilen.

DIN 1048-4:1991-06 Prüfverfahren für Beton; Bestimmung der Druckfestigkeit von Festbeton in Bauwerken und Bauteilen; Anwendung von Bezugsgeraden und Auswertung mit besonderen Verfahren.

DIN 1055-1:2002-06: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1: Wichten und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen.

DIN 1055-3:2006-03 Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 3: Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten.

DIN 18007:2000-05 Abbrucharbeiten – Begriffe, Verfahren, Anwendungsbereiche.

DIN 18459:2006-10 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Abbruch- und Rückbauarbeiten.

DIN 18551:2005-01 Spritzbeton - Anforderungen, Herstellung, Bemessung und Konformität.

DIN 276-1:2006-11 Kosten im Bauwesen - Teil 1: Hochbau.

DIN 277-1:2005-02 Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau - Teil 1: Begriffe, Ermittlungsgrundlagen.

DIN 277-2:2005-02 Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau - Teil 2: Gliederung der Netto-Grundfläche (Nutzflächen, Technische Funktionsflächen und Verkehrsflächen).

DIN 277-3:/2005-04 Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau - Teil 3: Mengen und Bezugseinheiten.

DIN 4102-1:1998-05 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen.

DIN 4102-2:1977-09 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen.

DIN 4102-2:1977-09 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Brandwände und nichttragende Außenwände, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen.

DIN 4102-4:1994-03 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile / Achtung: Vorgesehene Änderung durch DIN 4102-4/A1 (2003-11).

DIN 4108-01:1981-08 Wärmeschutz im Hochbau; Größen und Einheiten.

DIN 4108-02:2003-07 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.

DIN 4109-01:2006-10 Schallschutz im Hochbau - Teil 1: Anforderungen / Achtung: Vorgesehen als Ersatz für DIN 4109 (1989-11), DIN 4109 Berichtigung 1 (1992-08), DIN 4109/A1 (2001-01).

DIN 4227-1:1988-07 Spannbeton - Bauteile aus Normalbeton mit beschränkter oder voller Vorspannung; zurückgezogen Juli 2001.

DIN EN 12504-01:2000-09 Prüfung von Beton in Bauwerken - Teil 1: Bohrkernproben; Herstellung, Untersuchung und Prüfung unter Druck; Deutsche Fassung EN 12504- 1:2000.

DIN EN 12504-02:2001-12 Prüfung von Beton in Bauwerken - Teil 2: Zerstörungsfreie Prüfung; Bestimmung der Rückprallzahl; Deutsche Fassung EN 12504-2:2001.

DIN EN 135:1999-02 Atemschutzgeräte - Liste gleichbedeutender Begriffe; Deutsche Fassung EN 135:1998.

DIN EN 206-1:2001-07 Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206-1:2000 / Achtung: Vorgesehene Änderung durch DIN EN 206-1/A1 (2003-04), DIN EN 206-1/A2 (2005-01).

E DIN EN 13791:2006-06 Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen; Deutsche Fassung prEN 13791:2006.

TGL-Regelungen

TGL 0-1045 (04.73) Bauwerke aus Stahlbeton, Projektierung und Ausführung.

TGL 0-1048 Betonprüfungen.

TGL 0-4225 (04.63) Fertigbauteile aus Stahlbeton.

TGL 0-4227 (05.63) Spannbeton, Berechnung und Ausführung.

TGL 10685 Bautechnischer Brandschutz.

TGL 10686/01-06 (08.65) Bauphysikalische Schutzmaßnahmen; Wärmeschutz.

TGL 10687/03 (09/86) Schallschutz;Schalldämmung von Bauwerksteilen.

TGL 11422 (03.64) Bauwerke und Fertigteile aus Beton und Stahlbeton; Berechnungsgrundlagen, Traglastverfahren, (gültig bis Mai 1980).

TGL 22720/02 (04.68) Technische Vorschriften für Bauleistungen.

TGL 28706/01-09 (01.76) Bautechnischer Wärmeschutz.

TGL 33405/01 (10.80) Betonbau; Nachweis der Trag- und Nutzungsfähigkeit; Konstruktionen aus Beton- und Stahlbeton.

TGL 33411/01-03 (06.79) Beton und Leichtbeton.

TGL 33412/01-06 (09.80) Herstellen des Beton.

TGL 35424/01 (04.81) Bautechnischer Wärmeschutz; Allgemeine Forderungen, Grundsätze, Außenklima, Wetterschutz.

TGL 35424/03 (09.86) Bautechnischer Wärmeschutz; Wärmeschutz in der kalten Jahreszeit.

Richtlinien und Merkblätter

DAfStb-Richtlinie - Belastungsversuche an Massivbauwerken, Stand 09/2000 Teil 1 Hochbau, des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton.

DAfStb-Richtlinie – Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungsrichtlinie), Stand 10/2001.

DBV-Merkblatt „Betondeckung und Bewehrung“ (Fassung Juli 2002).