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

Fachgruppe Bauliches Recycling
Dr.-Ing. Angelika Mettke

Brandenburgische Technische Universität

Wiederverwendung von Plattenbauteilen in Osteuropa

Endbericht – Bearbeitungsphase I

zum Forschungsvorhaben:

„Wissenschaftliche Vorbereitung und Planung des Rückbaus von Plattenbauten und der Wiederverwendung geeigneter Plattenbauteile in Tschechien“

gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt
DBU-AZ 22286-23

Projektleitung: Dr.-Ing. Angelika Mettke

Autor/In: Dipl.-Ing. Sören Heyn
Dr.-Ing. Angelika Mettke
Dipl.-Ing. Stefan Asmus M.A.
Dipl.-Übers. Evgeny Ivanov

Cottbus, 30.05.2008

Weitere Bearbeiter/Innen im Projekt
(unterschiedlich vertraglich gebundene
und zeitliche Mitarbeit): Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Spyra
Dipl.-Ing. Ricarda Hänsel
Dipl.-Ing. Cynthia Thomas
Cand. Arch. Eva-Katharina Rupp

Technische Mitarbeiter/Innen: Gero Woydich
Daniela Zalon
Diana Nentwich

In Kooperation mit
der PROKON GmbH, Messel vertreten durch Herrn Dipl.-Kaufm. Jochen Kohn und
der DIHK-Gesellschaft Berlin, vertreten durch Frau Dipl.-Oec. Sonja Bauer

BTU Cottbus
Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik
Lehrstuhl Altlasten
Fachgruppe Bauliches Recycling

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

Vorwort

Durch die Förderung des vorliegenden Forschungsberichtes seitens der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU insbesondere durch die außerordentliche Unterstützung von Herrn Dipl.-Ing. Franz-Peter Heidenreich konnte die erste Phase des Forschungsvorhabens „Wissenschaftliche Vorbereitung und Planung des Rückbaus von Plattenbauten und der Wiederverwendung geeigneter Plattenbauteile in Tschechien“ durch die Fachgruppe Bauliches Recycling am Lehrstuhl Altlasten der BTU Cottbus erfolgreich bearbeitet und sogar um Interessenten weiterer Länder Osteuropas ergänzt werden. Somit sind für die 2. Bearbeitungsphase dieses Projektes, welche die Umsetzung von Pilotprojekten in Osteuropa beinhaltet, die theoretischen Grundlagen geschaffen worden.

Nach der Projektbeantragung im Jahr 2004 bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt konnte die Fachgruppe Bauliches Recycling im Juni 2005 auf dem Gebiet der grenzüberschreitenden Wiederverwendung von Altbetonelementen Neuland betreten. Das angestrebte Ziel der 1. Bearbeitungsphase, der Vorbereitung eines Pilotvorhabens / einer Baumaßnahme unter Verwendung von Altbetonelementen, wurde in Kooperation mit Partnern aus der Wirtschaft –der Prokon GmbH- und einer Kammer –der DIHK Berlin-verwirklicht.

Erklärter Anspruch an die 1. Projektphase war u. a. die Akquise von Bauträgern in der tschechischen Republik. Besonders hervorzuheben ist hier die Zusammenarbeit mit Frau Bauer – ehemalige Projektleiterin Mittel- und Osteuropa der DIHK-Gesellschaft in Berlin- die durch ihren unermüdlichen Einsatz „Türen und Tore“ von tschechischen Ministerien sowie Vertretern des Baugewerbes öffnen konnte.

Nach anfänglicher Erfolg versprechender Zusammenarbeit gestaltete sich diese im Laufe der Projektbearbeitung mit den tschechischen Partnern schwierig, da sich - mehreren tschechischen Zeitungsberichten zufolge - Deutschland seines Mülls in Tschechien entledige. Somit war der Weg für eine Wiederverwendung der Elemente aus ehemaligen Plattenbauten vorerst in Frage gestellt bzw. versperrt. Im März 2006 konnten dann mit Unterstützung durch den Bundesverband Deutscher Unternehmen in der Tschechischen Republik e.V., Herrn Dr. Schmutzer, rumänische Interessenten für dieses Projekt gewonnen werden. Gemeinsam mit den Projektpartnern wurde eine Vielzahl von Gesprächen, u. a. mit der Botschaft, geführt.

Über die DIHK Berlin, Frau Bauer konnten im August neue Kontakte mit Bauträgern in der Tschechischen Republik geknüpft werden. Diese waren viel versprechend und ließen einen optimistischen Blick auf die Realisierung des Baus eines Einfamilienhauses in Tschechien zu.

Daneben wurden seitens der Projektleiterin Kontakte zu Interessenten in Russland (Sankt Petersburg) und in Polen über deutsche Unternehmen (Fa. Basis Russland, Herrn Masuch und den Herren Kühn und Kothe) geknüpft. Aus diesem Grund werden innerhalb dieses Berichts auch kurz die wohnungswirtschaftlichen Situationen Tschechiens, Rumäniens wie auch anderer osteuropäischer Länder skizziert. Daraus kann eine Marktchance für eine Wiederverwendung gebrauchter Betonbauteile im Wohnungsbau abgeleitet werden.

Umfangreichen Abstimmungen mit zwei Baufirmen und Vertretern der staatlichen Architektur- und Bauuniversität, Expertisezentrum und dem Lehrstuhl Architektur zufolge, sind in Vororten von St. Pe-

tersburg mehrere Bauvorhaben geplant. Realisiert werden sollen mehr als 8.000 m² Wohnfläche unter Verwendung von Altbetonbauteilen in Wohnsiedlungen mit Ein-, Zweifamilien- und Reihenhäusern sowie 3, 4 bis 5-geschossigen Wohnblöcken. In Polen ist ebenfalls die Errichtung einer Wohnsiedlung mit Ein- und Zweifamilienhäusern geplant. Da der Bearbeitungsstand mit den Partnern der russischen Seite am weitesten vorangeschritten ist, wird die ökonomische Bewertung (Abschnitt 10) für St. Petersburg berechnet.

Auf die Qualitätsmerkmale der in Nutzung gewesenen Betonelemente wird in Abschnitt 6 eingegangen. Vorangestellt wird das hauptsächlich verbaute Elementesortiment von Stahlbetonmontagebauten des DDR-Wohnungsbaus der Baujahre von 1960 – 1990 (Abschnitt 5). Im Abschnitt 9 wird zunächst ein Überblick zu möglichen Einsatzbereichen für Altbetonelemente gegeben und auf prinzipielle Besonderheiten der Remontage hingewiesen. Beispielhaft werden in Abschnitt 12 Entwürfe zum Hausbau unter Verwendung von Altbauplatten vorgestellt sowie ausgewählte Vorhaben, die in Ostdeutschland realisiert wurden. Ergänzt werden die Fallbeispiele um Entwürfe für Gesellschafts- und Mehrzweckbauten, da auch dieser Sektor angefragt wurde.

Der hier vorgelegte Bericht wurde unter dem Blickwinkel des nachhaltigen Wirtschaftens auf dem Bausektor erstellt. Deshalb bilden eingehende theoretische und experimentelle Beurteilungen die Grundlage neben wirtschaftlichen Prämissen der Wiederverwendung vernetzt mit der ökologischen Bewertung im Vergleich zum Neubau mit Primärrohstoffen und zur stofflichen Aufbereitung (Abschnitt 11).

Der Bericht zeigt, dass krangeführte Rückbauten industriell hergestellter Wohngebäude – sogenannte Plattenbauten – mit Wiederverwendungen der gewonnenen Betonelemente zum Bau von Ein- und Mehrfamilienhäusern eine zukunftsorientierte Alternative zum Abriss ist: im ökonomischen, ökologischen und sozialen Sinn. Dies gilt sogar für den Export von Gebrauchtelementen und deren Wiederverwendung im Ausland. Die hier vorgelegten Ergebnisse, gebrauchte Betonelemente nicht nur im Inland sondern auch im Ausland höchstwertig als Bauteil wieder zu verwenden, werden erstmalig einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort **1**

Inhaltsverzeichnis **3**

1 Einleitung **9**

1.1 Skizzierung der Situation des Wohnungsbaus in Ostdeutschland und Tschechien **9**

1.2 Zielstellung des Forschungsvorhabens **11**

1.3 Methodische Herangehensweise **12**

2 Marktbetrachtung im Wohnungsbau – Ostdeutschland **12**

2.1 Leerstandssituation in Thüringen **16**

2.2 Leerstandssituation in Sachsen **17**

3 Marktbetrachtung im Wohnungsbau – Tschechien, Rumänien, Russland und weitere osteuropäische Länder **19**

3.1 Situation in Tschechien **19**

3.2 Situation in Rumänien **22**

3.3 Situation in Russland **24**

3.4 Zusammenfassung der Situation in den osteuropäischen Ländern **26**

4 Rechtliche Aspekte für die Wiederverwendung gebrauchter Betonbauteile in Deutschland und Osteuropa **32**

4.1 Europäische Richtlinien **33**

4.2 Europäische Normen **34**

4.3 Transportrechtliche Bestimmungen **35**

5 Der industrielle Wohnungsbau der DDR **36**

5.1 Übersicht industrieller Bauweisen **36**

5.2 Plattenbauweise PN 36-NO, Laststufe 5,0 t **41**

5.2.1 Charakteristik der Plattenbauweise PN 36-NO 41

5.2.2 Konstruktionsgrundsätze und Hauptelemente 44

5.3 Typenserie P2, Laststufe 5,0 t **48**

5.3.1 Charakteristik der Plattenbauweise P2 48

5.3.2 Konstruktionsgrundsätze und Hauptelemente 51

5.4 Typenserie WBS 70, Laststufe 6,3 t **61**

5.4.1 Charakteristik der Plattenbauweise WBS 70 6,3 t 61

5.4.2 Konstruktionsgrundsätze und Hauptelemente 65

5.5 Fazit – Industrieller Wohnungs- und Gesellschaftsbau in der DDR **78**

6 Wiederverwendungseignung / Qualität der Altbetonelemente 80

6.1 Entscheidungsfindung zur Wiederverwendungseignung 80

6.2 Nullstufe – Voruntersuchung (Demontierbarkeit) 84

6.3 Entscheidungsstufe 1 – Eignungsprüfung 85

6.3.1 Untersuchungsumfang 86

6.3.2 Visuelle Begutachtung 86

6.3.2.1 Bauzustandseinschätzung 86

6.3.2.2 Rissaufnahmen 88

6.3.3 Baustoffliche und –technische Untersuchungen 91

6.3.3.1 Betondruckfestigkeit 91

6.3.3.2 Karbonatisierungstiefe 96

6.3.3.3 Betondeckung 103

6.3.3.4 Untersuchungen zur Tragfähigkeit 112

6.3.3.4.1 Bewertung der auf Biegung beanspruchten Deckenplatten 112

6.3.3.4.1.1 Ergebnisse der rechnerischen Nachweise 116

6.3.3.4.1.2 Ergebnisse der experimentellen Überprüfung des Tragverhaltens 118

6.3.3.4.2 Bewertung der Innenwände 128

6.3.3.5 Permeabilität, totale Porosität, Wassereindringtiefe 128

6.3.4 Bauphysikalische Untersuchungen 130

6.3.4.1 Schallschutz 130

6.3.4.2 Wärmeschutz 134

6.3.4.3 Brandschutz / Feuerwiderstand 139

6.3.5 Fazit - Eignungsprüfung (Entscheidungsstufe 1) 145

6.4 Entscheidungsstufe 2 - Hauptprüfung 146

6.4.1 Bauzustandsstufenbewertung vor der Demontage 146

6.4.2 Bauzustandsstufenbewertung nach der Demontage 147

6.4.2.1 Schäden an Deckenplatten (Fallbeispiel Gebäudetyp WBS 70) 148

6.4.2.2 Schäden an Innenwänden (Fallbeispiel Gebäudetyp WBS 70) 148

6.4.2.3 Schäden an Außenwänden (Fallbeispiel Gebäudetyp WBS 70) 149

6.4.3 Fazit - Hauptprüfung (Entscheidungsstufe 2) 149

6.5 Entscheidungsstufe 3 - Zusatzprüfung 150

6.5.1 Bauzustandsstufenbewertung nach Umschlag, Transport und Zwischenlagerung 150

6.5.2 Fazit - Zusatzprüfung (Entscheidungsstufe 3) 151

6.6 Konsequenzen für die Wiederverwendung 152

7 Aufarbeitung von Altbetonelementen 153

7.1 Typische Schadensbilder 154

7.1.1 Schadensbilder an Deckenplatten 155

7.1.2 Schadensbilder an Innenwänden 156

7.1.3 Schadensbilder an Außenwänden 158

7.2 Bewertung und Ableitung vorbeugender Maßnahmen zur Verminderung von Beschädigungen an Betonelementen durch Demontage- und TUL-Prozesse 158

7.3 Maßnahmen zur Instandsetzung der Betonelemente 160
7.3.1 Generelles 160
7.3.2 Einzelmaßnahmen zur Instandsetzung der Betonbauteile 164
7.3.3 Bauakustische Verbesserungen 167
7.3.4 Verbessernde Maßnahmen des Wärmeschutzes 169

7.4 Fazit - Aufarbeitungsmethoden 171

8 Transport, Umschlag, Lagerung gebrauchter Bauteile 172

8.1 Allgemeines 172

8.2 Transportmöglichkeiten und Auswahl der Transportträger 173
8.2.1 Transportmittel LKW 173
8.2.2 Transportmittel Bahn 178
8.2.3 Transportmittel Binnenschiff 184
8.2.4 Transportmittel Seeschiff / Fähre 189

8.3 Transporthilfsmittel 190
8.3.1 Zerlegbare Bündelrahmen 190
8.3.2 A-Bock 191
8.3.3 Paletten 192
8.3.4 Container 192
8.3.5 Rolltrailer 195

8.4 Kombinationsmöglichkeiten 196

8.5 Anforderungen und Hinweise zu den TUL-Prozessen 197

8.6 Vision - Transportlogistik 199

9 Grundsätzliches zur Wiederverwendung von Betonelementen 201

9.1 Überblick zu sekundären Einsatzbereichen von Betonelementen 201

9.2 Grundgedanken zur Ausführung der Bauteilremontage 201
9.2.1 Planung von Wohnhäusern unter Verwendung von Altbetonbauteilen - Prinzipielles 202
9.2.2 Baustelleneinrichtung, Arbeitskräfte- und Geräteeinsatz 203
9.2.3 Abwicklung der TUL-Prozesse 204

9.3 Remontagetechnologie 204
9.3.1 Vorschlag einer Remontageanleitung für Wandbauteile 207
9.3.2 Vorschlag einer Remontageanleitung für Deckenelemente 208

9.4 Fazit zur Remontage 208

10 Ökonomische Bewertung 210

10.1 Kosten - Demontage 211

10.2 Kosten – Stoffliche Aufbereitung 215

10.3 Kosten – Bauzustandsuntersuchung der Elemente 215

10.4 Kosten –Aufarbeitung / Instandsetzung der Elemente....217
10.5 Kosten – Transport....219
10.5.1 Kosten - Bauteilumschlag....221
10.5.2 Kosten - LKW-Transport....222
10.5.3 Kosten - Bahn-Transport....225
10.5.4 Kosten - Binnenschiff-Transport....226
10.5.5 Kosten – See-Transport....228
10.5.6 Vergleich der Einzelkosten der Transportmittel....229
10.5.7 Transportmittelkombinationen....230
10.5.7.1 Variante a): Kombination LKW – Bahn – LKW....231
10.5.7.2 Variante b): Kombination LKW – Bahn – RoRo-Fähre – LKW (auf Rolltrailer)....233
10.5.7.3 Variante c): Kombination LKW – Bahn – RoRo-Fähre – Bahn – LKW....235
10.5.7.4 Variante d): Ausschließlicher LKW-Transport....236
10.5.7.5 Variante e): Kombination LKW – Containerschiff – LKW....237
10.5.7.6 Variante f): Kombination LKW – Binnenschiff – Containerschiff - LKW....239
10.5.7.7 Vergleich der Transportkombinationen....240
10.6 Kosten – Remontage sekundärer Bauteile....242
10.7 Kosten, Preise –Bauteilneuherstellung, Montage und konventionelle Bauweisen....244
10.8 Kostenvergleich – Wiederneubau / konventioneller Neubau (Russland)....247
10.9 Kostenvergleich – Wiederneubau / konventioneller Neubau (Deutschland)249
10.10 Gesamtwirtschaftliche Betrachtung....257
11 Ökologische Relevanz....261
11.1 Allgemeine Aussagen....261
11.2 Entwicklung von Modellen – untersuchte Szenarien....263
11.3 Materialbilanz der Bauelemente - Rohbaukonstruktion....265
11.4 Energetische Betrachtung....266
11.4.1 Primärenergie der sekundären Bauelemente....266
11.4.2 Aufarbeitung....266
11.4.3 Demontage / Abbruch....267
11.4.4 Stoffliche Aufbereitung - Materialrecycling....268
11.4.5 Transportaufwendungen....269
11.4.6 Zusammenfassung und Vergleich der Energieaufwendungen....271
11.5 Emissionsbetrachtung....275
11.5.1 Herstellung von Betonbauteilen....276
11.5.2 Demontage/ Abbruch....277
11.5.3 Stoffliche Aufbereitung....278
11.5.4 Transporte....279
11.5.5 Zusammenfassung....281
11.6 Fazit – Ökologische Relevanz....286

12 Wiederverwendung von gebrauchten Betonbauteilen im Wohnungsbau Osteuropas 287

12.1 Entwürfe zu Wiederneubauten im Wohnungsbau 288
12.1.1 Einfamilienhaus / Generationenhaus 289
12.1.2 Entwurf eines Doppelhauses 292
12.1.3 Shell-Haus-Konstruktionen 294
12.1.4 Doppelhaus 295
12.1.5 Reihenhaus 296

12.2 Ausgeführte Pilotprojekte zu Wiederneubauten im Wohnungsbau 297
12.2.1 Wiederneubauten in Brielow 297
12.2.2 Weitere Beispiele für Wohnbauten aus Altbetonbauteilen 299

12.3 Entwürfe zu Wiederneubauten im Gesellschafts- und Mehrzweckbau 302
12.3.1 Vereinshaus Sportverein 1911 Gröditz e.V. 303
12.3.2 Vereinshaus VFC Plauen e.V. 304
12.3.3 Vereinshaus Kolkwitzer Sportverein 1896 e.V. 306
12.3.4 Bürogebäude 308
12.3.5 Gästehaus mit Café 309
12.3.6 Pavillon 311

13 Zusammenfassung 313

14 Weiterführende Arbeiten 315

Abkürzungsverzeichnis 317

Abbildungsverzeichnis 319

Tabellenverzeichnis 325

Literaturverzeichnis 331

Gesetz-, Normen- und Richtlinienverzeichnis 337

1 Einleitung

1.1 Skizzierung der Situation des Wohnungsbaus in Ostdeutschland und Tschechien

Ausgangssituation Ostdeutschland

Der Umbau der Städte als Reaktion auf die Schrumpfungsprozesse, welche Bedarfs- und Angebotsveränderungen in allen Lebensbereichen nach sich ziehen, gehört zu den wichtigsten städtebaupolitischen Aufgaben in Ost- aber auch in Westdeutschland. Mit dem Programm „Stadtumbau Ost – für lebenswerte Städte und attraktives Wohnen“ reagierte die Bundesregierung auf den eklatanten demographischen Wandel (Bevölkerungsabnahme, -alterung) und auf die gravierenden wirtschaftsstrukturellen Veränderungen in vielen ostdeutschen Städten. Zu Beginn des Programms Stadtumbau Ost im Jahr 2002 waren mehr als 1 Mio. Wohnungen leer stehend (entspricht rd. 14,9 % des vorhandenen Wohnungsbestandes in den neuen Bundesländern).

Die Kopplung der Bewilligung der Fördermittel aus dem Stadtumbau-Ost-Programm - von 2002 bis 2009 stehen rd. 2,7 Mrd. € zur Verfügung - an schlüssige Stadtentwicklungskonzepte unterstreicht dabei das Förderziel, einen tatsächlichen Zugewinn an städtischer und architektonischer Qualität sowie Wohnqualität neben dem Abbau der Überhänge auf dem Wohnungs- und Immobilienmarkt zu erreichen. Bis zum Jahr 2009 sollen ca. 350.000 Wohnungen vom Markt genommen werden.[1] Per 28.02.2007 wurden im Rahmen des Programms Stadtumbau Ost und landesspezifischer Förderprogrammen rd. 193.300 Wohneinheiten (WE) abgebrochen.[2] Für 150.000 der abgebrochenen WE wurden außerdem die Altschulden nach § 6a AHG erlassen. Den Schwerpunkt der Abrisstätigkeit bilden bislang die Plattenbauten der 1970-er und 1980-er Baujahre. 150.000 von den insgesamt rd. 2,17 Mio. industriell errichteten WE sind beseitigt.

Die Wohnraumknappheit zu DDR-Zeiten stellte noch nach der Deutschen Einheit ein Leitthema der Stadtentwicklung dar. Deshalb setzten Stadtplanung und Förderpolitik zunächst auf Sanierung und Neubau. Als sich in der zweiten Hälfte der 1990-er Jahre eine Übersättigung im Mietwohnungsmarkt der Städte bei gleichzeitig rückläufiger Einwohnerzahl abzeichnete, war es bereits zu spät, um noch planerisch gegenzusteuern.[3] So ist eine Leerstandssituation in Ostdeutschland entstanden, die es in dieser Schärfe und flächenhaften Ausdehnung bislang kaum gegeben hat. Dies ist eine der größten baupolitischen Herausforderungen der Bundesrepublik Deutschland seit der Wiedervereinigung, der sich alle am Stadtumbau beteiligten Akteure gegenüberstehen. Gefordert sind zukunftsorientierte Entwicklungen. Bei aller Dramatik bietet die Schrumpfung jedoch den Städten und Gemeinden die einmalige Chance, u.a. die monostrukturellen Quartiere der Plattenbauten in attraktive und bedarfsgerechte Siedlungen umzugestalten.[4]

Das genannte Bund-Länder-Programm „Stadtumbau Ost“ zielt darauf ab, dass neben der Bestandsreduzierung von auf Dauer nicht mehr benötigtem Wohnraum die Städte qualitativ aufzuwerten, dass

[1] Mettke, A.: Bauen im und mit dem Plattenbaubestand, S.34.
[2] Zweiter Statusbericht der Bundestransferstelle, S. 23, 39.
[3] Jûrczek, P.; Köppen, B.: Aufbau oder Abriss Ost?, S. 13.
[4] Mettke, A.: Bauen im und mit dem Plattenbaubestand, S.34f.

heißt lebenswerter zu gestalten, sind. Bislang dominiert der Abbruch im klassischen Sinne – in der Öffentlichkeit und auch in der Fachwelt oftmals als Rückbau deklariert – der eine Zerstörung der Bausubstanz zur Folge hat bzw. mit einer Wertevernichtung verknüpft ist. Dies ist angesichts der vorhandenen Förderanreize für den Abriss kompletter Gebäude aus Wohnungsunternehmersicht nachvollziehbar, aber unter Zugrundelegung der Nachhaltigkeitsprämissen keinesfalls verständlich. Denn künftig wird es aus Umweltschutzgründen immer wichtiger werden, in und mit dem Baubestand zu arbeiten. Folglich sind zukunftsverträgliche Alternativen zum Komplettabriss wie dem krangeführten Teilrückbau gekoppelt mit Modernisierungs- und Sanierungsmaßnahmen des verbleibenden Gebäudebestandes verstärkt vorzubereiten und umzusetzen.

Trotz zunehmenden Trends, Teilrückbaumaßnahmen auch unter bewohnten Bedingungen zu realisieren, wird insgesamt betrachtet noch nicht flächendeckend über einen geschoss- oder segmentweisen Teilrückbau - und damit über Möglichkeiten zu entscheidenden Veränderungen des Bestandes verbunden mit anschließender Wiederverwendung der anfallenden Betonfertigteile - entschieden. Gleichwohl sind rück- und umgebaute industriell errichtete Wohnbauten (Block-, Streifen- und Plattenbauten) auf dem Wohnungsmarkt gefragt[5]. Das Bauen mit rückgebauten Betonelementen (Alt-/RC-Betonbauteile) im Hausbau konnte sich am Markt bis auf einige Pilotvorhaben noch nicht etablieren, weil das Bauwesen traditionell sehr konservativ ist und somit alt bewährte Bauprozesse nur ganz langsam ersetzt werden und weil gegenwärtig noch der genehmigungsrechtliche Aufwand (Genehmigung im Einzelfall) zu hoch ist.

Dabei weist sowohl der Teilrückbau gekoppelt mit der Wiederverwendung der dabei anfallenden Betonfertigteile hinsichtlich der Kosten und des Umweltschutzes nachweisbare Vorteile gegenüber einem Abbruch und Ersatzneubau auf. Zudem wird den Defiziten in der qualitativen Wohnungsversorgung entgegengewirkt, wenn der verbleibende Bestand modernisiert und saniert wird. Diese innovative Strategie mit der höchstwertigen Verwertungsform wird schon in naher Zukunft sehr viel mehr an Bedeutung erlangen, als dies derzeit der Fall ist. Denn die Verknappung fossiler Energieträger, sich verschärfende Nutzungskonflikte bei der Gewinnung von Rohstoffen, steigende Energie[6]- und Materialpreise etc. haben bereits wieder und werden weiter zur Verteuerung neuer Baumaterialien und –produkte führen.

Ausgangssituation Tschechische Republik und Osteuropa

Während in Ostdeutschland ein hoher Wohnungsüberhang zu verzeichnen ist, besteht in Tschechien und in anderen osteuropäischen Ländern großer Wohnraumbedarf. Beispielsweise ist der tschechische Wohnungsbaumarkt in der erforderlichen Quantität und Qualität noch lange nicht gesättigt. Die Nachfrage nach Wohnungen übersteigt das Angebot. Der Wunsch nach einem Eigenheim ist in Tschechien ungebrochen. So stieg die Zahl der neu gebauten Wohnungen von rd. 27.000 WE in 2002 auf rd. 33.000 WE in 2005.

[5] 2. Statusbericht der Bundestransferstelle, Stadtumbau Ost, 2007, S. 42.
[6] Beispielsweise haben sich die Energiekosten von 2001 bis 2005 in Westdeutschland für die Produktion von Sand und Kies von 0,42 €/t auf 0,70 €/t und für die Hartgesteinproduktion von 0,56 €/t auf 0,77 €/t erhöht. [Bundesverband Mineralischer Rohstoffe e.V., Juli 2007; Hahn, Ulrich: Die Kies-/Sand- und Natursteinindustrie im Zeitraum 2006/07, S. 8].

Um die Nachfrage zu befriedigen, müssten jährlich 50.000 Wohnungen im Wert von 45 Milliarden Kronen[7] gebaut werden, schätzt Miloslav Mašek, Generaldirektor der Vereinigung tschechischer Bauunternehmer (Svaz podnikatelù ve stavebnictví).“[8] In den Wohnungsbau werden in der Tschechischen Republik jährlich etwa 140 Mrd. Kronen investiert. Davon fließen ca. 60 Mrd. Kronen in Neubau-Maßnahmen.[9]

1.2 Zielstellung des Forschungsvorhabens

Das Forschungsvorhaben hat zum Ziel, die Probleme des Wohnungsüberhanges in Ostdeutschland mit dem Wohnraumbedarf in Tschechien oder anderer europäischer Länder (MOE-Länder)[10] zu vernetzen. D.h. es sind nachhaltige, grenzüberschreitende Lösungsvorschläge zur Wiederverwendung von Betonelementen für die Errichtung von Ein- und/ oder Mehrfamilienhäusern – den Bedarf angepasst - zu entwickeln. Mit dem Versuch, die Wiederverwendung nicht nur in Deutschland sondern auch auf europäischer Ebene zu etablieren, werden erstmalig im Zuge dieser Thematik global innovative Wege des ressourcenschonenden Bauens eröffnet. Die Konzeptionen zur Wiederverwendung werden ganzheitlich bewertet. Besonderes Augenmerk liegt auf der wirtschaftlichen, umwelt- und sozialverträglichen Bewertung.

Entsprechend der Projektantragstellung liegt der Fokus in der Bearbeitungsphase 1 in der Nachhaltigkeitsbewertung der Wiederverwendungsmaßnahme. D.h. es werden die Qualität der Altbetonelemente aus bautechnischer Sicht, die Realisierung der Wiederverwendung aus ökonomischem und ökologischem Blickwinkel analysiert und bewertet.

Im Ergebnis der Untersuchungen ist festzustellen, ob das Bauen von Wohnhäusern aus gebrauchten Betonelementen im Ausland effizient ist und welche Voraussetzungen für die Umsetzung maßgeblich sind.

Um dieses zu erreichen, ist ein potenzieller Bauherr oder Bauträger im Ausland zu aktivieren, der an der Umsetzung eines Pilotprojektes interessiert ist und die Umsetzung einer Wohnsiedlung unter Verwendung gebrauchten Betonelementen in Betracht zieht.

Bei positiver Bilanz ist in der Bearbeitungsphase 2 geplant, ein Pilotvorhaben entsprechend den Wohn- und bautechnischen Anforderungen zu entwerfen, die logistischen Prozesse / TUL-Prozesse zu optimieren und zu bauen, so dass sich ein eigenständiger Markt für den Einsatz von gebrauchten Betonelementen entwickelt. Dabei sind wissenschaftliche Begleituntersuchungen unerlässlich, um die theoretischen Grundlagen, Rahmenbedingungen und Ergebnisse zu überprüfen und ggf. neu zu bewerten bzw. fortzuentwickeln. Im Weiteren ist zu prüfen, inwiefern sich die positiven Effekte auf andere Länder in Europa oder gar weltweit übertragen lassen.

[7] Börsenkurs vom 20.08.2007: 1 € / 27,7 CZK nach http://www.finanztreff.de/ftreff/kurse_einzelkurs_uebersicht.htm.
[8] Prager Zeitung, 05.11.2003.
[9] „In Tschechien werden jährlich 140 Mrd. Kronen in Wohnbau investiert“, in: Radio Prag 23.05.2006.
[10] In gemeinsamer Abstimmung mit der DBU im Laufe der Projektbearbeitung entschieden. Vgl. auch abstracts in Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Teil 2, 2007.

1.3 Methodische Herangehensweise

Für eine erfolgreiche Bearbeitung des Vorhabens wurde der wohnungswirtschaftliche Markt in der Tschechischen Republik besonders zu Beginn der Projektbearbeitung sondiert. Hinzu kamen Betrachtungen in Rumänien, Russland und weiteren Ländern Europas. Parallel dazu sind in Ostdeutschland die Rückbau-(Wiederverwendungs-)potenziale - speziell im grenznahen Raum - festzustellen.

Die Gebrauchstauglichkeit resp. Qualität der Altbetonelemente ist anhand von baustofflichen und -technischen Untersuchungen nachzuweisen. Bisher gibt es in Deutschland für den sekundären Einsatz von gebrauchten Betonelementen keine gesetzlichen Grundlagen, Normen oder Richtlinien. Es gelten deshalb derzeit die maßgeblichen Normen für die Herstellung und den Einsatz neuer Betonbauteile nach DIN EN 206-1:2001-06 und DIN 1045:2001-06. Die darin gestellten Anforderungen sind bezüglich ihrer Anwendbarkeit zu prüfen. Die Untersuchung von Betonbauteilen hinsichtlich ihrer Wiederverwendungseignung erfolgt auf Grundlage der von METTKE[11] entwickelten Methodik zur Entscheidungsfindung. Aufbauend auf unseren eigenen Untersuchungsergebnissen soll durch weiterführende Analysen die Eignung von Gebrauchtelementen für den gleichen Zweck unter Verwendung aktueller bautechnischer Anforderungen fundiert definiert werden.

Um die Wirtschaftlichkeit des Bauens mit gebrauchten Betonelementen aufzuzeigen, werden die direkten und tangierenden Kosten aufgeschlüsselt, fallspezifisch berechnet und diskutiert. Außerdem werden die Rahmenbedingungen für den Export von Gebraucht- bzw. Recyclingbauteilen skizziert.

Neben der Untersuchung zur wirtschaftlichen und technischen Machbarkeit wird im Sinne der Nachhaltigkeit der ökologische Nutzen des (Wieder-)Neubaus analysiert.

2 Marktbetrachtung im Wohnungsbau – Ostdeutschland

Dass der Wohnungsleerstand hauptsächlich ein Problem der ostdeutschen Bundesländer ist, zeigt deutlich die Abb. 1. Laut Techem-empirica-Leerstandsindex liegt die Leerstandsquote für marktaktive Geschosswohnungen in Ostdeutschland bei durchschnittlich 14,6% (durchschnittlicher Wohnungsleerstand, Stand 2005[12] (im Vergleich: in Westdeutschland 2,3 %, Stand 2006[13]). Der Techem-empirica-Leerstandsindex bezieht sich auf die von der Techem AG betreuten marktaktiven Wohnungen in Mehrfamilienhäusern mit Zentralheizung und/oder zentraler Warmwasserversorgung, d.h. Ein- und Zweifamilienhäuser sowie Wohnungen mit Substandard (ohne Zentralheizung/-warmwasserversorgung) wurden nicht berücksichtigt. Als leer stehend werden Wohnungen betrachtet, für die keine Miete gezahlt wird.

[11] Mettke, A.: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, 1995, S 153ff..
[12] 2. Statusbericht der Bundestransferstelle, Stadtumbau Ost, 2007, S. 17.
[13] www.empirica-institut.de/empi2007/news.html vom 16.11.2007.

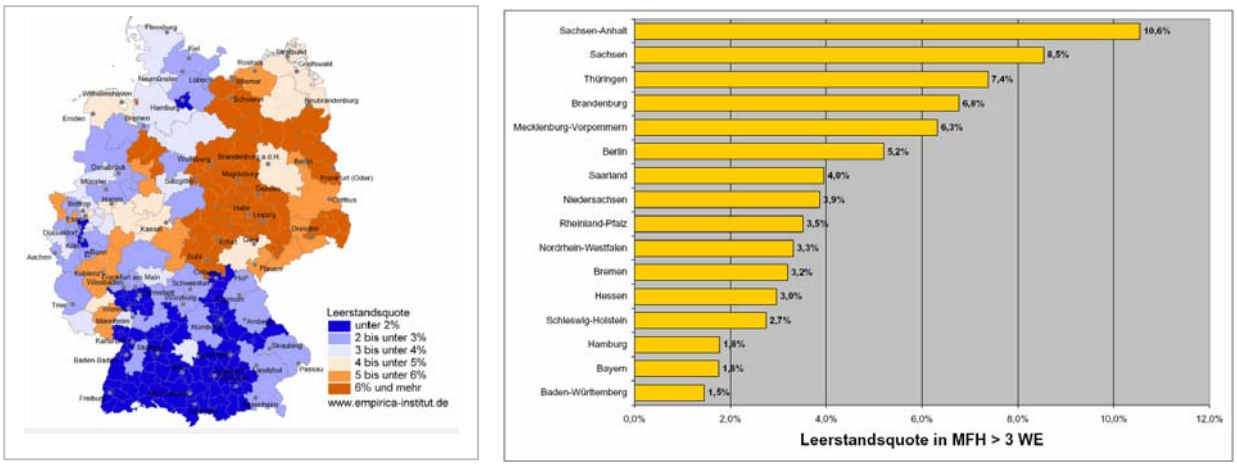


Abb. 1 : Deutschlandweite Darstellung der Leerstandsquoten in Geschosswohnungen 2006[14]

Die in Abb. 1 dargestellten Leerstandsquoten nach dem Techem-empirica-Index 2006 können für eine Betrachtung der Leerstandssituation im Hinblick auf auszuführende Rückbauaktivitäten nur richtungweisend betrachtet werden, da insbesondere auf Grund von Unbewohnbarkeit leer stehende Wohnbauten in den Fokus der Wohnraumreduzierung fallen.

Im Jahr 2002 startete das Programm Stadtumbau Ost. Dieses zielt auf

- eine Steigerung der Attraktivität der Städte sowie
- die Stabilisierung des Wohnungsmarktes durch Rückbau und/oder Abriss von rund 350.000 Wohnungen

ab.

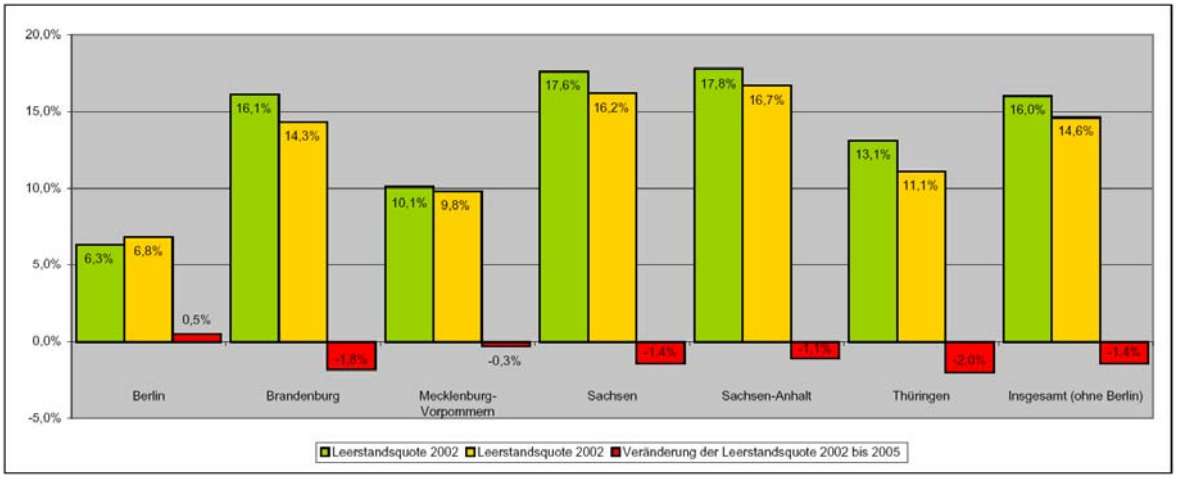


Abb. 2 : Wohnungsleerstand in den Stadtumbaukommunen 2002 und 2005 im Vergleich nach Ländern[15]

In Abhängigkeit von den regionalen und lokalen Gegebenheiten trifft dies Gebäude aller Baualtersklassen und Bautypen. Die in Montagebauweise errichteten Wohnungen, im allgemeinen Sprachgebrauch auch Plattenbauwohnungen, machen allerdings einen großen Anteil am Gesamtleerstand aus.

[14] www.empirica-institut.de/kufa/TEL.pdf vom 16.11.2007.
[15] nach: 2. Statusbericht der Bundestransferstelle, Stadtumbau Ost, 2007, S. 24.

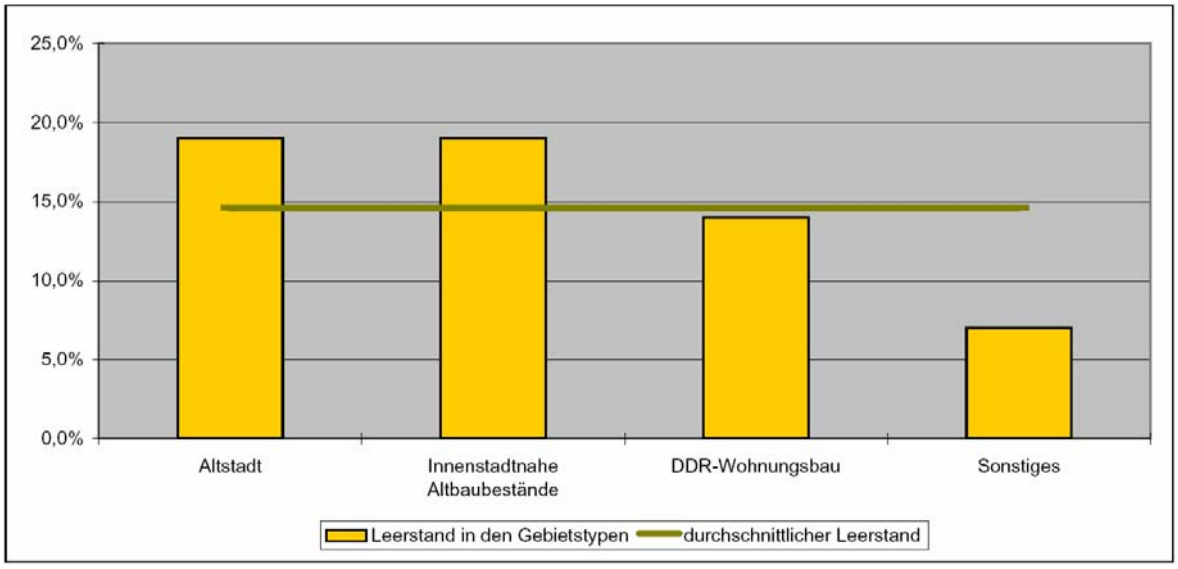


Abb. 3 : Wohnungsleerstand in den Stadtumbaukommunen 2005 nach Gebietstypen[16]

Verschärfend auf die Leerstandproblematik im industriell errichteten Wohnbaubestand wirkt sich auch die prognostizierte weiterhin sinkende Nachfrage von Wohnungen in Plattenbauweise aus (s. Abb. 4). Nach Befragungen von Stadtumbaukommunen werden Plattenbauwohnungen in 75 % dieser Kommunen deutlich weniger nachgefragt werden. Hingegen bleibt die Nachfrage von Altbauwohnungen in 50 % der befragten Kommunen stabil oder erhöht sich sogar (15 %).

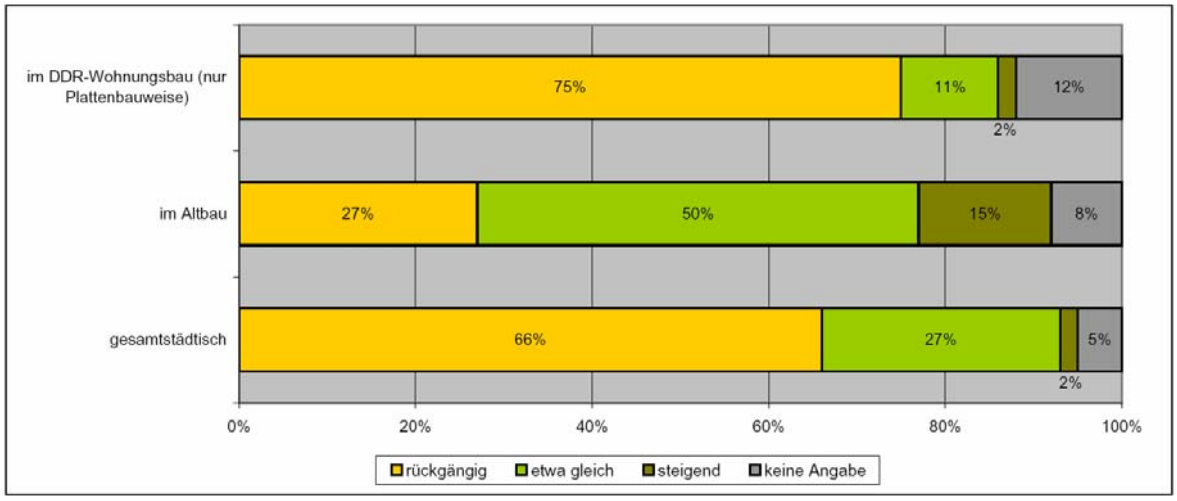


Abb. 4 : Bewertung der Wohnungsnachfrage in den Stadtumbaukommunen (bis 2017)[17]

Nach einer von anderer Seite durchgeführten Erhebung von 1998 standen zu diesem Zeitpunkt in Ostdeutschland knapp 1 Mio. Wohnungen leer[18]. Der Leerstand vor 1948 errichteter Wohnbauten verdoppelte sich demnach zwischen 1995 und 1998 und stagniert derzeit bzw. ist zum Teil wieder rückläufig. Anders verhält sich die Leerstandsquote in industriell errichteten Wohnbauten. Zwischen 1995 bis 1998 kam es hier zu einer Vervierfachung des Leerstandes und dieser entwickelt sich dyna-

[16] nach: 2. Statusbericht der Bundestransferstelle, Stadtumbau Ost, 2007, S. 28.
[17] ebenda, S. 30.
[18] Ullrich, P.: Wohnungsleerstand in ostdeutschen Städten, Auszug einer Diplomarbeit in www.asl.uni-kassel.de/ aufgerufen am 12.11.2007.

misch weiter. So sind das beispielsweise in Sachsen rund 10 %, in Sachsen-Anhalt 22 % und in Thüringen 25%. Insbesondere sind Groß- und Mittelstädte mit 15,7 % bzw. 14,2 % Leerstand vom Wohnungsleerstand betroffen.[19]

Der Anfang 2006 veröffentlichte 1. Statusbericht zum Programm „Stadtumbau Ost“ und nunmehr der 2. vorliegende Statusbericht vom Mai 2007 geben einen Überblick, inwieweit die Reduzierungsziele des Förderprogramms per 28.02.2007 verwirklicht wurden. Aus dem aktuelleren Bericht 2007 geht hervor, dass in Summe 193.302 WE in den neuen Bundesländern rückgebaut wurden, davon ca. 150.000 industriell errichtete WE. Allerdings bleibt in dem Bericht offen, in welcher Größenordnung krangeführte Rückbaumaßnahmen durchgeführt wurden.

Tab. 1: Im Rahmen des Stadtumbaus realisierter Rückbau von Wohnungen in den ostdeutschen Bundesländern und Berlin[20]

Land	**Rückbau per 28.02.2007 in WE mit Mitteln aus**		
	Landesprogrammen	Bund-Länder-Programm Stadtumbau Ost	**Gesamt**
Berlin		2.485	**2.485**
Brandenburg	4.723	28.766	**33.489**
Mecklenburg-Vorpommern		13.664	**13.664**
Sachsen	14.015	59.057	**73.072**
Sachsen-Anhalt		40.560	**40.560**
Thüringen	4.328	25.704	**30.032**
Summe	**23.066**	**170.236**	**193.302**

In einer Umfrage am Programm beteiligter Kommunen stellten diese den Rückbau resp. Abbruch von Wohnbausubstanz zur Leerstandsreduzierung und zur Stabilisierung der Stadtgebiete durch punktuellen Rückbau/ Abriss und Entdichtung in den Vordergrund. Ca. 90 % der Kommunen benannten dabei den Rückbau von DDR-Plattenbausubstanz als räumlichen Schwerpunkt von Rückbau/Abbruch. Rund 14 % der befragten Kommunen greifen dabei auf den flächenhaften Abbruch ganzer Stadtteile zurück. Für die Umsetzung von kleineren und größeren Aufwertungsmaßnahmen in Plattenbaugebieten werden von ca. 67 % der befragten Kommunen Mittel aus dem Förderprogramm Stadtumbau-Ost eingesetzt. Der Aufwertungsgedanke wird somit auch zunehmend für die Gestaltung von industriell errichteten Wohngebäuden und Siedlungen interessant, was wiederum zu einer verstärkten Ausführung krangestützter Rückbauvorhaben gegenüber Totalabbrüchen von Plattenbauten führen wird.

Wie es um das Wiederverwendungspotenzial bestellt ist, lässt sich anschaulich in Zahlen darstellen.

In den kommenden Jahren werden allein über Mittel des Stadtumbau-Ost Förderprogramms ca. 150.000 WE industriell errichteter Bauweisen in den ostdeutschen Bundesländern abgebrochen oder rückgebaut. Bei ausschließlicher Rückbauausführung und einer durchschnittlichen Bauteilanzahl von 30 Elementen pro WE würden ca. 4,5 Mio. Betonelemente als Bauprodukt in Gänze anfallen. 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.

[19] 2. Statusbericht der Bundestransferstelle, Stadtumbau Ost, 2007, S. 17.
[20] ebenda, S. 23.

Unter der theoretischen Annahme, dass 2/3 dieser Bausubstanz abgebrochen und 1/3 rückgebaut werden, fallen etwa bei 50.000 krangeführten WE-Rückbauten 1,5 Mio. Betonfertigteile an. Selbst unter dem Ansatz, dass die Wiederverwendungsquote lediglich 40 % beträgt, stünden immer noch ca. 600.000 Betonfertigteile für den sekundären Einsatz zur Verfügung.

In Anbetracht des weiterhin hohen Wohnungsüberschusses ist davon auszugehen, dass auch über das Jahr 2010 hinaus der Stadtumbau Ost fortgesetzt wird.[21] Mit weiteren krangeführten Rückbaumaßnahmen (derzeitiger Trend: Rückbau unter bewohnten Bedingungen) ist zu rechnen, so dass mehrere hunderttausend RC-/Altbetonplatten zur Verfügung stehen werden.

Im Hinblick auf die ursprüngliche Aufgabenstellung soll nachfolgend auf die Wohnungsmarktsituation der an Tschechien angrenzenden Bundesländer Thüringen und Sachsen näher eingegangen werden.

2.1 Leerstandssituation in Thüringen

In Thüringen standen in 2002[22] insgesamt 120.000 Wohnungen bei einem Gesamtbestand von etwa 1,1 Millionen leer. Der durchschnittliche Wohnungsleerstand in Thüringer Städten lag 2002 bei etwa 13,1 Prozent. Für das Jahr 2005 wurde eine um 2,0 Prozentpunkte gesunkene Leerstandsquote von 11,1 % ermittelt.[23] Bis 2010 sollen insgesamt rund 40.000 WE abgerissen werden.

Im Zeitraum von 2002 bis 2005 haben die Mitgliedsunternehmen des vtw (Verband der Thüringischen Wohnungsunternehmen) insgesamt 21.200 Wohnungen rückgebaut, davon allein 7.500 Wohnungen im Jahr 2005.[24] Per 28.02.2007 wird der Rückbau mit 30.032 WE beziffert.[25]

Die Stadt Gera ist ein Vorreiter des Stadtumbaus in Thüringen. Hier sollen insgesamt 10.000 WE vom Markt genommen werden. Umfangreiche Maßnahmen zur Leerstandsreduzierung erfolgen beispielsweise auch in den Städten Greiz, Gotha, Arnstadt, Altenburg und Leinefelde.

Der Leerstand in Greiz beläuft sich auf 3.450 WE (22,1%). Der Schwerpunkt der Wohnraumreduzierung liegt im DDR-Wohnungsbau. Die größten Greizer Wohnungsunternehmen (GEWOG, Genossenschaft "Glück auf", städtischer Eigenbetrieb, WBG Textil) legen verbindliche Rückbauzusagen bis 2010 vor. Der Rückbau von 550 WE im Plattenbaugebiet Pohlitz ist abgestimmt. Das Greizer Stadtentwicklungskonzept geht von einem jährlichen Rückbaubedarf von 350 WE bis zum Jahr 2020 aus.

Die Stadt Leinefelde gilt als Modellstadt für den Rück- und Umbau der Plattenbausubstanz. Der Leerstand der beiden großen Wohnungsunternehmen in der Stadt hat von 1.266 WE im Jahr 2001 auf 916 Wohnungen im Jahr 2004 abgenommen, die Leerstandsquote ist damit von 26,2 % auf 23,1 % gesunken. Eine räumliche Konzentration der Leerstände ist vor allem in den unsanierten Wohnblöcken festzustellen. Zwischen 2005 und 2010 sollen noch insgesamt 819 WE durch Abriss bzw. Rückbau vom Markt genommen werden.[26]

[21] Interview der Lausitzer Rundschau mit Bundesbauminister Tiefensee im Sept. 2007.
[22] Letztmalige Erfassung.
[23] 2. Statusbericht der Bundestransferstelle, Stadtumbau Ost, 2007, vgl. Abb. 3.3, S. 24.
[24] vtw: Daten und Fakten.
[25] 2. Statusbericht der Bundestransferstelle, Stadtumbau Ost, 2007, vgl. Tab. 3.1, S. 23.
[26] Zukunftswerkstatt Leinefelde: Rahmenplan Leinefelde-Südstadt, 2005.

2.2 Leerstandssituation in Sachsen

Flächendeckende Angebotsüberhänge prägen auch heute noch den sächsischen Wohnungsmarkt. Strukturelle Wohnungsleerstände, die weit über der üblichen Fluktuationsrate von 3 % bis 5 % liegen, beherrschen alle Wohnungsmarktregionen. Die durchschnittliche Leerstandsquote lag 2002 in den am Programm Stadtumbau Ost teilnehmenden sächsischen Kommunen bei 17,6 %. In 2005 ist der Wohnungsleerstand allerdings leicht um 1,4 Prozentpunkte auf 16,2 % gesunken.[27] Dabei wurde der Wohnungsbestand von 2004 auf 2005 um rund 16.000 auf 255.000 Wohneinheiten reduziert[28]. Regional betrachtet sind die südwestsächsischen und ostsächsischen Regionen besonders stark betroffen.

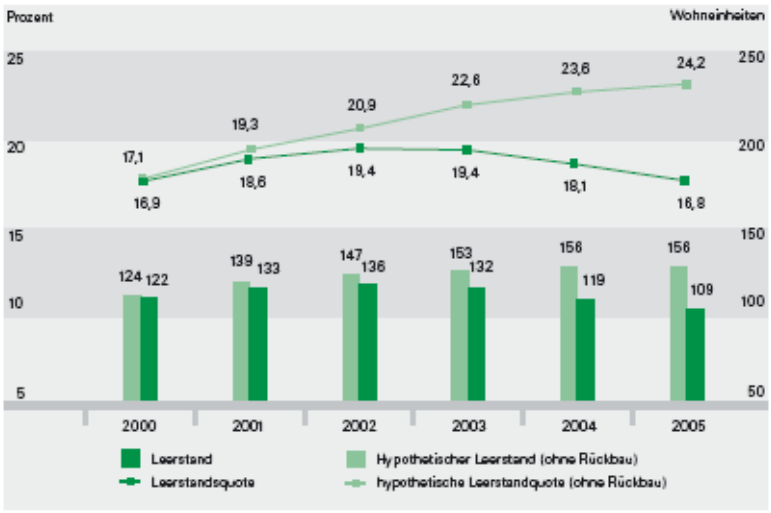


Abb. 5 : Entwicklung des Wohnungsleerstandes und Anzahl der Wohneinheiten (in 1.000)[29]

Im Freistaat Sachsen sind bis Anfang 2006 insgesamt über 50.000 Wohneinheiten zurückgebaut worden. Die Mehrzahl der Wohnungen wurde in Großwohnsiedlungen abgerissen oder rückgebaut. Die Nachfrageschwäche hatte sich in diesem Marktsegment von Jahr zu Jahr weiter verstärkt. Mittlerweile werden in allen sächsischen Regionen immer weniger der industriell gefertigten Plattenbauwohnungen nachgefragt.[30] Die Rückbauaktivitäten konzentrieren sich bisher in Südwestsachsen.

Chemnitz geht in seinem Stadtumbaukonzept von einem Reduzierungspotenzial von 20.000 WE (über 2010 hinaus) aus. Eine Reihe von Rückbaumaßnahmen (u.a. Herausnahme von Segmenten) wurden objektscharf festgelegt. Bisher sind davon nur ca. 405 WE rückgebaut bzw. abgerissen worden.[31] Weitere Rückbauschwerpunkte bilden Zwickau (5.763 WE) und Plauen (1.969 WE) sowie der Landkreis Aue-Schwarzenberg (3.076 WE).[32]

Umfangreiche Abbruch und/oder Rückbauaktivitäten sind in den strukturschwachen ostsächsischen Regionen zu finden. Besonders die Städte Hoyerswerda (3.202 WE) und Weißwasser (2.157 WE) sind hier hervorzuheben. Hier erfolgte ein flächenhafter Abriss ganzer Quartiere: von 1.000 Bestandswohnungen Anfang 2000 verbleiben inzwischen nur noch 888 Wohnungen bzw. 849 Wohnungen.

[27] 2. Statusbericht der Bundestransferstelle, Stadtumbau Ost, 2007, vgl. Abb. 3.3, S. 24.
[28] Angaben beruhen auf bei der SAB eingerechten Anträgen und Fortsetzungsberichten zum Programmjahr 2006.
[29] Sächsische Aufbaubank: Wohnungsbaumonitoring 2005/2006.
[30] ebenda, S. 13.
[31] ebenda, S. 15f.
[32] ebenda, S. 15f.

Große Anstrengungen, den Stadtumbauprozess zu forcieren, hat nach 2002 auch die Stadt Leipzig unternommen. Hier wurden bis Ende 2005 bereits insgesamt 6.391 Wohneinheiten unter Inanspruchnahme von Rückbaufördermitteln abgerissen.[33]

Der Rückbau konzentriert sich hauptsächlich auf den industriell errichteten Bestand, d.h. auf die in Montagebauweise errichteten Wohngebäude - im allgemeinen Sprachgebrauch Plattenbauten (s. Abb. 6).

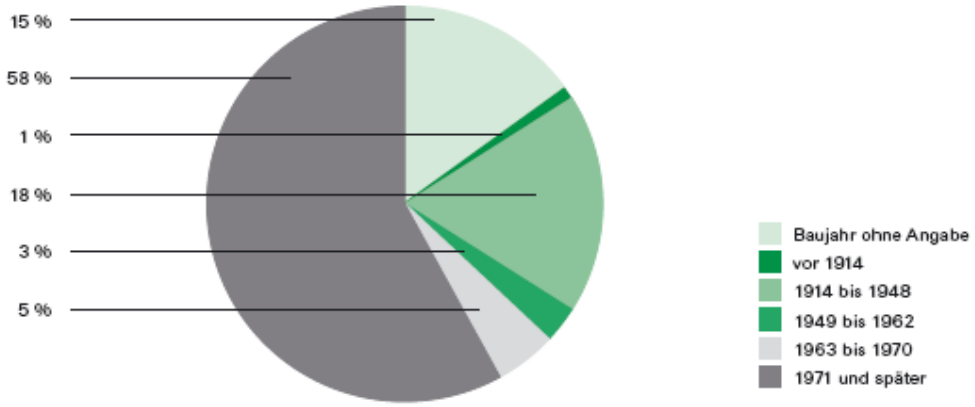


Abb. 6 : Geförderter Rückbau nach Baualtersklassen der Rückbauobjekte zwischen 2002-2005[34]

Sieht man diese Zahlen in Zusammenhang mit den geplanten Rückbauszenarien, muss sich der Stadtumbau in den nächsten Jahren ungebremst fortsetzen. Die Sächsische Aufbaubank – Fördermittelgeber und –verteiler des Freistaates – trifft dazu folgende Aussage: „Der derzeit durch Fördermittel finanziell flankierte Abriss von jährlich etwa 17.000 Wohneinheiten reicht … nicht aus und müsste auf mindestens 25.000 Wohneinheiten pro Jahr erhöht werden. Aber selbst dann würde es lediglich gelingen, die rasche Erhöhung des Leerstandes in ganz Sachsen zu stoppen, nicht aber den Leerstand spürbar zu vermindern… Jetzt müssen verstärkt diejenigen Objekte für den Abriss vorbereitet werden, die noch bis zu 50 % und mehr bewohnt sind. Auch der Rückbau von teilsanierten Objekten wird in den kommenden Jahren zunehmend auf die Tagesordnung gesetzt werden. …Selbst wenn bis 2020 zwischen 180.000 bis 280.000 Wohnungen durch Abriss vom Markt genommen werden, verringert sich die Zahl der leer stehenden Wohnungen in Sachsen nominal nicht. Mithin wächst der Leerstand allein aufgrund der demografischen Entwicklung bis 2020 um 175.000 bis 200.000 Wohnungen.“[35]

[33] Sächsische Aufbaubank: Wohnungsbaumonitoring 2005/2006, S. 15f.
[34] ebenda.
[35] ebenda, S. 23ff.

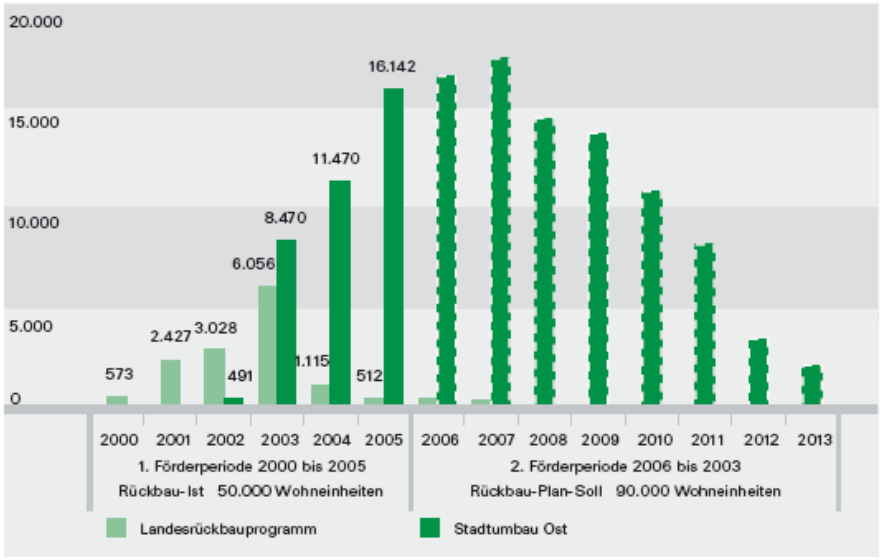


Abb. 7 : Geförderter Rückbau (Anzahl der Wohnungen) 2000 – 2006 (Ist-Stand) sowie 2006 – 2013 (Plan-Soll)[36]

3 Marktbetrachtung im Wohnungsbau – Tschechien, Rumänien, Russland und weitere osteuropäische Länder

3.1 Situation in Tschechien

Die tschechische Wirtschaft verzeichnete 2006 ein reales Wirtschaftswachstum von 6,4 %. Für 2007 und die kommenden Jahre wird nur ein leichtes Abflauen der Konjunktur auf ca. 4,9 % im Jahr 2009 erwartet.[37] Dies ist vor allem auf eine starke Industrieproduktion und steigende Exporte zurückzuführen. Die Arbeitslosenquote lag 2005 bei unter 8 % und ist weiter rückläufig. Die privaten Konsumausgaben weisen eine steigende Tendenz auf.

Der Wohnungsbestand in Tschechien umfasst ca. 4,4 Mio. Wohneinheiten (600.000 in Prag) für 10,3 Mio. Einwohner (1,2 Mio. in Prag). [38] Im europäischen Vergleich ergibt sich daraus eine recht gute Wohnraumversorgung. Insgesamt kommen durchschnittlich ca. 427 Wohnungen auf 1.000 Einwohner. Der EU-15-Schnitt liegt bei 450 WE/1.000 Einwohner. Dabei bewohnen in Tschechien durchschnittlich 2,50 Personen eine Wohneinheit. Die Wohneinheiten weisen im Durchschnitt ca. 71,4 m² auf. Je Person stehen somit 28,6 m² zur Verfügung.[39] In Deutschland sind es ungefähr 41 m² pro Person[40] (vgl. auch Tab. 4). Ein überdurchschnittliches Gefälle gibt es allerdings im Wohnungsangebot der Hauptstadt Prag und dem regionalen Wohnungsmarkt.

[36] Sächsische Aufbaubank: Wohnungsbaumonitoring 2005/2006.
[37] WKO Wirtschaftskammer Österreichs, aktualisiert im Nov. 2007, http://wko.at/statistik/eu/europa-wirtschaftswachstum.pdf. aufgerufen am 14.02.2008.
[38] IMMOEAST: Geschäftsbericht 1005/06, Länderberichte, S. 68; http://ieag0506.genesto.com/dateien/Laenderberichte.pdf, aufgerufen am 14.02.2008.
[39] Kratschmann, A., Gröger, M.: Wohnungsmarkt in den neuen EU-Ländern, Tschechien, Ungarn, Slowenien und Kroatien (als Beitrittbewerber), Forschungsgesellschaft Wohnen, Bauen und Planen, Wien, 2004.
[40] Shamaeva, M.: Wohnen in Russland, Schwierige Wohnverhältnisse und ein Markt ohne Regeln, Mieterecho 321/April 2007, Berliner MieterGemeinschaft e.V..

1,2 Mio. Wohneinheiten sind industriell errichtet. Die ca. 80.000 Plattenbauten wurden größten Teils zwischen 1969 und 1980 errichtet. Häufigster Bautyp ist der TO8B, eine Skelettbauweise mit bis zu 16 Geschossen. Das Wohnen in den Plattenbauten trägt nicht das negative Image, wie dies in Ostdeutschland zum Teil der Fall ist. Ursache dafür ist, dass nach der politischen Wende 1989 das Gros der Wohnblocks in den Plattenbausiedlungen durch den Staat privatisiert wurde und viele Mieter mit Vorkaufsrecht ihre Wohnungen über „Mietkauf" erworben haben. [41] Das Verhältnis von Wohneigentum und Mietwohnungen hält sich ungefähr die Waage (49 % Eigentum / 51 % Miete)[42]. Wohnungen im Altstadtbereich sind meist durch die Alteigentümer saniert und renoviert worden und die Mieten für den tschechischen „Normalverbraucher" oft deutlich zu hoch, so dass diese Wohnungssubstanz nur von tschechischen Topverdienern oder Ausländern genutzt wird. Die Mieten in Plattenbauten hingegen sind immer noch günstig und subventioniert.[43] Durch den hohen Anteil an Plattenbauwohnungen sind insgesamt 73 % (1991) der Wohnungen mit Bad/WC und Zentralheizungen ausgestattet. Der Durchschnitt in den 15-EU-Staaten vor der Erweiterung im Mai 2004 (EU-15) liegt bei 80 %. Allerdings ist die Bauqualität vor allem hinsichtlich des Wärmeschutzes, der Dach- und Fassadenkonstruktionen gegenüber westeuropäischen Standards deutlich geringer[44]. Die notwendige Sanierung der Plattenbauten soll in den Jahren 2007 bis 2013 mit Geldern aus dem Haushalt der Europäischen Union gefördert werden.[45]

Durch die abrupte Abkehr vom sozialen Wohnungsbau als „Relikt der realsozialistischer Gesellschaft" nach 1990, der massiven Wohnungsprivatisierungen und der Auflösung der Genossenschaften, welche die Hauptorganisationsform des Wohnens in der sozialistischen Ära darstellte, wurde die Neubautätigkeit nach der Wende drastisch reduziert. Der Neubau von Wohnungen sank von über 80.000 WE im Jahr 1980 auf unter 15.000 WE im Jahr 1996. Bis 2002 stieg der Wohnungsneubau wieder auf über 27.000 WE/Jahr an. Um eine Angleichung der Wohnraumversorgung an den Standard der EU-15-Verhältnisse (450 WE/1.000 E.) binnen der nächsten 10 Jahre zu erreichen, muss dieses jährliche Bauvolumen gehalten werden (mind. 23.500 WE/Jahr).[46] Angesichts der positiven Entwicklung des Wohnungsbaus bis 2005 (s. Tab. 2) mit ca. 33.000 WE/Jahr wird der europäische Standard bereits im Jahr 2009 erreicht werden.

Die tschechische Bauproduktion ist 2005 real um 4,2 % gewachsen. Angetrieben wird die Aktivität durch öffentliche Infrastrukturprojekte und den ausgeprägten Wohnungsbau – dessen Schwerpunkt in Prag und Mittelböhmen liegt. In 2006 hatte der Wohnungsbau bereits im 1. Quartal um 5,5 % im Jahresvergleich zugenommen. [47,48] In den Wohnungsbau werden in der Tschechischen Republik jährlich etwa 140 Mrd. Kronen, das sind rund 4,7 Mrd. €, investiert. Davon fließen etwa 60 Mrd. Kronen in

[41] Borowski, J.: Zufrieden im Plattenbau, Exkursion: Plattenbau, 2007.
[42] Kratschmann, A., Gröger, M.: Wohnungsmarkt in den neuen EU-Ländern, Tschechien, Ungarn, Slowenien und Kroatien (als Beitrittbewerber), Forschungsgesellschaft Wohnen, Bauen und Planen, Wien, 2004.
[43] Borowski, J.: Zufrieden im Plattenbau, Exkursion: Plattenbau, 2007.
[44] Kratschmann, A., Gröger, M.: Wohnungsmarkt in den neuen EU-Ländern, Tschechien, Ungarn, Slowenien und Kroatien (als Beitrittbewerber), Forschungsgesellschaft Wohnen, Bauen und Planen, Wien, 2004.
[45] Hebel, Chr.; Lechler, K.: Öde und doch belebt – die tschechische Platte, Exkursion: Plattenbau, 2007.
[46] Kratschmann, A., Gröger, M.: Wohnungsmarkt in den neuen EU-Ländern, Tschechien, Ungarn, Slowenien und Kroatien (als Beitrittbewerber), Forschungsgesellschaft Wohnen, Bauen und Planen, Wien, 2004.
[47] Bundesagentur für Außenwirtschaft: Tschechiens Bauwirtschaft wächst im siebten Jahr/ Dynamik der Branche verringerte sich 2005 / Hohe Zeit des Wohnungsbaus.
[48] Radio Prag 12.05.2006, Wohnungsbau steigt im ersten Quartal um 5,5 Prozent.

Neubauten, 10 Mrd. Kronen in Modernisierungen und 70 Mrd. Kronen in die Unterhaltung von Häuser und Wohnungen.[49]

Tab. 2 : Strukturdaten der Bauwirtschaft in der Tschechischen Republik[50]

Kennziffer	2002	2003	2004	2005
Zahl der Bauunternehmen*	2.217	2.285	2.497	2.529
Zahl der erteilten Baugenehmigungen	140.822	149.339	153.622	142.941
geschätzter Wert der Baugenehmigungen, Mrd. Kronen	242,2	286,3	315,1	325,8
Bauleistung insgesamt, in Mrd. Kronen. Preise	311,2	346,8	394,3	422,7
Veränderung ggü. Vorjahr, konstante Preise	2,5%	8,9%	9,7%	4,2%
Wert der erbrachten Bauarbeiten nach Lieferverträgen, lfd. Preise*	226,3	249,3	278,2	290,7
Hochbau**	132,0	143,1	162,6	163,9
Tiefbau**	85,2	97,7	108,2	118,3
Anzahl der fertig gestellten Wohnungen	27.292	27.127	32.268	32.863
Öffentliche Bauinvestitionen (in Mrd. Kronen)	97,1	111,0	155,2	134,1

* Unternehmen mit mehr als 20 Mitarbeitern
** Neubau und Wartung Jahresdurchschnittskurse: 2002: 1 EUR = 30,812 CZK, 2003: 1 EUR = 31,844 CZK, 2004: 1 EUR = 31,904 CZK, 2005: 1 EUR = 29,784 CZK

Die Kosten für die Errichtung einer landesüblichen Wohneinheit mit durchschnittlich 70 m² betragen ca. 39.340 €. Dies entspricht rd. 562 €/m² Wohnfläche. Bei einem Jahreseinkommen von ca. 18.133 CZK (560 €) erreichen die Baukosten ungefähr das 6-fache des Jahreseinkommens. Die Zinsen für den erforderlichen Baukredit liegen mit 5,80 % in 2006 bei ca. 24 % des Jahreseinkommens.[51]

Der Wunsch nach einem Eigenheim ist in Tschechien ungebrochen. Dieser Trend wird begünstigt durch steigende Realeinkommen, niedrige Zinsen, Bausparen und staatlich geförderte Wohnungskredite für junge Paare. Auch demographische Faktoren spielen eine Rolle. So geht die Generation der siebziger Jahre daran, in Wohnungseigentum zu investieren und sich dafür angesichts günstiger Bedingungen zu verschulden. Im Jahr 2005 stieg das Volumen der Hypothekenkredite um 73 Mrd. Kronen (ca. 38%) an. Zusätzliche Dynamik brachte 2006 und 2007 eine Mehrwertsteuererhöhung in den Hypotheken- und Wohnungsbaumarkt, die ab 2008 für den Wohnungsbau greift und Bauleistungen um 19%, statt bisher 5%, deutlich verteuert. Bürger und Entwicklungsgesellschaften versuchten daher noch vor dieser Zäsur ihre Bauvorhaben umzusetzen. Allerdings soll eine vorgesehene Gesetzesänderung den Begriff des sozialen Wohnungsbaus (auf Wohnungen bis 90 qm und Familienhäuser bis 150 qm), für den weiterhin der ermäßigte Steuersatz gelten wird, derart erweitern, dass nach Meinung von Branchenkennern weiterhin etwa 70% des Wohnungsbaus darunter fallen würden.[52]

[49] „In Tschechien werden jährlich 140 Mrd. Kronen in Wohnbau investiert“, in: Radio Prag 23.05.2006.
[50] Tschechisches Statistikamt (CSU).
[51] Kratschmann, A., Gröger, M.: Wohnungsmarkt in den neuen EU-Ländern, Tschechien, Ungarn, Slowenien und Kroatien (als Beitrittbewerber), Forschungsgesellschaft Wohnen, Bauen und Planen, Wien, 2004.
[52] Bundesagentur für Außenwirtschaft: Tschechiens Bauwirtschaft wächst im siebten Jahr/ Dynamik der Branche verringerte sich 2005/Hohe Zeit des Wohnungsbaus.

Der positive Trend im Wohnungsbau wird voraussichtlich weiter anhalten, denn in den älteren Mitgliedsländern der Europäischen Union bildet der Wohnungsbau einen Anteil von 30 Prozent am aktuellen Baugewerbe, während dieser in Tschechien erst bei 15 Prozent liegt. [53]

3.2 Situation in Rumänien[54]

Das rumänische Wirtschaftswachstum im Jahr 2006 wird mit 7,7 % angegeben. Für 2007 und in den darauf folgenden Jahren werden die Konjunkturdaten bis auf 5,8 % leicht absinken.[55] Die Arbeitslosenquote liegt bei ca. 7 %. Mit einer Bevölkerungszahl von 22 Mio. Einwohnern (2 Mio. in Bukarest) und einem Gesamtwohnungsbestand von ca. 8 Mio. Wohneinheiten liegt die durchschnittliche Haushaltsgröße weit über dem westeuropäischen Vergleichswert. Die nach der politischen Wende realisierten Privatisierungen und das niedrige Durchschnittseinkommen führten zu einer rapiden Verschlechterung des Wohnungsbestandes. Vor allem in den städtischen Regionen wächst mit dem Einkommensniveau jetzt auch die Nachfrage nach modernen Wohnflächen rasant.[56]

Damit steigen auch die Preise für den Erwerb von Wohneigentum. Beispielsweise sind die Preise für eine 3-Raum Wohnung in einem Bukarester Plattenbau seit dem Jahr 2000 von 300 €/m² auf 1.200 €/m² in 2006 gestiegen. Neu errichtete Wohnungen in Bukarest kosten fertig gestellt ca. 1.800 bis 2.000 €/m². Marktbeobachter rechnen in 2 bis 3 Jahren mit einem durchschnittlichen Preis von 3.000 €/m² auf Grund des mangelnden Angebotes bei sehr starker Nachfrage. Auch in den rumänischen Provinzstädten wird mit einem Kaufpreis von Wohnungen in neuen Wohnanlagen von 1.200 bis 1.400 €/m² und höher gerechnet. Der Wohnungsbedarf wird landesweit auf ca. 1 Mio. Wohneinheiten geschätzt, in Bukarest sind es 300.000.[57]

Die Bauwirtschaft in Rumänien wächst seit 2000 kontinuierlich mit Zuwachsraten, die über dem allgemeinen Wirtschaftswachstum des Landes liegen. Positive Impulse gehen vor allem vom boomenden Hochbau, d.h. vom Bau von Bürogebäuden, Geschäftszentren, Wohnanlagen und Industriebauten aus, aber auch die rege Bautätigkeit im Infrastrukturbereich soll in den nächsten Jahren anhalten.

So sagt die Nationale Kommission für Prognose (CNP) in ihrem Konjunkturbericht vom Herbst 2005 für die Jahre 2006 bis 2010 ein Branchenwachstum zwischen rd. 10 und 12% voraus.

Nachfolgende Strukturdaten – ermittelt vom Nationalen Institut für Statistik (INS) - kennzeichnen die rumänische Bauwirtschaft:

[53] Martin, L.: Bauboom in Tschechien wird noch einige Jahre anhalten, 06-04-2005, Radio Prag.
[54] IXPOS: Markt des Monats Bauwirtschaft MOE" Rumänien: Bauwirtschaft kompakt, 02/2006.
[55] WKO Wirtschaftskammer Österreichs, aktualisiert im Nov. 2007, http://wko.at/statistik/eu/europa-wirtschaftswachstum.pdf. aufgerufen am 14.02.2008.
[56] IMMOEAST: Geschäftsbericht 2005/06, Länderberichte, S. 68.
[57] Rekordverkäufe auf dem rumänischen Immobilienmarkt, Artikel vom 13.01.2008, http.//www.agent-imobiliare.rolimobiliare/2008/01/13/rekord-verkaufe…, aufgerufen am 14.02.2008

Tab. 3: Strukturdaten der Bauwirtschaft für Rumänien[58]

Kennziffer	2002	2003	2004
Wert der erbrachten Bauleistungen, davon	154.040,8	206.294,7	213.900,4
Hochbau	80.334,2	126.940,1	104.604,1
Tiefbau	73.706,6	79.354,6	109.296,3
Zahl der Bauunternehmen	16.382	20.441	23.479
Zahl der fertig gestellten Wohnungen	27.722	29.125	30.127
Wert der fertig gestellten gewerbliche Immobilien	57.036,9	93.173,0	55.935,8
Öffentliche Bauinvestitionen	17.743,3	34.238,8	39.580,1

(in Mrd. Lei *, laufende Preise, sofern nicht anders angegeben)
*) durchschnittlicher Wechselkurs im Jahr 2002: 1 Euro = 31.270 Lei; 2003: 37.551 Lei; 2004: 40.510 Lei; ab Juli 2005 Währungsumstellung: 1 neuer Lei = 10.000 alte Lei; durchschnittlicher Wechselkurs im Dezember 2005: 1 Euro = rd. 3,66 neue Lei

Die o.g. offiziellen Zahlen des INS zeugen zwar von einem intensiven Baugeschehen, sind jedoch nur ein schwaches Abbild der stark von Schattenwirtschaft geprägten rumänischen Bauwirtschaft. Vor allem im Wohnungsbau soll sich nach Ansicht von Experten mehr als die Hälfte der Aktivitäten im "grauen" Bereich abspielen. Die Schattenwirtschaft insgesamt soll sich in Rumänien nach offiziellen Schätzungen auf 25 bis 40 % des Bruttoinlandsprodukts (BIP) belaufen. Tätig sind hier vor allem kleine und mittelständische Unternehmen sowie Akteure aus dem Baustoff- und Baumaterialiensektor. Trotzdem wird – gemessen am Bedarf - in Rumänien immer noch wenig gebaut. In Rumänien sind mehr als 75 % des Wohnraums dringend sanierungsbedürftig, die Hälfte aller Wohnungen verfügt nicht über „fließend“ Wasser.[59] Besonders in den ländlichen Gegenden ist die Qualität des Hausbestandes äußerst schlecht. Die Überschwemmungen in 2005 haben zudem mehrere Tausend Lehmhäuser zerstört oder beschädigt.[60]

Die Finanzierung des privaten Wohnungsbaus scheint durch die Vermögensbildung in der Bevölkerung und durch verfügbare Immobilienkredite gewährleistet zu sein. Rund 7 % der Rumänen wollen in den nächsten Jahren ein Haus bauen oder kaufen. Rund 94 % aller Rumänen sind Hauseigentümer.[61] Über 70.000 Rumänen haben bei der führenden Bausparkasse – der Raiffeisen Bank für Wohnen – einen Bausparvertrag abgeschlossen.[62]

[58] IXPOS: Markt des Monats Bauwirtschaft MOE" Rumänien: Bauwirtschaft kompakt, 02/2006.
[59] Pressemitteilung Schwäbisch Hall: Exportschlager Bausparen, 30.01.2006.
[60] Pressemitteilung Bundesagentur für Außenwirtschaft: Rumänischer Wohnungsbau im Aufwind, 02.08.2005.
[61] ebenda.
[62] Pressemitteilung Schwäbisch Hall: Exportschlager Bausparen, 30.01.2006.

3.3 Situation in Russland

Das russische Wirtschaftswachstum liegt mit ca. 4 % (2005) weiterhin über den westeuropäischen Vergleichswerten. Die durchschnittliche Arbeitslosenrate beträgt ca. 8 %. Durch die Größe und Vielfalt des Landes existiert in Russland kein einheitlicher Immobilienmarkt.[63]

Bei einer Einwohnerzahl von ca. 147 Mio. gibt es in Russland rd. 57 Mio. Wohnungen. Pro Haushalt leben 2,5 Personen, wobei die durchschnittliche Wohnfläche pro Kopf ca. 20 m² beträgt. Etwa 10 % aller russischen Haushalte sind den Behörden als wohnungssuchend gemeldet (5,7 Mio.).[64]

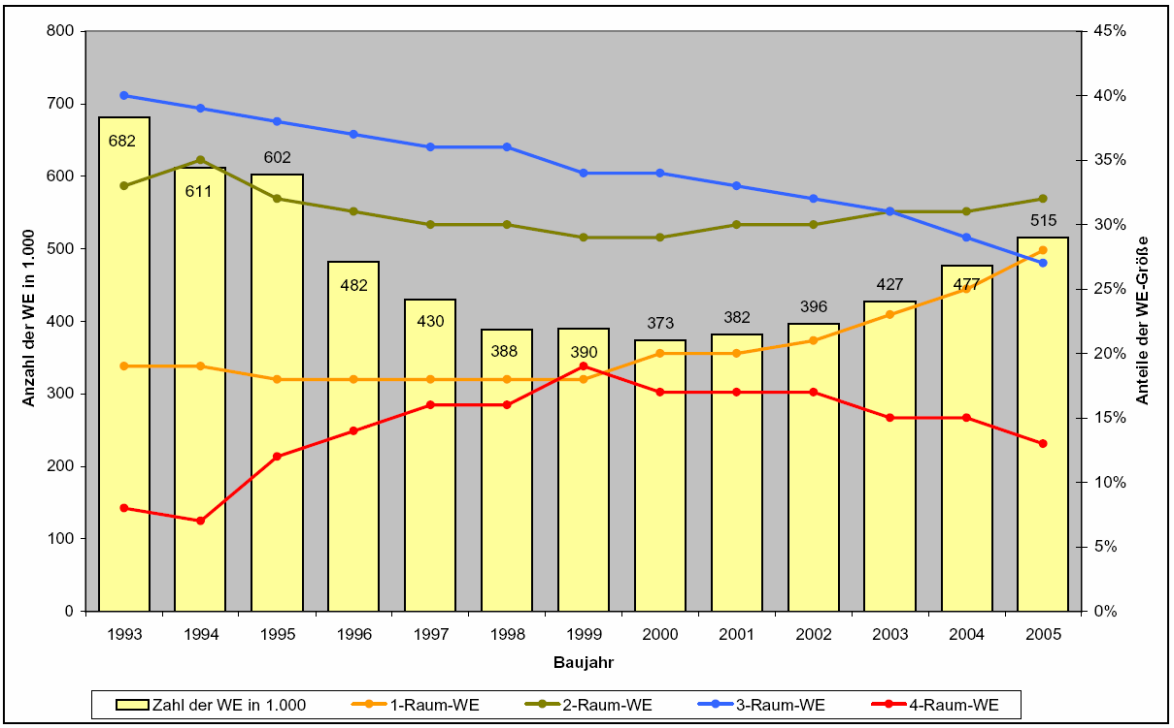


Abb. 8 : Anzahl der neu gebauten Wohnungen in Russland (in 1.000) und deren Anteile entsprechend der durchschnittlichen Größe)[65]

Die radikale Privatisierung des Wohnungsmarktes nach 1990 führte zu einem starken Verfall des Wohnungsbestandes durch mangelnde Instandhaltung und Sanierung. Die zuvor staatlichen Wohnungen wurden als Einzeleigentum den bisherigen Mietern zum Teil durch kostenfreie Übertragung überlassen. Der somit nahezu regulationsfreie Wohnungsmarkt führte zu deutlich verschlechterten Wohnverhältnissen bei ständig wachsenden Wohnungspreisen und Wohnungsnot. Auf Basis des 2005 erlassenen Wohnungsgesetzbuchs sollen Eigentümergemeinschaften gegründet werden, die dann Verwaltungs- und Pflegeaufgabe übernehmen bzw. vergeben können. So sollen die dramatischsten Auswüchse des gespaltenen Wohnungsmarktes gedämpft werden. Diese marktkonforme Subventionsregulierung führt aber zu einer Vervielfachung der Wohnkosten, welche gerade einkom-

[63] IMMOEAST: Geschäftsbericht 1005/06, Länderberichte, S. 68; http://ieag0506.genesto.com/dateien/Laenderberichte.pdf, aufgerufen am 14.02.2008.
[64] Shamaeva, M.: Wohnen in Russland, Schwierige Wohnverhältnisse und ein Markt ohne Regeln, Mieterecho 321/April 2007, Berliner MieterGemeinschaft e.V..
[65] Tschetwernina, T. et.al.: Russlandanalysen, Nr. 111, 29.09.2006, Otto-Wolff-Stiftung, Deutsche Gesellschaft für Osteuropakunde, Forschungsstelle Osteuropa, Bremen, 2006, S. 5.

mensschwache Haushalte kaum aufbringen können. Mit Förderprogrammen zum Wohnungserwerb für junge Familien soll der Wohnungsmangel ausgeglichen werden.[66]

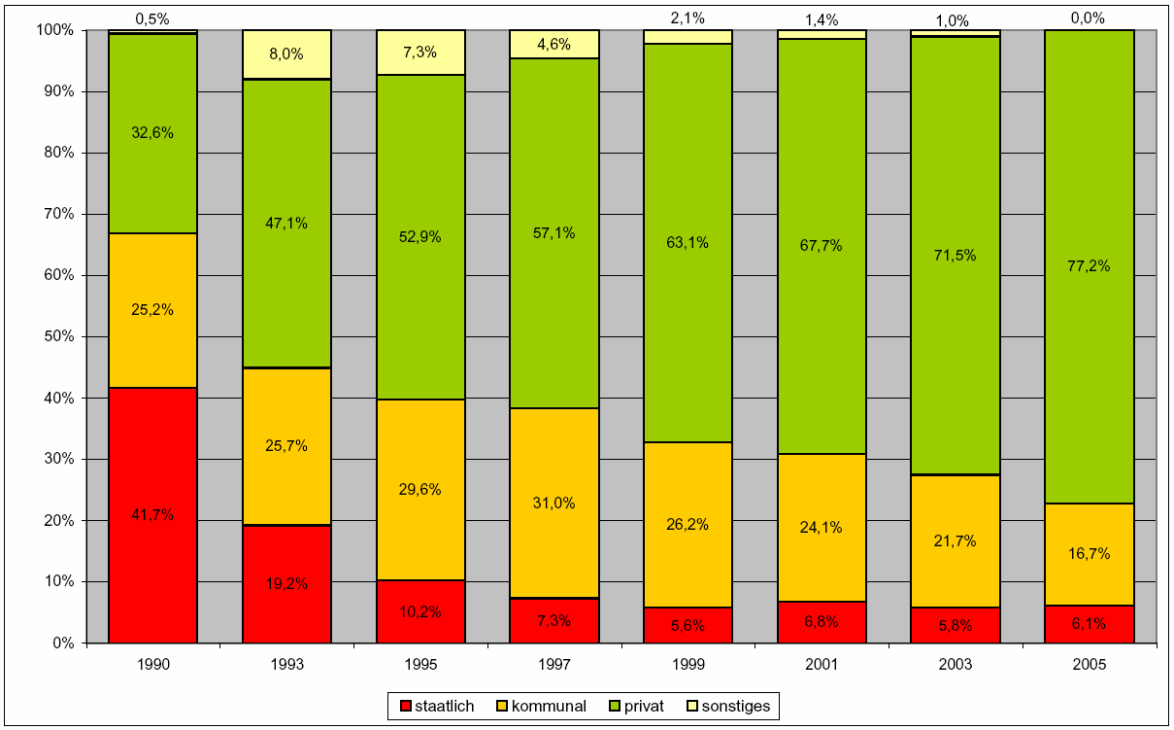


Abb. 9 : Entwicklung des russischen Wohnungsbestandes nach Eigentumsformen[67]

Auf einer Pressekonferenz zum „Großen Wirtschaftsforum“ in Krasnojarsk am 15.02.2008 verkündete der Vizepremierminister und Kandidat für die Präsidentschaftswahlen im März 2008 Dimitrij Medvedev hinsichtlich der Wohnungspolitik, dass in den kommenden vier Jahren 35 % der russischen Bevölkerung in die Lage versetz werden sollen, Immobilien zu erwerben. Bisher konnten dies 20 %. In der weiteren Entwicklung soll sich diese Zahl verdoppeln. Weiter sagte Medvedev:

„Wir müssen eine massenhafte industrielle Produktion individueller Häuser schaffen, und zwar auf die Art und Weise, dass Privathäuser günstiger als eine Wohnung in der Stadt werden.“[68]

[66] Shamaeva, M.: Wohnen in Russland, Schwierige Wohnverhältnisse und ein Markt ohne Regeln, Mieterecho 321/April 2007, Berliner MieterGemeinschaft e.V..
[67] ebenda.
[68] Auszug aus einer Videoreportage der VESTI – TV vom 15.02.08, Übersetzung aus dem Russischen durch Dipl.-Übers. Evgeny Ivanov, URL: http://www.vesti.ru/videos?vid=122447&doc_type=news&doc_id=163807&p=1, aufgerufen am 15.02.2008.

3.4 Zusammenfassung der Situation in den osteuropäischen Ländern

Abb. 10 : Osteuropa im Überblick[69]

In Tab. 4 erfolgt eine Zusammenfassung der bisher aufgeführten Angaben zu den Wohnungsmärkten in Tschechien, Russland sowie weiteren osteuropäische Ländern im Vergleich zu Wohnungsmarktsituation in Deutschland. Deutlich zeigen sich hierbei vor allem die höheren Haushaltsgrößen mit bis zu durchschnittlich 3 Personen pro Haushalt, wie in Abb. 11 auch grafisch verdeutlicht wird. Auch ist die pro Person zu Verfügung stehende Wohnfläche um 25 bis 50 % kleiner als in Deutschland (s. Abb. 12).

[69] aus: http://awb.bbi-gruppe.de/osteuropa/default.htm, aufgerufen am 21.02.2008.

Tab. 4: Wohnungsbestand ausgewählter osteuropäischer Länder in Vergleich zu Deutschland (Status zwischen 2001 und 2004[70]

Land	Polen	Tsche-chien	Slowa-kei	Ungarn	Slowenien	Kroatien	Russ-land[71]	Deutsch-land[72]
Bevölkerungs-anzahl	38,6 Mio.	10,2 Mio.	5,4 Mio.	10,1 Mio.	2,0 Mio.	4,4 Mio.	147 Mio.	82,5 Mio.
Anzahl Wohn-einheiten	13 Mio.	4,4 Mio.	1,9 Mio.	4,1 Mio.	0,8 Mio.	1,9 Mio.	57 Mio.	39,4 Mio.
Anzahl Wohn-einheiten pro 1.000 Einwohner	337	427	350	406	396	423	388	477
Anzahl Perso-nen pro Wohn-einheit	3,0	2,4	3,2	2,5	2,8	2,4	2,5	2,1
Durchschnittli-che Wohnfläche pro Wohneinheit	n.e.	53,7 m²	82,5 m²	71,4 m²	74,6 m²	70,4 m²	n.e.	85,6 m²
Durchschnittli-che Wohnfläche pro Person	n.e.	22,4 m²	25,7 m²	28,6 m²	26,6 m²	29,3 m²	20 m²	40,8 m²
Anteil der Plat-tenbauten am Wohnungsbe-stand	n.e.	36 %	42 %	38 %	37 %	n.e.	n.e.	n.e.

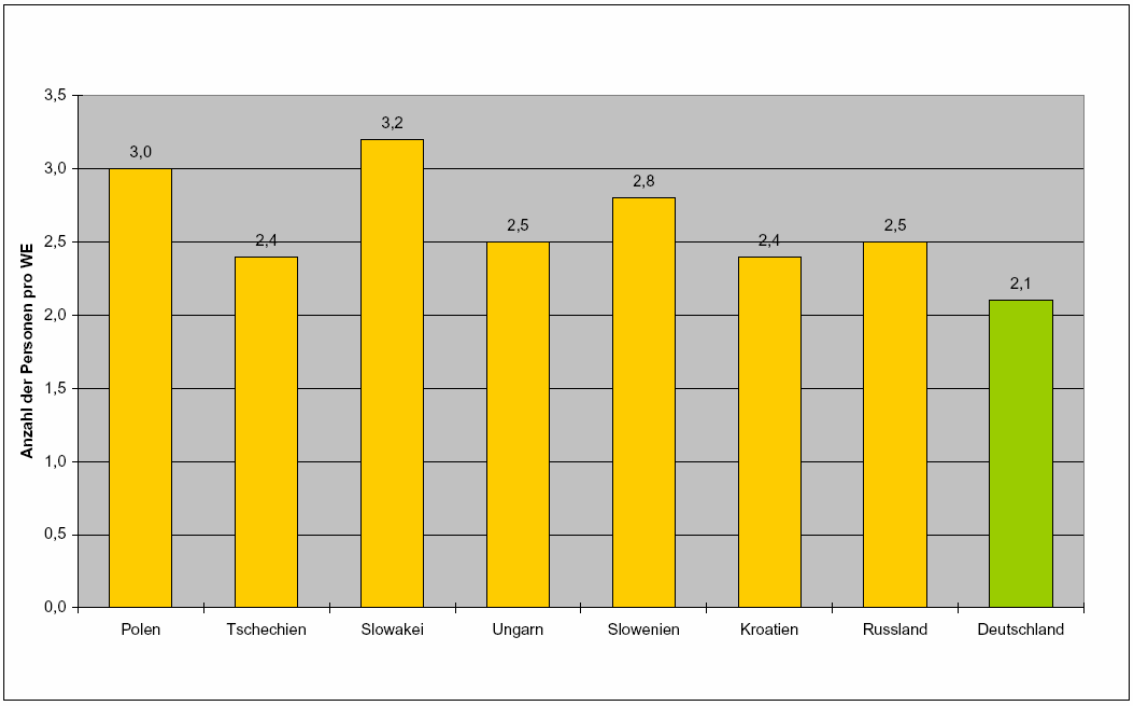


Abb. 11 : Durchschnittliche Anzahl der Personen je Haushalt in ausgewählten osteuropäischen Ländern und Deutschland

[70] nach: Kratschmann, A., Gröger, M.: Wohnungsmarkt in den neuen EU-Ländern, Tschechien, Ungarn, Slowenien und Kroatien (als Beitrittbewerber), Forschungsgesellschaft Wohnen, Bauen und Planen, Wien, 2004.
[71] Tschetwernina, T. et.al.: Russlandanalysen, Nr. 111, 29.09.2006, Otto-Wolff-Stiftung, Deutsche Gesellschaft für Osteuropa-kunde, Forschungsstelle Osteuropa, Bremen, 2006, S. 5.
[72] Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch 2006, S. 282.

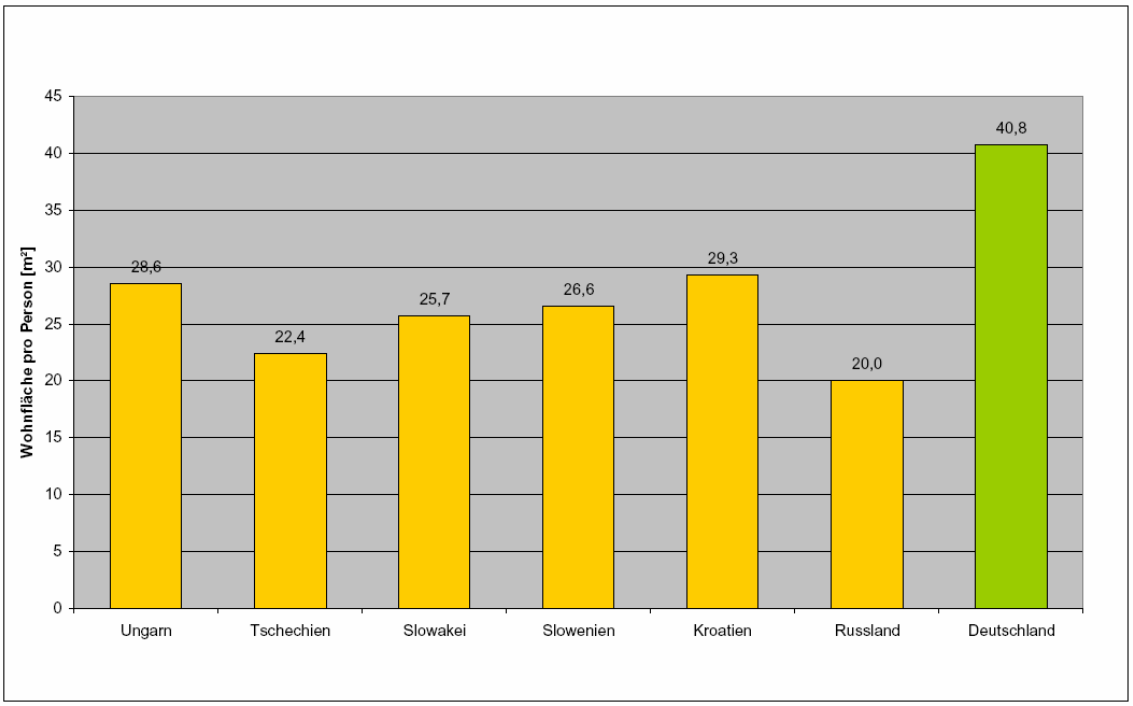


Abb. 12 : Durchschnittliche Wohnfläche je Personen in ausgewählten osteuropäischen Ländern und Deutschland

Ausgehend von der durchschnittlichen Wohnraumversorgung von ca. 450 Wohneinheiten pro 1.000 Einwohner in den 15 „alten" Ländern der Europäischen Union (kurz: EU-15, vor dem Erweiterungsjahr 2004) erfolgt in Tab. 5 die Berechnung des zu produzierenden Wohnraums für eine Angleichung an diesen Standard.

Tab. 5: Wohnungsbestand ausgewählter osteuropäischer Länder in Vergleich zu Deutschland (Status zwischen 2001 und 2004)

Land	**Polen**	**Tschechien**	**Slowakei**	**Ungarn**	**Slowenien**	**Kroatien**	**Russland**[73]
Bevölkerungsanzahl	38,6 Mio.	10,2 Mio.	5,4 Mio.	10,1 Mio.	2,0 Mio.	4,4 Mio.	147 Mio.
Anzahl Wohneinheiten	13 Mio.	4,4 Mio.	1,9 Mio.	4,1 Mio.	0,8 Mio.	1,9 Mio.	57 Mio.
Anzahl Wohneinheiten pro 1.000 Einwohner	337	427	350	406	396	423	388
	EU-15-Standard: 450 WE/1.000 Einwohner						
Wohnraumbedarf zum Erreichen des EU-15-Standards	**4,4 Mio**	**237.000**	**543.000**	**444.000**	**109.000**	**121.000**	**9,1 Mio.**
In 10 Jahren	440.000	23.700	54.300	44.400	10.900	12.100	910.000
In 20 Jahren	220.000	11.850	27.150	22.200	5.450	6.050	455.000

[73] Tschetwernina, T et.al.: Russlandanalysen, Nr. 111, 29.09.2006, Otto-Wolff-Stiftung, Deutsche Gesellschaft für Osteuropakunde, Forschungsstelle Osteuropa, Bremen, 2006, S. 5.

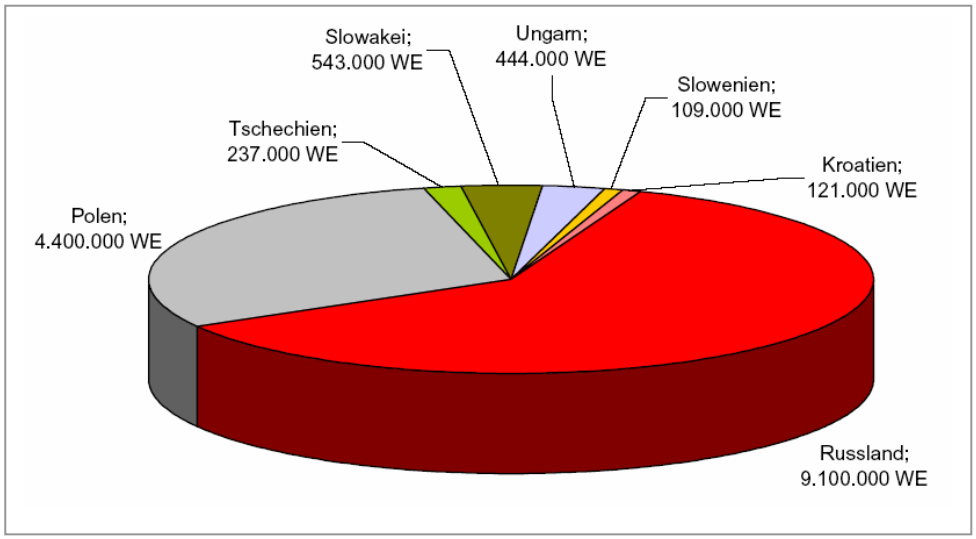


Abb. 13 : Vergleich der erforderlichen Wohnungsproduktion zur Angleichung der Wohnversorgung an EU-15-Verhältnisse ausgewählter osteuropäischer Länder

Obwohl die aufgeführte vereinfachte Hochrechnung zum Wohnraumbedarf nur als Orientierung dienen kann, wird hier deutlich, dass insbesondere Russland und Polen den größten Bedarf an neuen Wohnbauten aufweisen. Geschuldet ist dies den deutlich höheren Bevölkerungsanzahlen dieser beiden großen Länder. Trotzdem ist der Wohnraumbedarf auch in den anderen Ländern Osteuropas bezogen auf die Anzahl der Wohneinheiten je 1.000 Einwohner immer noch groß. Zu beachten, sind ebenfalls regionale Schwankungen in der Wohnraumversorgung zwischen großen Ballungszentren und ländlichen Gegenden. So stehen beispielsweise in der slowakischen Hauptstadt Bratislava für 1.000 Einwohner durchschnittlich 404 WE zur Verfügung, in der nordöstlichen Region Prešovský nahe der Grenze zu Polen und der Ukraine nur 291 WE/1.000 Einwohner[74].

Durch die Umgestaltung der Wohnungsmärkte in den osteuropäischen Ländern durch massive Privatisierungen von Wohneigentum nach der politischen Wende wurde die Neubautätigkeit nach 1990 stark reduziert. Diese Konjunkturflaute in der Wohnungsbauwirtschaft wurde erst ab 2002 durch einen Anstieg der Neubautätigkeit vor allem in Tschechien, Ungarn und Kroatien beendet. Angesichts des so gesteigerten Wohnungsneubauvolumens kann in diesen Ländern zzgl. Slowenien mit einem bislang konstanten Wachstum mit einem Erreichen des EU-15-Standards in den kommenden 3 - 12 Jahren gerechnet werden. Die Slowakei weist hier einen deutlich höheren Aufholbedarf auf, zudem hier bis 2004 relativ wenige Maßnahmen zur Konjunktursteigerung in der Wohnungsbaubranche erfolgten.[75]

Hinzu kommt, dass die zu Verfügung stehende Wohnfläche pro Person der bestehenden Wohnungen immer noch weit unter den durchschnittlichen Werten von Deutschland und den EU-15-Ländern liegt. Mit wachsender Wirtschaft und sich verbessernden Einkommensverhältnissen wird sich auch der Bedarf an mehr Wohnfläche je Person einstellen und auch finanzierbar werden. Gleichzeitig ist mit einer Migrationsbewegung aus großen Mietwohnblöcken zum kleinteiligeren Wohnen im „eigenen Heim“ zu

[74] Kratschmann, A., Gröger, M.: Wohnungsmarkt in den neuen EU-Ländern, Tschechien, Ungarn, Slowenien und Kroatien (als Beitrittbewerber), Forschungsgesellschaft Wohnen, Bauen und Planen, Wien, 2004.
[75] ebenda.

rechnen, welche die Tendenz zum Bau von Ein- und kleinteiligen Mehrfamilienhäusern an der Peripherie von Ballungszentren weiter verstärkt. Betreffen wird dies vor allem junge Familien, welche zu möglichst günstigen Bedingungen Wohneigentum schaffen wollen.

Dies hat zum einen Einfluss auf die Wahl der Baustoffe, was den Einsatz von RC-/Altbetonbauteilen durch günstigere Rohbaukosten ermöglichen würde. Andererseits müssen die architektonischen Entwürfe für den Einsatz gebrauchter Betonbauteile den jeweiligen regionalen Erfordernissen angepasst werden. So kann nicht maßgeblich von deutschen Verhältnissen ausgegangen werden. Osteuropäische Bauherren werden beispielsweise schon aus Kostengründen die zu errichtende Wohnfläche je Person nur langsam den in Deutschland vorherrschenden Bedingungen anpassen, d.h. weniger Wohnfläche bei gleicher Personenzahl als hier zu Lande.

Zu beachten sind ebenso die verschiedenen Besteuerungssysteme. Beispielsweise fallen in der Tschechischen Republik Neubauten von Wohnungen bis 90 m² und von Familienhäusern bis 150 m² in den sozialen Wohnungsbau und werden nur mit einer Mehrwertsteuer von 5 % beaufschlagt. D.h. die Planung von Neubauten müssen an diesen Prämissen ausgerichtet werden, um das Bauvorhaben wirklich kostengünstig zu gestalten.

Des Weiteren ist das generationenübergreifende Wohnen weiter verbreitet als in Deutschland. Somit muss bei kleinerer Wohnfläche mit einer größeren Raumanzahl gerechnet werden. Gemeinschaftsräume wie Küche und Wohnzimmer sind größer zu gestalten. Die Gebäude sollten flexibel erweiterbar sein.

Die Anforderungen an den Wohnraum sind natürlich kulturell bedingt regional differenziert. Dies muss bei der Entwicklung von Wohnraumangeboten unter Verwendung sekundärer Betonbauteile unbedingt berücksichtigt werden. Die notwendige Flexibilität des Einsatzes von RC-/Altbetonbauteilen ist gegeben. Allein die Umsetzung muss an die jeweilig gewünschte Wohnsituation im Sinne des Bauherrn erfolgen.

Ein weiterer wichtiger Parameter zur Entwicklung des Wohnungsbaus stellen die Baukosten dar. Eine Übersicht zu den durchschnittlichen Baukosten und deren Verhältnis zum durchschnittlichen Einkommen in ausgewählten osteuropäischen Ländern im Vergleich zu Deutschland gibt Tab. 6.

Tab. 6: Baukosten einer durchschnittlichen Neubauwohnung im Verhältnis zum Einkommen[76]

Land	Tschechien	Slowakei	Ungarn	Slowenien	Kroatien	Deutschland[77]
Durchschnittliche Baukosten je m² Wfl.	562 €	480 €	435 €	795 €	650 €	1.239 €
Durchschnittliche Wohnungsgröße (Neubau)	70 m²	70 m²	70 m²	70 m²	70 m²	116 m²
Durchschnittliche Baukosten je WE	39.340 €	33.600 €	30.450 €	55.650 €	45.500 €	143.724 €
durchschnittliches monatliches Bruttoeinkommen in Landeswährung (entspr. €)	18.133 CZK (560 €)	14.365 SKK (350 €)	137.200 HUF (535 €)	235.436 SIT 1.041 €	5.366 Kuna (724 €)	2.967 €
Baukosten als Vielfaches des Jahreseinkommens	5,9	8,0	4,7	4,5	5,2	4,0

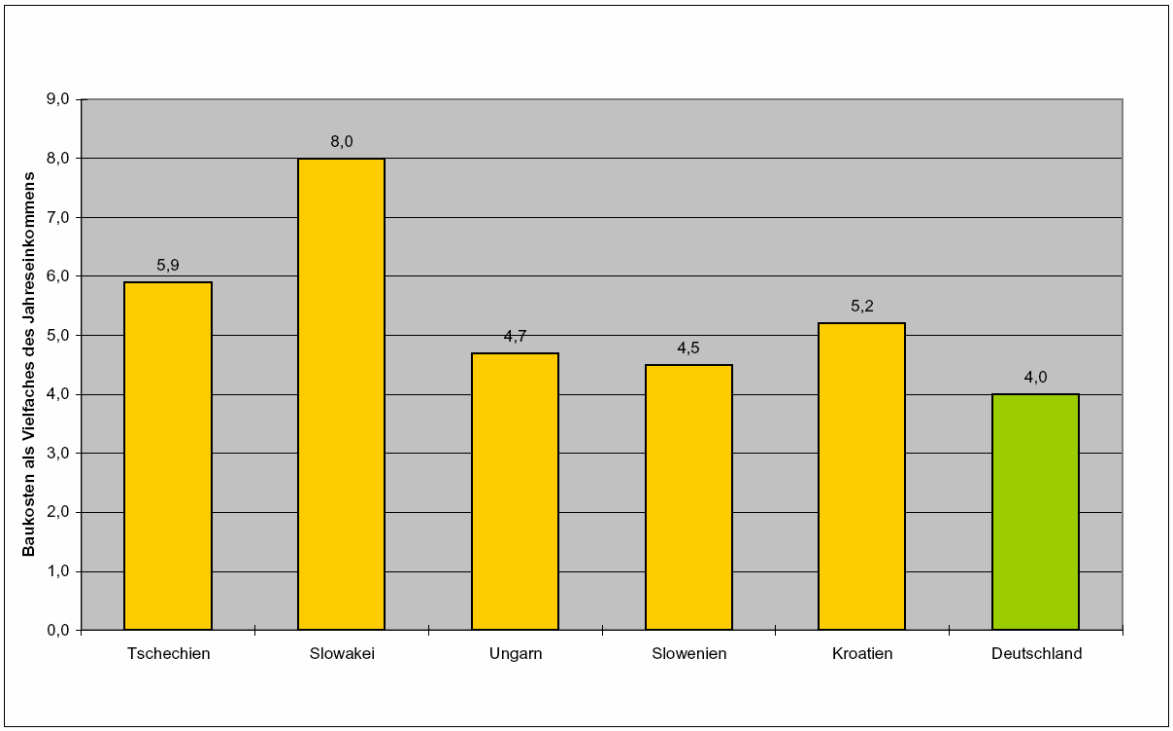


Abb. 14 : Vergleich der Baukosten als Vielfaches des Jahreseinkommens ausgewählter osteuropäischer Länder und Deutschland

Deutlich wird, dass in allen ausgewählten osteuropäischen Ländern die Baukosten höher als in Deutschland sind. Erschwerte Bedingungen für die Schaffung von Wohneigentum zeigen sich vor allem in der Slowakei, wo ungefähr 100 % mehr Einkommen für die Errichtung einer dazu noch deutlich kleineren Wohnung aufgebracht werden muss. Aber auch in Tschechien muss durchschnittlich 50 % mehr Einkommen zum Bau einer 40 % kleineren Wohnung eingesetzt werden. Daraus resultiert ein

[76] Kratschmann, A., Gröger, M.: Wohnungsmarkt in den neuen EU-Ländern, Tschechien, Ungarn, Slowenien und Kroatien (als Beitrittsbewerber), Forschungsgesellschaft Wohnen, Bauen und Planen, Wien, 2004.
[77] Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch 2007, S. 278 und S. 523.

noch größerer Zwang, die Baukosten durch den Einsatz günstiger Materialien und Bauteile zu reduzieren und Wohnraumgrößen den entsprechenden Erfordernissen anzupassen.

Da sich in Tschechien wie auch im weiteren osteuropäischen Ländern, vor allem Slowakei, Polen und Russland, ein enormes Wachstumspotenzial auf dem Wohnungsbausektor zeigt, wird von einer hohen Nachfrage nach preiswertem Wohnraum ausgegangen. Hierbei kann der Einsatz von RC-/Altbetonelementen durchaus eine kostengünstige Alternative zu konventionellen Bauweisen darstellen. Dazu müssen die Kosten für die Prüfung der Bauelemente zum Bauzustand, der TUL-Prozesse und der Zollgebühren geringer als die Kosten für den konventionellen Neubau sein. Der finanzielle Aufwand zur Wiederverwendung gebrauchter Betonelemente im Ausland K_{WV} ergibt sich aus:

$$K_{WV} = K_{Prüf} + K_{TUL} + K_{Zoll}$$

Unter monetären Gesichtspunkten wird eine Wiederverwendung akzeptiert, wenn

$$K_{WV} < K_{neu}$$

K_{WV}	- Kosten zur Wiederverwendung gebrauchter Betonelemente
$K_{Prüf}$	- Kosten für Bauzustandsanalyse (Konformitätsprüfung/ Zertifizierung)
K_{TUL}	- Kosten für Transporte, Umschlag und Zwischenlagerung
K_{Zoll}	Ausfuhrgebühren
K_{neu}	Materialkosten für vergleichbares Sortiment aus der Neuproduktion

Zudem müssen die vorhandenen Bauteilqualitäten den geforderten Parametern der jeweils geltenden Normen und Richtlinien entsprechen. Auf die Wiederverwendungseignung rückgebauter Betonbauteile aus industriell errichteten Wohnbauten der DDR soll im Folgenden näher eingegangen werden.

4 Rechtliche Aspekte für die Wiederverwendung gebrauchter Betonbauteile in Deutschland und Osteuropa

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[78] 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[79] und dem

[78] 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.
[79] Leitzke, C.: Rechtliche Betrachtung von Rückbauprojekten, Gutachten, i.A. der FG Bauliches Recycling, Potsdam, 2001.

Aufsatz „Rechtliche Aspekte der Wiederverwendung“[80] entnehmbar. Ein kurzer Abriss zur Thematik wird im Teil 2 des Ergebnisberichtes[81] zum Forschungsvorhaben der FG Bauliches Recycling „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Bauteile im ökologischen Kreislauf“ gegeben.

4.1 Europäische Richtlinien

Die Einteilung in Abfallarten 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[82], 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 und die grenzüberschreitende Verbringung von Produkten und Gegenständen im EU-Gebiet einer permanenten Entwicklung unterworfen sind.

Es kann von den Grundtatbeständen ausgegangen werden:

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

Hinsichtlich der zoll- und abfallrechtlichen sowie innerstaatlichen Vorschriften sind Veränderungen möglich. Diese sind im Vorfeld von Maßnahmen des Wiedereinsatzes von gebrauchten Betonfertigteilen erneut zu betrachten und entsprechend umzusetzen.

[80] Ehlers, B: Rechtliche Aspekte der Wiederverwendung, Hammermann & Ehlers, Cottbus, März 2006.
[81] Mettke, A. et.al.: Rückbau und Nachnutzung im Zeichen des Stadtumbau-Ost – Ein Ergebnisbericht, Teil 2: Wieder- und Weiterverwendung großformatiger Betonbauteile, Cottbus, 2008.
[82] Leitzke, C.: Rechtliche Betrachtung von Rückbauprojekten, Gutachten, i.A. der FG Bauliches Recycling, Potsdam, 2001.

4.2 Europäische Normen

Die europäische Normengebung wird vom Europäischen Komitee für Normung (CEM – Comité Européen de Normalisation) erarbeitet. Mitglieder des CEM sind die nationalen Normungsinstitute aller Mitgliedstaaten der Europäischen Union (EU) und der Europäischen Freihandelszone. In Osteuropa sind das bspw. Polen, Tschechien, Slowakei, Ungarn, Rumänien, Bulgarien Slowenien sowie die baltischen Länder. Als CEN-Affiliate (engl.: *to affiliate*: angliedern) werden nationale Normungsorganisationen von Ländern bezeichnet, welche als offizielle Beitrittskandidaten zur EU oder EFTA gelten und gute wirtschaftliche, technische, wissenschaftliche, politische und soziale Beziehungen zur EU und EFTA unterhalten. Darunter zählen beispielsweise Kroatien, Albanien, Mazedonien. Zur Durchsetzung eines einheitlichen europäischen Normenwerkes gelten folgende grundlegende Prinzipien:[83]

- Übernahmeverpflichtung - Europäische Normen müssen in des nationale Normenwerk übernommen werden.
- Zurückziehungsverpflichtung - Widersprechende nationale Normen müssen zurückgezogen werden.
- Stillhalteverpflichtung - Wird eine Norm auf europäischer Ebene erarbeitet, so dürfen gleichzeitig keine nationalen Normungsaktivitäten zu diesem Thema stattfinden.

Daneben existieren noch Partner-Normungsorganisationen (PSB Partner Standardization Body) des CEN. Diese sind laut Definition nationale Normungsorganisationen, die Mitglied der Internationalen Normungsorganisation ISO sind, voraussichtlich nicht den Status eines nationalen CEN-Mitglieds oder einer angegliederten Normungsorganisation (CEN Affiliate) erhalten können und in einem Land tätig sind, das sich dazu verpflichtet, Europäische Normen als Grundlage für nationale Normen zu verwenden. Eine PSB erhält das Recht zur Teilnahme als Beobachter und zur Einreichung schriftlicher Beiträge bei Technischen Komitees und Subkomitees des CEN sowie zur Teilnahme an der Vollversammlung (CEN/AG) bzw. an den entsprechenden Aktivitäten der Sektoren – allerdings jeweils ohne Stimmrecht. Zu den Pflichten gehört die Übernahme jener Europäischen Normen (EN) als nationale Normen in der Landessprache oder in einer der offiziellen CEN-Sprachen jener Technischen Komitees, in denen die Partnerorganisation mitarbeitet. Entgegenstehende nationale Normen sind bei der Übernahme einer Europäischen Norm zurückzuziehen. Den Status eines "Partner Standardization Body" haben derzeit u.a. die Russische Föderation, Bosnien-Herzegowina, Serbien und Montenegro, die Ukraine und Australien.

Für diese Forschungsarbeit relevante Arbeitsbereiche zur Normierung durch das CEN erstrecken sich auf:[84]

- Grundnormen - Akkreditierung, Zertifizierung, Prüfwesen etc.
- Dienstleistungen - Vertragsvergabe etc.
- das Bauwesen - Gebäude, Bauprodukte, Baustoffe, Baugeräte und –ausrüstungen, baulicher Brandschutz etc.
- Umwelt - Wasser- und Luftqualität, Kennzeichnung ökologischer Produkte etc.
- Gesundheit und Sicherheit - Persönliche Schutzmaßnahmen etc.

[83] aus: http://www.on-norm.at/publish/cen_about.html, aufgerufen am 20.02.2008.
[84] CEN – Europäisches Komitee für Normung: Compass Europäische Normung in Kürze, Brüssel, Sept. 2004.

Die wichtigsten europaweiten Regelungen hinsichtlich der Qualität von Beton und Betonprodukten sind u.a. die

- EN 206-1 Beton, Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
- EN 12390 Prüfung von Festbeton
- EN 12504 Prüfung von Beton in Bauwerken
- prEN 13791 Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen (Entwurf).

In Deutschland wurden auf Grundlage der Einführung der aufgeführten CEN-Normen die entsprechenden deutschen Normen des Deutschen Instituts für Normung (DIN), wie beispielsweise die DIN 1045 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton den Anforderungen der übergeordneten europäischen Normengebung angepasst.

Schlussendlich gilt festzuhalten, dass somit Beton und Betonprodukte wie auch RC-/Altbetonbauteile, welche die Anwendungsparameter der DIN 1045 und somit DIN EN 206-1 erfüllen, auch den EU-weit geltenden Normen entsprechen.

4.3 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 Abschn. 8 Transport, Umschlag, Lagerung gebrauchter Bauteile 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.

Bezogen auf den grenzüberschreitenden Verkehr ist die „Verordnung über den grenzüberschreitenden Güterkraftverkehr und den Kabotageverkehr“ GüKGrKabotageV, vom 22. Dezember 1998 (zuletzt geändert 31.10.2006 [BGBl. 2407]) anzuwenden. Der § 3 regelt hierbei die Zuständigkeiten: „Das Bundesamt für Güterverkehr (Bundesamt) ist zuständig für die Unterrichtungen nach Artikel 10 und 11 Abs. 2 und 3 der Verordnung (EWG) Nr. 881/92 und die Maßnahmen nach Artikel 8 Abs. 2 bis 4 der Verordnung (EWG) Nr. 3118/93 des Rates vom 25. Oktober 1993 zur Festlegung der Bedingungen für die Zulassung von Verkehrsunternehmen zum Güterkraftverkehr innerhalb eines Mitgliedstaates, in dem sie nicht ansässig sind (ABl. EG Nr. L 279 S. 1), geändert durch die Verordnung (EG) Nr.

3315/94 des Rates vom 22. Dezember 1994 (ABl. EG Nr. L 350 S. 9).“ Im 2. Abschnitt wird auf die CEMT[85]-Genehmigungen näher eingegangen. Die CEMT-Genehmigung nach der Resolution des Ministerrates der Europäischen Konferenz der Verkehrsminister (CEMT) über das Inkraftsetzen eines multilateralen Kontingents im internationalen Straßengüterverkehr vom 14. Juni 1973 (BGBl. 1974 II S. 298) in der jeweils geltenden Fassung wird einem Unternehmer mit Sitz des Unternehmens in Deutschland erteilt, der [86]

1. Inhaber einer Erlaubnis im Sinne des § 3 des Güterkraftverkehrsgesetzes oder einer Gemeinschaftslizenz im Sinne des Artikels 3 der Verordnung (EWG) Nr. 881/92 ist und

2. die Voraussetzungen dafür erfüllt, dass die Genehmigung hinreichend genutzt wird.

Die CEMT-Genehmigung wird mit einer Gültigkeit von einem Kalenderjahr (Jahresgenehmigung) oder mit einer Gültigkeit von 30 Tagen (Kurzzeitgenehmigung) erteilt.

5 Der industrielle Wohnungsbau der DDR

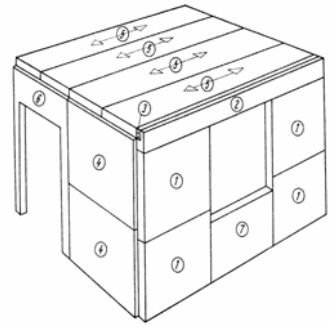
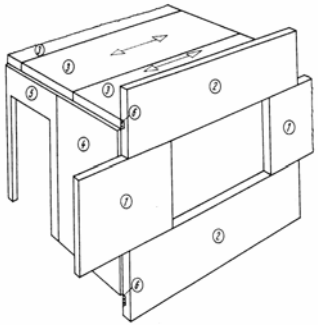
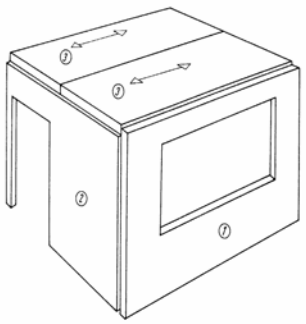
5.1 Übersicht industrieller Bauweisen

Vorherrschendes Konstruktionssystem des Wohnungsbaus ist die Wandbauweise. Nur vereinzelt wurden die Stahlbetonskelettbauweise oder andere Montagebauweisen[87] angewendet. Während die Wandbauweise eine günstige Vereinigung von raumtrennender und tragender Funktion durch die verschiedenen Wandelemente bietet, liegt der Vorteil der Skelettbauweise vor allem in der Möglichkeit des späteren Funktionswechsels durch versetzbare Trennwände und der durch das Skelett entstehenden weiten, nur von den Außenwänden begrenzten, Raumgröße.[88] Auch Kombinationen von Wand- und Skelettbauweise wurden - insbesondere in Wohnzentren zur Errichtung von Wohngebäuden mit Funktionsunterlagerung, aber auch bei einigen Ausführungen der WBS 70 - gebaut.

Die Entwicklung der Industrialisierung des Wohnungsbaus erfolgte in mehreren Stufen über die Block- und Streifenbauweise bis hin zur Plattenbauweise (Großtafelbauweise).

[85] «Conférence Européenne des Ministres des Transports» hervorgegangen aus: The European Conference of Ministers of Transport (ECMT), Tschechische Republik ist seit 1993 Mitglied.
[86] entspr. § 4 GüKGrKabotageV.
[87] andere Montagebauweisen: Montagebauten mit Gleitkern, Lift-Slab-Verfahren (Deckenhubverfahren), Raumzellenbauweise.
[88] Henschel, W.: Technologie der Bau- und Ausrüstungsmontage, Berlin, 1981, S. 117.

Tab. 7: Übersicht zu den Bauweisen des industriellen Wohnungsbaus der DDR

Blockbauweise	Streifenbauweise	Plattenbauweise
Schematische Darstellung		
		
Laststufe		
0,8 t; 1,1 t	2,0 t	5,0t; 6,3 t; 9,0 t
Elementeanzahl pro Wohneinheit		
ca. 150	ca. 65	ca. 30

Während die ersten Ausführungen der Block- und Streifenbauweise an halbgeschosshohen Elementen bzw. an Brüstungs- und Schaftelementen sowie Ringankerblöcken in den Außenwänden erkennbar sind, zeichnet sich die Plattenbauweise mit Laststufen von 5,0 t; 6,3 t und auch 9,0 t (ergänzt durch Raumzellen) durch raumgroße Außen- und Innenwände, halbraumgroße Deckenplatten, großformatige Dachplatten, eine systematische Reduzierung der Sonderelemente und durch einen hohen Komplettierungs- und Vorfertigungsgrad aus.

Daher wurden durchschnittlich nur noch 30 Elemente je WE bei einer Montageleistung von 1,1 bis 1,4 WE pro Schicht benötigt. Bei der Blockbauweise waren es noch ca. 150 Elemente/WE, die bei einer Demontageleistung von 0,6 WE/Schicht verbaut wurden. Die Verbindung der Elemente erfolgte über Verschweißung und Mörtelfugen.

In die Prozesse der Vorfertigung der Bauelemente wurden zunehmend auch die Ausbauarbeiten integriert. Großformatige Betonfertigteile sind weitestgehend oberflächenfertig produziert, mit erforderlichen Öffnungen versehen, und so weit wie möglich mit Installationen und Ausstattungsteilen versehen worden, so dass auf der Baustelle die reine Montage durchzuführen war und i. d. R. nur noch geringe Nacharbeiten beim inneren Ausbau nötig wurden. Ein Höchstmaß an Rationalisierung stellte die Vorgabe dar, ganze Installationszellen (Sanitärraumzellen) bereits im Werk seriell vorzufertigen und später nur noch vor Ort in das Gebäudegrundraster „einzustellen".

Die Plattenbauweise gestattete den Bau von mehr- (bis 5 bzw. 6 Geschosse) und vielgeschossigen (8 – 12 Geschosse) Wohngebäuden und Wohnhochhäusern mit bis zu 21 Geschossen. Zu 80 – 90 % wurde mehrgeschossig und zu ca. 5 – 15 % vielgeschossig gebaut.[89]

[89] Platte plus. 2003. S. 12.

Die Tab. 7 und 8 geben einen Überblick, wie sich die industriell errichteten Wohnungen nach Typenserien, Baujahr und Bundesland verteilen (Stand 1990). Eine Konzentration solcher Wohnbauserien führte zu so genannten Großwohnsiedlungen (> 2.500 WE), wie z.B. Berlin – Marzahn.

Die Deckenspannweiten betragen bei der Plattenbauweise üblicherweise 2,40 m, 3,60 m sowie 6,00 m. Es gibt aber auch Typenserien mit Spannweiten von 4,20 m bzw. 4,80 m sowie Sonderbauteile. Die Dicke der Decken der Normalgeschosse ist generell 14 cm.

Der Fußbodenaufbau variiert in Abhängigkeit der Art der Bauweise und dem Ort des Einbaues, z.B. Erd- oder Normalgeschoss, Küche oder Wohnräume. Der Fußbodenaufbau kann eine Dicke von 30 mm bis 75 mm aufweisen. Allerdings ist dies nur relevant für den Rückbau und die Entsorgung. Ebenso unterschiedlich ist der Schichtenaufbau der Außenwände. Die Dicke und Ausführung hängt auch hier von der jeweiligen Typenserie und von der Verfügbarkeit der Dämmmaterialien ab. Die Dicke der Außenwände liegt zwischen 220 mm und 350 mm.

Tab. 8: Anwendungszeitraum und Häufigkeit der wichtigsten Typenserien im Fertigteilbau (Block-, Streifen- und Plattenbauweise von 1958 – 1990)[90]

Typenserie	Baujahr																	WE
	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	%
0,8 t Brandenburg																		27,3
0,8 t Q3A																		1,3
1,1 t Brandenburg																		2,2
2,0 t Magdeburg																		2
3,5 t																		4
5,0 t P1																		0,6
5,0 t P2																		16,7
5,0 t P Halle																		6,8
5,0 t QP																		2
6,3 t WBS 70																		29,7
Sonstige																		7,4

Tab. 9: Übersicht über die in den verschiedenen Typenserien errichteten Wohnungen[91]

Bauweise		Berlin	Branden-burg	Meckl.-Vorp.	Sachsen	Sachsen-Anhalt	Thüringen	gesamt
Block-bauart 0,8 t	1985-70	37.800	86.200	71.000	122.300	61.300	60.700	493.300
	1971-75	0	24.000	13.000	35.300	16.500	15.900	104.700
	1976-80	0	8.200	4.900	20.100	7.600	7.400	48.200
	1981-85	0	400	1.900	15.000	6.300	2.700	26.300
	1986-90	0	0	500	7.700	2.900	2.000	13.100
Block-bauart 1,1 t	1976-80	0	1.000	4.400	1.300	1.000	400	8.100
	1981-85	300	5.400	5.700	3.000	1.900	500	16.800
	1986-90	300	4.600	6.600	4.500	5.300	900	22.200
gesamt Block		**38.400**	**129.800**	**108.000**	**209.200**	**102.800**	**90.500**	**678.700**

[90] IEMB: Wohnbauten in Fertigteilbauweise (Baujahre 1958 – 1990), Einleitung, Stuttgart, 1996, S. 3.
[91] Oswald, R.: Wohnbauten in Fertigteilbauweise in den neuen Bundesländern – Ausmaß und Schwerpunkt der Bauschäden, Bonn, 1993, S. 12.

Streifen-bauart 2,0 t	1958-70	3.300	4.000	0	9.100	0	7.000	23.400
	1971-75	0	1.800	0	3.000	0	2.700	7.500
	1976-80	0	1.300	0	2.900	0	1.500	5.700
	1981-85	0	0	0	2.000	1.000	1.000	4.000
	1986-90	0	0	0	900	500	1.000	2.400
gesamt Streifen		**3.300**	**7.100**	**0**	**17.900**	**1.500**	**13.200**	**43.000**
Platte 3,5 t	1958-70	0	5.800	0	6.500	0	2.500	14.800
	1971-75	0	3.900	0	5.500	0	1.500	10.900
	1976-80	0	8.000	0	11.600	0	1.000	20.600
	1981-85	0	9.500	0	11.300	0	1.000	21.800
	1986-90	0	8.400	0	9.500	0	0	17.900
Platte P1	1958-70	3.000	5.000	0	0	0	4.500	12.500
Platte P2 5,0 t	1958-70	7.500	8.700	7.500	10.600	20.300	10.200	64.800
	1971-75	8.900	18.800	6.000	20.500	27.200	22.800	104.200
	1976-80	0	29.200	6.000	16.400	30.500	33.300	115.400
	1981-85	0	20.900	2.200	15.100	5.900	15.400	59.500
	1986-90	0	4.100	0	3.900	4.500	7.200	19.700
Platte P-Halle	1985-70	0	1.500	7.900	0	6.700	0	16.100
	1971-75	0	11.800	28.400	0	11.300	0	51.500
	1976-80	0	17.300	29.600	0	7.500	0	54.400
	1981-85	0	8.000	0	0	6.600	0	14.600
	1985-90	0	6.000	0	0	5.500	0	11.500
Platte QP	1958-70	10.300	0	0	0	0	0	10.300
	1971-75	8.700	1.500	0	1.000	0	0	11.200
	1976-80	11.000	2.000	0	2.000	0	0	15.000
	1981-85	5.000	600	0	0	500	0	6.100
Platte WBS 70 6,3 t	1971-75	4.000	0	3.500	5.500	0	2.000	15.000
	1976-80	31.000	0	10.500	50.000	26.900	12.500	130.900
	1981-85	49.000	17.800	38.600	66.000	52.400	34.400	258.200
	1986-90	56.000	26.400	32.000	60.300	36.900	29.200	240.800
Platte sonstige	1958-70	1.400	200	700	1.100	1.800	1.200	6.400
	1971-75	5.600	2.600	2.000	11.200	6.500	7.500	35.400
	1976-80	1.800	3.900	6.700	13.900	4.900	8.300	39.500
	1981-85	3.900	6.900	3.900	16.800	4.000	7.900	43.400
	1986-90	10.400	2.600	2.500	12.000	2.400	7.200	37.100
gesamt Platte		**217.500**	**231.400**	**188.000**	**350.700**	**262.300**	**209.600**	**1.459.500**
Fertigteilbau gesamt		**259.200**	**368.300**	**296.000**	**577.800**	**366.600**	**313.300**	**2.181.200**

Für Wieder- und Weiterverwendungen als mögliche Formen des Produktrecyclings ist das Wissen um das verbaute Elementesortiment in den errichteten Bauten essentiell. Daher wird in den folgenden Ausführungen weitergehend zu den eigenen Publikationen[92,93,94] auf verschiedene, ausgewählte Typenserien, auf die baustofflichen und bautechnischen Merkmale, eingegangen.

Als Quellen dienen einerseits die eigenen vor Ort gemachten Bauaufnahmen und Untersuchungen sowie die im Rahmen der Forschungsarbeit erschienenen Publikationen der Fachgruppe Bauliches Recycling. Andererseits wird bei den betrachteten Bauserien auf weiterführende Literatur aus Bibliotheksbeständen sowie auf Archivmaterial verschiedener Planungsbüros aus Dresden, Weißwasser, Cottbus, Anklam etc., insbesondere Montageunterlagen und Elementedatenblätter, zurückgegriffen. Darüber hinaus wurden die bisher veröffentlichten Schriften und Detailausführungen des IEMB zur Erläuterung ergänzend herangezogen.

Wichtige Kenndaten werden in Tabellenform zusammengestellt und durch Grafiken ergänzt. Hierzu wurden von der Fachgruppe Bauliches Recycling zeichnerische Darstellungen, ausgewählte Perspektiven sowie Systemgrundrisse, erstellt, welche die textlichen Erläuterungen untermauern und so die unterschiedlichen Bauserien näher voneinander unterscheiden lassen.

Bei der Betrachtung der einzelnen Bauserien sind, sofern Kenndaten verfügbar waren, die ursprünglichen, zu DDR-Zeiten geltenden Betongüten (Betonklassen) nach TGL erfasst worden. Einen Vergleich der projektierten und der jetzt vorhandenen - durch die FG Bauliches Recycling ermittelten – Betondruckfestigkeiten sowie weiterer Qualitätsparameter der Betonbauteile zu den heutigen Anforderungen nach DIN 1045 u.a. wird im Abschn. 6 dieses Forschungsberichtes vorgenommen.

Die nachstehenden Ausführungen zu den ausgewählten Typenserien erheben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Die Erläuterungen sollten daher als Grundlage eigener, weiterer objektbezogener Datenrecherche dienen.

Auf die Darstellung der verschiedenen Block- und Streifenbauweisen wird verzichtet, da durch die Kleinteiligkeit und großen Vielfältigkeit der hier verbauten Elemente eine Wiederverwendung in den für den Export erforderlichen Mengen nicht realisierbar erscheint[95]. In den folgenden Abschnitten soll auf die hauptsächlich eingesetzten Plattenbauserien PN 36-NO (Ausschließlich im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern, P2 und WBS 70 (s. Tab. 9) eingegangen werden.

[92] Mettke, A. (Hrsg.): Elementekatalog, Übersicht: Elementesortiment des Typs P2, Cottbus, 2003.
[93] Mettke, A. (Hrsg.): Elementekatalog, Übersicht: Elementesortiment des Typs WBS 70 am Beispiel Gebäudetyp WBS 70/11, Cottbus, 2007.
[94] Mettke, A. (Hrsg.): Rahmentechnologie, Rückbau-/Demontagevorhaben Plattenbauten, Cottbus, 2004.
[95] weitere Daten dazu in: Mettke, Angelika et.al.: Rückbau und Nachnutzung im Zeichen des Stadtumbau-Ost – Ein Ergebnisbericht, Teil 1: Krangeführter Rückbau, Cottbus, 2008.

5.2 Plattenbauweise PN 36-NO, Laststufe 5,0 t

Die Typenserie PN 36-NO basiert auf der Typenreihe P-Halle (Laststufe 5,0 t) und wurde ausschließlich im Bezirk Neubrandenburg errichtet. Ein Gebäudeblock (30 WE bzw. 35 WE) setzt sich aus jeweils drei Sektionen (Segmente) zusammen. Die Segmente sind jeweils pro Geschoss als Zwei- bzw. Dreispänner aufgebaut. Beim Dreispänner wurde je eine Ein-, Zwei- und Dreiraumwohnung pro Geschoss kombiniert. Zwei Dreiraumwohnungen, eine Drei- und eine Vierraumwohnung bzw. zwei Vierraumwohnungen gruppieren sich bei einer Lösung als Zweispänner.

Die Systemachsen von 2.400 mm und 3.600 mm bauen auf dem Grundraster von 1.200 mm auf. Bei der Typenserie PN 36-NO kamen Rationalisierungsmaßnahmen zum Tragen. Ausdruck dessen ist zum einen die Anlehnung an die Typenreihe P-Halle (Laststufe 5,0 t), zum anderen der Einbau der kompletten Sanitärraumzelle (Badzelle B 1.1 ra) aus der Typenserie WBS 70 (L x B: 2.100 mm x 2.110 mm). Bei der Typenreihe P-Halle waren hingegen die Küche und das Bad als Einheit analog dem Block- und Streifenbau, getrennt durch eine Trennwand, hinter der Längswand angeordnet. Die Erschließung erfolgt analog der Block- und Streifenbauweise, in einem hinter der Längsaußenfassade platzierten Treppenhaus.

5.2.1 Charakteristik der Plattenbauweise PN 36-NO

Tab. 10: Charakteristik der Plattenbauweise PN 36-NO[96]

Plattenbauweise PN 36-NO - Querwandbauweise	
Gebäudekonstruktion	
Laststufe	5,0 t
Typenserie	**PN 36-NO (Bezirk Neubrandenburg)**
Deckenspannweiten	2,40 m, 3,60 m
Außenwände (Dicke)	Außenlängswand: Leichtbeton B 50 (29 cm), Giebelwand: Leichtbeton (26 cm) Kelleraußenwand: Schwerbeton B 160 (24 cm), konstruktiv bewehrt
Innenwände (Dicke)	Schwerbeton B 160 (15 cm), tragend
Trennwände (Dicke)	Gips (4 cm), bewehrt, Schwerbeton (7 cm),
Decke (Höhe)	Stahlbeton B 160 und B 225 (14 cm), schlaff bewehrt
Fußbodenaufbau	7,5 cm
Gebäudecharakteristik	
Gebäudelänge	48,53 m
Gebäudebreite	10,19 m
Gebäudehöhe	17,50 m
Segmentlängen	14,40 m, 16,80 m
Geschossanzahl	4 - 5

[96] zusammengestellt aus: Projektierungsunterlagen PN 36-NO Neubrandenburg, Projekt 3/19 und 3/20, September 1973 / August 1974 sowie Projektierungsunterlagen PN-Neubrandenburg, Projekt 08, VEB (B) WBK Neubrandenburg, Februar 1972.

Geschosshöhe (Rohbau/Systemmaß)	2,80 m (Normalgeschoss), 2,45 m (Kellergeschoss), 1,44 m (Dachgeschoss)
Dachform und -art	Flachdach (Kaltdach) mit Innenentwässerung („Hamad-Dach“) oder Flachdach mit Außenentwässerung, Vollbetondeckenplatten
Wohnungscharakteristik	
Wohnungsarten und -größen	1 RWE (25,80 m², 26,08 m²), 2 RWE (48,73 m², 48,99 m²), 3 RWE (58,54 m², 63,03 m², 64,59 m²), 4 RWE (67,51 m², 69,47 m², 69,91 m², 75,05 m²)
Küche	Außenküche
Bad	Innenbad (Sanitärraumzelle)
Balkon / Loggia	vorgesetzte Loggien

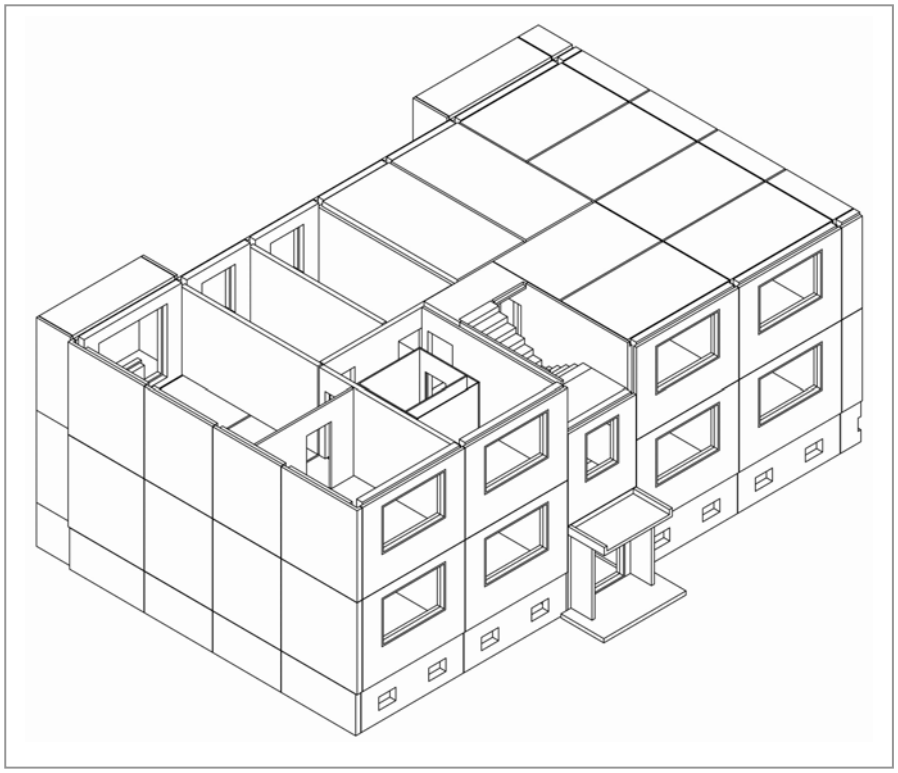


Abb. 15 : Räumliche Darstellung eines PN 36-NO-Segmentes (Rohbaumontage), Eingangsseite[97]

[97] Zeichnung erstellt durch: Asmus, St., FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, unter Verwendung der: Ausführungsunterlagen PN 36-NO, Elementedatenblätter / Montagepläne, BEP WBK Neubrandenburg, 1973-1979.

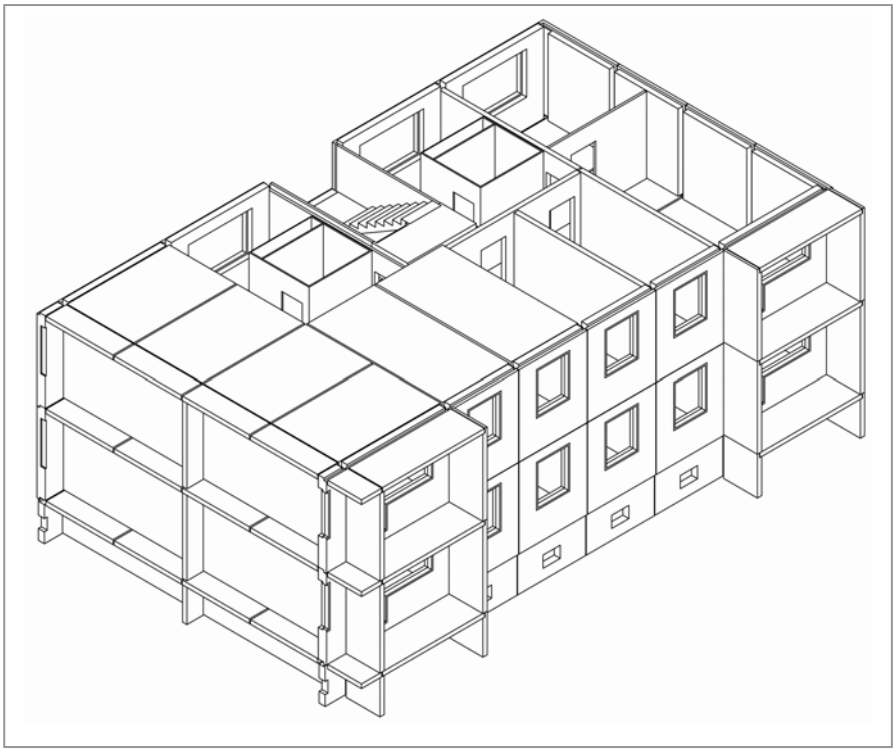


Abb. 16 : Räumliche Darstellung eines PN 36-NO-Segmentes (Rohbaumontage), Rückseite[98]

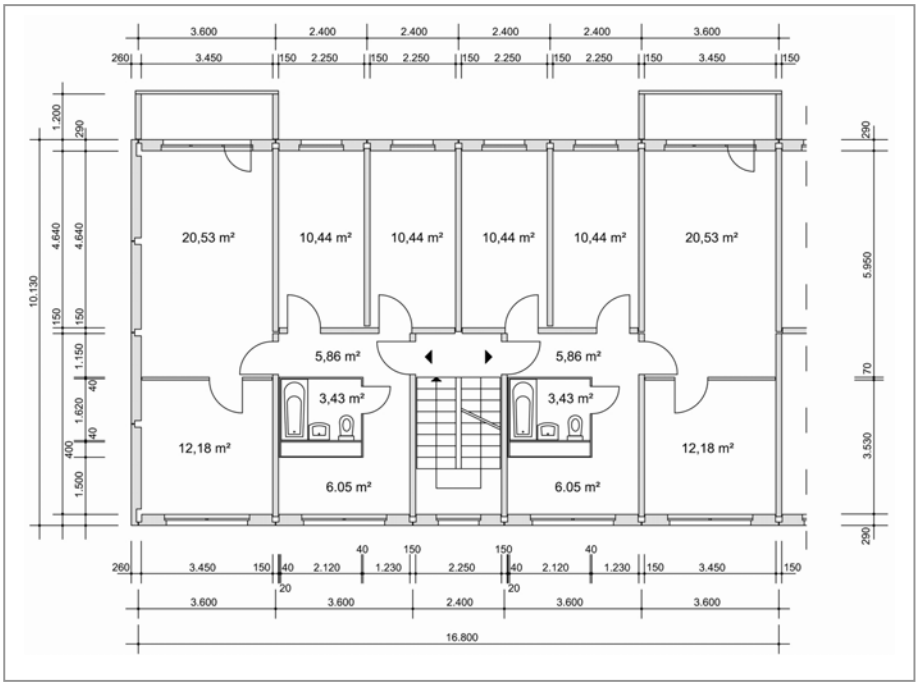


Abb. 17 : Normalgeschossgrundriss eines 16,80 m breiten PN 36-NO-Segmentes[99]

[98] Zeichnung erstellt durch: Asmus, St., FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, unter Verwendung der: Ausführungsunterlagen PN 36-NO, Elementedatenblätter / Montagepläne, BEP WBK Neubrandenburg, 1973-1979.
[99] ebenda.

Abb. 18 : Wohnblock der Typenserie PN 36-NO (Standort Eggesin)

5.2.2 Konstruktionsgrundsätze und Hauptelemente

Außenwände

In den Normalgeschossen sind die selbsttragenden Längsaußenwände 26 cm dick, die Giebelaußenwände 26 cm dick. Im Kellergeschoss sind die Längsaußenwände hingegen 24 cm, die Dicke der Bauteile in der Giebelwand 29 cm. Die aus Leichtbeton gefertigten Außenwände zeichnen sich durch eine Splittfassade aus. Die Fugenausbildung zwischen den Außenwandelementen erfolgt als geschlossenes Fugensystem, den äußeren Abschluss bildet ein elastischer Fugenkitt (Morinol).

Tab. 11: Außenwandelemente der Plattenbauart PN 36-NO[100]

Außenwandelemente – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)									
	Normalgeschoss					Kellergeschoss			
	Giebelwand		Längsaußenwand			Giebelwand		Längsaußenwand	
	Normal-element	Eck-element	Fensterelement		Balkon-element	Normal-element	Eck-element	Normalelement mit kl. Fensteröffnung	
Breite [m]	2,38[5]	2,68[7]	3,58[5]	2,38[5]	3,58[5]	2,38[5]	2,68[7]	3,58[5]	2,38[5]
Höhe [m]	2,84[5]				2,78[5]	2,34[5]			
Dicke [m]	0,26		0,26			0,29		0,24	
Lager-fuge [cm]	1,5					2,0			
Stoß-fuge [cm]	1,5					1,5			
Masse [kg] (incl. Stahl)	3.947	3.268	2.858	1.950 1.954	3.699	3.377 3.397	3.705 bis 3.383	3.111 bis 4.355	2.728 bis 2.814
Beton-güte	Leichtbeton B50, konstruktiv bewehrt					Schwerbeton B 160, konstruktiv bewehrt			

[100] Ausführungsunterlagen PN 36-NO, Elementedatenblätter / Montagepläne, BEP WBK Neubrandenburg, 1973, 1976 und 1979.

Tragende und nichttragende Innenwände[101]

In den Hauptgeschossen wird bei den tragenden Innenwänden zwischen raumhohen Elementen (Höhe: 2,63[5] m) und Innenwänden (Höhe: 2,78[5] m), welche das Treppenhaus umschließen, unterschieden.

Tab. 12: Innenwandelemente im Normalgeschoss der Plattenbauart PN 36-NO

Tragende Innenwände – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)								
	Normalgeschoss							
	Querwände				Längswände			
	Vollelement		Elemente 1 seitliche Türöffnung		Elemente 1 seitliche Türöffnung			Element 2 Türöffnungen
Breite [m]	4,66	4,81	4,81		2,22	3,42	3,52	4,62
Höhe [m]	2,63[5]		2,63[5]	2,78[5]	2,63[5]			
Dicke [m]	0,15				0,15			
Masse [kg] (incl. Stahl)	4.284	4.150 bis 4.284	3.198 bis 3.701		1.411	2.376	2.549	3.139

Tab. 13: Innenwandelemente im Kellergeschoss der Plattenbauart PN 36-NO

Tragende Innenwände – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)						
	Kellergeschoss					
	Quer- und Längswände (teilweise mit Türöffnung bzw. Installationsöffnungen)					
Breite [m]	2,22	3,42	4,62	4,66	4,81	4,81
Höhe [m]	2,19[5]					2,34[5]
Dicke [m]	0,15					
Masse [kg]	1.156	1.606 bis 2.065	2.336 bis 3.479	2.758 bis 3.235	2.883 bis 3.378	2.943

Tab. 14: Trennwandelemente im Normalgeschoss der Plattenbauart PN 36-NO

Nichttragende Trennwände – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)			
	Normalgeschoss		
	Normalelement	Elemente mit 1 Türöffnung	
Breite [m]	2,48[5]	1,59	3,42
Höhe [m]	2,62[5]		
Dicke [m]	0,07		
Masse [kg] (incl. Stahl)	862	660	1.030 … 1.430

[101] Ausführungsunterlagen PN 36-NO, Elementedatenblätter / Montagepläne, BEP WBK Neubrandenburg, 1973, 1976 und 1979.

Tab. 15: Trennwandelemente im Kellergeschoss der Plattenbauart PN 36-NO

Nichttragende Trennwände – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)					
	Kellergeschoss				
	Quer- und Längswände (teilweise mit Türöffnung bzw. Installationsöffnungen)				
Breite [m]	1,92	2,19	2,22	3,48	4,62
Höhe [m]	2,18[5]	2,09	2,18[5]		
Dicke [m]	0,07				
Masse [kg] (incl. Stahl)	651 … 668	690	546	1.168	1.529 … 1.624

Geschossdecken

Die Dicke der Geschossdecke über Keller- und Normalgeschossen beträgt 14 cm. Eine Ausnahme stellt die abschließende Decke über dem letzten Geschoss dar, dort ist die Bauteilhöhe nur 10 cm.

Besonderheit ist, dass, sofern Räume mit einer Breite von 2,40 m nebeneinander angeordnet wurden, die Deckenelemente darüber in Längsrichtung verbaut wurden, die sonstigen Deckenelemente wurden in Querrichtung verbaut.

Tab. 16: Geschossdeckenelemente der Plattenbauart PN 36-NO[102]

Deckenelemente – Bauteilabmessungen / -kennwerte					
	Deckenelemente (teilweise mit Bauteilöffnungen für Installationen)				
	Deckenplatten Keller- und Normalgeschoss		Deckenplatten über dem letzten Obergeschoss		
Länge [m]	3,57	4,79	2,37	3,57	4,79
Breite [m]	2,39	2,37	2,39		2,37
Dicke [m]	0,14		0,10		
Masse [kg] (incl. Stahl)	2.614 … 2.961	3.560 … 3.631	1.865 … 1.967	1.275 … 2.598	2.457

Treppenkonstruktion

Tab. 17: Treppenbauteile der Plattenbauart PN 36-NO[103]

Treppenbauteile – Bauteilabmessungen / -kennwerte					
	Treppenpodeste		Treppenelemente		
Länge [m]	2,37	2,24	2,10	2,40	2,38
Breite [m]	1,38	1,20	1,08		0,89
Höhe [m]	0,26[5]		1,40		0,29[3]
Masse [kg] (incl. Stahl)	844	689	808	914	729

[102] Ausführungsunterlagen PN 36-NO, Elementedatenblätter / Montagepläne, BEP WBK Neubrandenburg, 1973, 1976 und 1979.
[103] ebenda.

Dachkonstruktion[104]

Tab. 18: Dachplattenelemente der Plattenbauart PN 36-NO

Dachplatten (Vollbeton) – Bauteilabmessungen / -kennwerte				
Länge [m]	3,57			4,65
Breite [m]	2,64	2,00	1,98	2,37
Dicke [m]	0,10			
Masse [kg] (incl. Stahl)	2.144 … 2.151	1.603	1.590	2.386 … 2.489

Tab. 19: Drempelelemente der Plattenbauart PN 36-NO

Drempelelemente – Bauteilabmessungen / -kennwerte						
	Flachdach mit Innenentwässerung					
	Außenwanddrempelelemente				Trogrinnenelemente	
Breite [m]	2,38[5]	3,58[5]	5,08[5]	2,38[5]	7,17	2,37
Höhe [m]	1,44[5]			0,76[5]	0,50	
Dicke [m]	0,29		0,34	0,24	0,37[5]	
Masse [kg] (incl. Stahl)	1.454	2.159	3.678	816	2.008	655

Balkon und Loggien

Die Loggien werden oberflächenglatt geliefert, die Loggiaseitenwände wurden i. d. R. in der Vorfertigung mit Splitt beschichtet. Die Loggiafußböden bestehen aus 20 mm Betonestrich.

Tab. 20: Loggiaelemente der Plattenbauart PN 36-NO[105]

Loggiaelemente – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)					
	Loggiaseitenwand			Loggiaplatte	
Höhe [m]	2,63[5] (2,78[5])		Länge [m]	2,34[5]	3,57
Breite [m]	1,18[5]		Breite [m]	1,23[5]	1,18[5]
Dicke [m]	0,15		Dicke [m]	0,15	0,14
Masse [kg] (incl. Stahl)	1.093		Masse [kg] (incl. Stahl)	935	1.287

Verbindungen

Die Verbindung der raumhohen Wandelemente zu aussteifenden Scheiben erfolgt durch die im Sturzbereich bereits angeordnete Sturzbewehrung. Durch diese ist es möglich, einen Ringanker zu realisieren. Er wird in jedem Geschoss um das ganze Gebäude geführt und setzt sich aus der Ringankerbewehrung der Außen- wie auch Innenwände zusammen, wird durch Schweißen unter Verwendung von Zulagestählen (Ø 10 bzw. Ø 14) miteinander flächig verbunden und mittels Fugenvergussbeton (B 160) geschlossen. Die Verschweißung von Giebelwandelementen und Deckenplatten erfolgte über

[104] Ausführungsunterlagen PN 36-NO, Elementedatenblätter / Montagepläne, BEP WBK Neubrandenburg, 1973, 1976 und 1979.
[105] ebenda.

zwei Zulagestähle mit einem Durchmesser (Ø 10 mm) durch Kehlnähte. Die Geschossdeckenelemente sind untereinander mit Hilfe von Zulageeisen miteinander verschweißt, die Deckenfugen sind mit Beton vergossen.

5.3 Typenserie P2, Laststufe 5,0 t

5.3.1 Charakteristik der Plattenbauweise P2

1959 beschloss der Ministerrat der DDR, insgesamt 50 Plattenwerke zu errichten und ab 1961 Spannbetondeckenelemente im Wohnungsbau einzusetzen. Im Plattensystem P2 mit der Laststufe 50 kN fand diese Forderung mit der Konzipierung 6,00 m langer Spannbetondecken und Außenwandelemente umfassende Anwendung. Das erste Vorfertigungswerk wurde dafür 1965 in Halle-Neustadt errichtet.[106]

Der Plattenbautyp P2 wurde als Typenserie hauptsächlich von 1966 bis 1990 gebaut und hat mit ca. 363.600 Wohnungseinheiten einen Anteil von 17% am Wohnungsbestand von Mehrfamilienhäusern in Fertigteilbauart.[107]

Die Plattenbauweise (Großtafelbauweise) P2 baut auf der Systemlänge von 6.000 mm (3.600mm + 2.400 mm) auf, an der sich die Außenlängswandelemente und die weitgespannten Spannbetondeckenelemente orientieren.

Die errichteten Wohngebäude sind überwiegend fünf- und sechsgeschossig bzw. acht-, zehn- und elfgeschossig ausgeführt worden. Abhängig von der stadträumlichen Lage wurden in einigen Fällen auch Wohngebäude mit bis zu 14 Geschossen mit Funktionsunterlagerungen (Gewerbe-, Ladenzone etc.) errichtet. Bei den Gebäuden mit mehr als 6 Geschossen findet sich in jeder 3. Etage je ein Verteilergang als Verbindung zwischen den innenliegenden Treppenhäusern und dem Aufzug. Hier befinden sich zudem die Mieterabstellkammern. Darüber hinaus wurde dort zwischen 2 Segmenten eine 3.600 mm-Achse eingeschoben, welche einen Aufzugs- und einen Müllabwurfschacht aufnimmt und auch zusätzliche Räume den Wohnungen zuschlägt. Als Zugang zu den Treppenhäusern ist das sogenannte Verteilergangprinzip eingeführt worden. Es sind zwei bis vier Treppenhäuser je einem Hauseingang zugeordnet.

Die Gebäude lassen sich aus beliebig vielen, aus statischen Gesichtspunkten mindestens jedoch drei Segmenten aneinander reihen, so dass Wohnbauten in unterschiedlichsten Gebäudelängen gebaut werden konnten. Üblicherweise sind die P2-Gebäude je Geschoss als Zweispänner aufgebaut. Der Grundriss der Segmente wurde in zwei Grundsektionen, der Sektion I im Normalgeschoss mit zwei Dreiraumwohnungen und in der Sektion II im Normalgeschoss mit einer Zweiraum- und einer Vierraumwohnung, vorgesehen. Bei beiden Sektionen liegen bedingt durch die Eingangssituation im Erdgeschoss immer eine Zweiraum- und eine Dreiraumwohnung. In anderen Ausführungen, z. B. IW 70/P2, 11-geschossig Berlin, sind auch Einraumwohnungen realisiert worden.

Das Hauptmerkmal des Grundrisses der Wohnungen ist die Anordnung um das innenliegende Treppenhaus sowie die innenliegenden und damit fensterlosen Küchen und Bäder (vorgefertigte Sanitär-

[106] Oswald, R.: Wohnbauten in Fertigteilbauweise in den neuen Bundesländern, Stuttgart, 1995, S. 7.
[107] IEMB; Leitfaden für die Instandsetzung und Modernisierung von Wohngebäuden in der Plattenbauweise, Typenserie P2 5,0 t, Berlin, 1992, S. 3.

raumzelle). Grund für diese Anordnung war die Möglichkeit der vollen Ausnutzung aller Gebäudeaußenflächen für Wohn-, Schlaf- und Kinderzimmer. Dadurch sind gute Beleuchtungs- und Belüftungsmöglichkeiten für diese Räume gegeben. Alle Wohn- und Nebenräume sind vom innenliegenden Flur aus zugänglich. Der Wohnraum ist längs zur 6,00 m Außenwand angeordnet. Allen Wohnräumen ist eine 3,60 m oder 6,00 m lange und 1,20 m breite Loggia vorgelagert.
Die Installationswand zwischen Küche und Bad entsprach den Forderungen nach weitestgehender Rationalisierung der Ausbauarbeiten, da sie die lüftungs-, sanitär- und elektrotechnischen Anlagen von beiden Räumen vereinigt.

Tab. 21: Charakteristik der Plattenbauweise P2[108]

Plattenbauweise P2	
Gebäudekonstruktion	
Laststufe	5,0 t
Bauzeit	1966 - 1990
Typenserie	**P2**
Konstruktionsprinzip	Querwandbauweise
Deckenspannweiten	6,00 m, (4,20 m, 3,60 m, 2,40 m)
Außenwände (Dicke)	1-, 2- oder 3-schichtiger Wandaufbau (entspr. regionaler Ausführung) 23 cm bis 30 cm, oberflächenfertig
Innenwände (Dicke)	Normalbeton B 160 / B 225 (15 cm), oberflächenfertig
Trennwände (Dicke)	Normalbeton: 4 cm (B 160), 6 cm (B 225 / B 300) und 7 cm (B 160 / B 225) Gips: 7 cm
Treppen	dreiläufige Treppe
Decke (Höhe)	Vollbetondecke oberflächenfertig, B 225 / B 300 (14 cm), 2,40 m, 3,60 m, 4,20 m, 3,60 m (schlaff bewehrt), 6,00 m (Spannbeton)
Fußbodenaufbau	7,5 cm
Gebäudecharakteristik	
Gebäudelänge	mind. 36,00 m (3 Segmente aneinandergereiht)
Gebäudebreite	$11{,}55^{5}$ ($12{,}75^{5}$ mit Loggia) (Systemmaße: 10,09 m bis 12,00 m [10,09 m, 10,19 m, 10,80 m, 11,51 m, 12,00 m)
Gebäudehöhe	16,20 m
Fundament	Fundamentplatte bzw. Plattenstreifengründung aus Ortbeton
Segmentlänge (Systemmaß)	12,00 m (6,00 m + 6,00 m) 15,60 m (6,00 m + 6,00 m + 3,60 m)
Geschossanzahl	5, 6, 8, 10 und 11
Geschosshöhe (Rohbau/Systemmaß)	2,80 m (Normalgeschoss), 2,45 m (Kellergeschoss), 1,46 m (Dachgeschoss)
Erschließung	innenliegendes Treppenhaus und ggf. Aufzug (voneinander getrennt)
Dachform und -art	Flachdach (Neigung: 10 %, Kaltdach) mit Innenentwässerung („Hamad-Dach“)

[108] IEMB: Sanierungsgrundlagen Plattenbau, Wohnbauten in Fertigteilbauweise (Baujahre 1958-1990), Stuttgart, 1996, S. 37.

Wohnungscharakteristik	
Wohnungsarten und -größen	1 RWE (33,89 m²), 2 RWE (46,28 m², 48,28 m²), 3 RWE (54,91 m², 61,71 m²), 4 RWE (63,04 m², 75,91 m²)
Küche	Innenküche
Bad	innenliegendes Bad (Sanitärraumzelle)
Balkon / Loggia	vorgesetzte Loggien

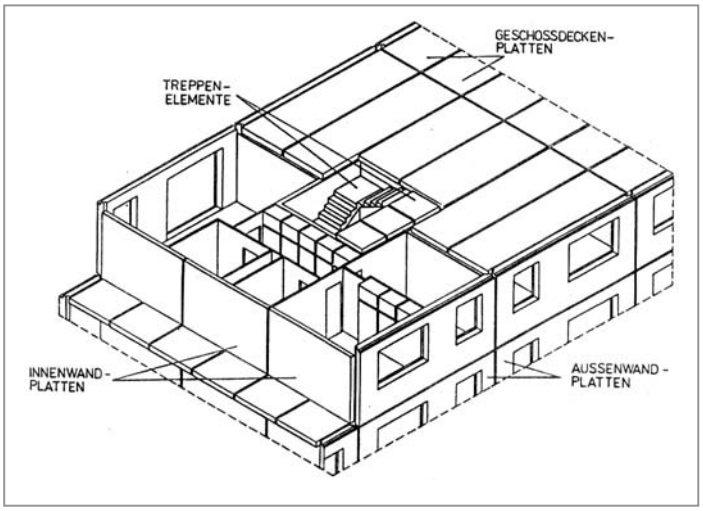


Abb. 19 : Räumliche Darstellung eines P2-Segments[109]

Abb. 20 : Eingangsseite eines P2-Wohnblocks (Standort Cottbus)

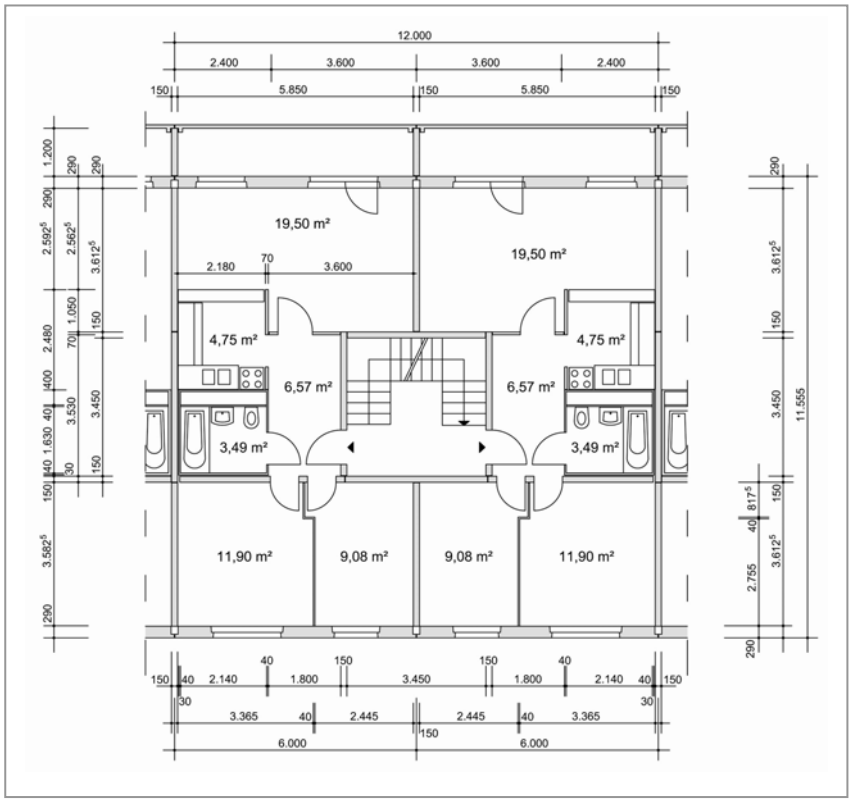


Abb. 21 : Grundriss Normalgeschoss – Segment der Plattenbauserie P2 (5,0 t)[110]

[109] IEMB: Leitfaden für die Instandsetzung und Modernisierung von Wohngebäuden in der Plattenbauweise, Typenserie P2 5,0t, Berlin, 1992, S. 11.

5.3.2 Konstruktionsgrundsätze und Hauptelemente

Von der Fachgruppe Bauliches Recycling der BTU Cottbus wurde ein Elementekatalog mit einer Übersicht der verbauten Elemente[111] sowie eine Rahmentechnologie für Rückbau- und Demontagevorhaben[112] am Beispiel der Typenserie P2 erarbeitet. Die darin verfassten Angaben und Untersuchungsergebnisse sind in die nachstehenden Ausführungen eingeflossen und durch zusätzliche Informationen ergänzt worden.

Die aus Leicht-, Normal- und Schwerbeton bestehenden großformatigen Wand-, Decken- und Treppenfertigteile bilden nach ihrer Montage (Vollmontage) ein räumliches Tragwerk ohne Skelett. Die zusammengesetzten und miteinander verbundenen Fertigteile wirken als Wand- bzw. Deckenscheiben und leiten die horizontalen und vertikalen Lasten über die Fundamente in den Baugrund ab. Die Verbindung der Elemente wurde über Lager- und Stoßfugen aus Betonmörtel und über Schweißverbindungen hergestellt.

Die raumgroßen Fertigteile wurden mit fertiggestellten Oberflächen, eingebauten Türen und Fenstern sowie Installationen in Betonwerken vorgefertigt, mit Spezialfahrzeugen zur Baustelle gebracht und mit Hebezeugen montiert. Es sind Fertigteile in der Laststufe z. T. über 5,0 t verwendet worden.

Auch die Typenserie P2 hält an dem Konstruktionssystem der Querwandbauweise fest, so dass die Deckenelemente ihre Hauptspannrichtung parallel den Außenlängswänden haben und dementsprechend auf den Querwänden und den Giebelelementen aufliegen. So war es möglich, die Fassade ungestört von konstruktiven Einflüssen leicht und variabel ausbilden zu können. Die geschosshohen Außenlängswandplatten haben also keine statische Funktion zu erfüllen; sie tragen nur sich selbst (Standfassade).

Die Geschosshöhen betragen für Wohngeschosse 2,80 m und für das Kellergeschoss 2,45 m. Das Dachgeschoss hat bei den verschiedenen Varianten der Typenserie P2 unterschiedliche Höhen, z. B. IW 66/ P2/5 Standard (1,46 m); P2/5 Halle (0,86 m) bzw. P2/5 Cottbus Ratio 1977 (1,18 m).

Außenwände

Die Plattenbauweise (Großtafelbauweise) P2 ist für 6,00 m lange Außenwandelemente und Spannbetondeckenelemente mit gleicher Systemlänge typisch. In den Baujahren 1964 – 1990 gab es eine Vielzahl an Außenwandquerschnitten.

Neben Leichtbetonaußenwänden mit werkseitig aufgebrachtem Innen- und Außenputz, Elementen mit Außen- bzw. Innendämmung, überwiegen zahlenmäßig dreischichtige Außenwandelemente mit mittig verbauter Kerndämmung. Längsaußenwände und Giebelwände wurden aus ein-, zwei- und dreischichtigen Außenwandelementen errichtet (vgl. Elementekatalog: Elementesortiment des Typs P2)[113]. Bei einschichtigen Außenwänden bestehen die Längsaußenwände aus bewehrten Leichtbetonelementen bzw. bewehrtem Stahlbeton im Bereich der Stürze. Giebelwände hingegen bestehen aus deckentragendem und konstruktiv bewehrtem Leichtbeton.

---

[110] Zeichnung erstellt durch: Asmus, St., FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, unter Verwendung der: Ausführungsunterlagen P2 5- und 8-geschossig, Elementedatenblätter / Montagepläne, VE WBK Cottbus, KB Projektierung, 1975.
[111] Mettke, A. (Hrsg.): Elementekatalog, Übersicht: Elementesortiment des Typs P2, Cottbus, 2003.
[112] Mettke, A. (Hrsg.): Rahmentechnologie, Rückbau-/Demontagevorhaben Plattenbauten, Cottbus, 2004.
[113] Mettke, A. (Hrsg.): Elementekatalog, Übersicht: Elementesortiment des Typs P2, Cottbus, 2003, S. 3 ff.

Zweischichtige Außenwände haben verschiedene Lösungen erfahren. Zum Beispiel bestanden die Giebelelemente beim IW 66/P2-Cottbus aus statischen Gründen aus konstruktivem Leichtbeton bzw. aus Normalbeton B 160 bis B 225 (entspr. nach DIN 1045-2 C 12/15; C 16/20) mit konstruktiver Bewehrung und außenseitig angebrachter 50 mm dicker HWL-Platte. Beim Typ Berlin hingegen bestehen die Außenwände aus Normalbeton mit einer innenliegenden Wärmedämmschicht aus 50 mm dicken HWL-Platten.

Dreischichtige Außenwandelemente bestehen aus der innenseitigen Tragschicht, der außenseitigen Wetterschutzschicht und der dazwischenliegenden Wärmedämmschicht aus 50 mm dicken Schaumpolystyrol- oder HWL- Platten, künstlichen Mineralfasern (Kamilit) oder Leichtbeton mit Schaumpolystyrolzusatz. Die Verbindungsmittel zwischen der Tragschicht und der Wetterschutzschicht (Traganker und Nadeln) sind i.d.R. aus Edelstahl. Vereinzelt kam auch das System Innendämmung mit HWL-Platten zum Einsatz.[114]

Die Kelleraußenwände sind einschichtig. Je nach Geschosszahl und Ausführung beträgt ihre Dicke 150 bzw. 220 - 260 mm. Ihre äußere Oberfläche ist als Sichtbeton ausgeführt.

Tab. 22: Giebelwände im Normalgeschoss der Plattenbauweise P2

Außenwandelemente – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)					
	Normalgeschoss – Giebelwände				
	Eckelement	Eckelement mit Fenster	Eckelement mit Tür	Normalelement	Normalelement mit Fenster
Breite [m]	3,88[7]			3,75	
Höhe [m]	2,84[5]			2,84[5]	
Dicke [m]	0,29			0,29	
Masse [kg] (incl. Stahl)	5.688	4.485	4.844	5.726	4.531
Betongüte	B 160 B 225	B 225	B 160 B 225	B 160 B 225	B 225
Betonstahl	St A-I, St A-III (Tragschale) St T-IV, Edelstahl (Wetterschale)				

[114] vgl. Mettke, A.: Schadensanalyse Außenwände, Cottbus, 2006.

Tab. 23: Außenlängswände im Normalgeschoss der Plattenbauweise P2

Außenwandelemente – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)						
	Normalgeschoss – Außenlängswände					
	Element kl. Fenster / gr. Fenster kl. Fenster / Balkontür	Normal-element	Element gr. / kl. Fenster	Element Türöffnung/ Balkontür	Normal-element	Element kl. Fenster
Breite [m]	5,98[5]	3,58[5]			2,38[5]	
Höhe [m]	2,84[5]					
Dicke [m]	0,29					
Masse [kg] (incl. Stahl)	5.667 bis 6.324	4.800 bis 5.530	3.666 bis 4.106	2.766 bis 4.106	2.354	1.608 bis 2.777
Betongüte	B 160 B 225					
Betonstahl	St A-I, St A-III (Tragschale) St T-IV, Edelstahl (Wetterschale)					

Tab. 24: Kelleraußenwände der Plattenbauweise P2

Außenwandelemente – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)						
	Kellergeschoss					
	Giebelwand			Außenlängswand		
	Eckelement (tw. Tür- / Fenster- / öffnung	Normalelement		Element mit Fenster- / Installationsöffnung		Normal-element
Breite [m]	3,83[7]	1,86[7]	3,75	2,38[5]	3,58[5]	3,58[5]
Höhe [m]	2,34[5]					
Dicke [m]	0,24					
Masse [kg] (incl. Stahl)	3.657 bis 4.306	2.080	4.168 bis 4.365	2.501 bis 2.856	3.263 bis 4.304	4.367
Betongüte	B 160					

Tragende und nichttragende Innenwände

Tragende Innenwandelemente (Querwände) sind deckentragende, raumhohe Wände aus Beton B 160. Die Dicke der Wände beträgt 150 mm. In den Hauptgeschossen muss zwischen raumhohen Elementen (Höhe: 2,635 m) und Innenwänden (Höhe: 2,785 m), welche das Treppenhaus umschließen, unterschieden werden.

Nichttragende Innenwandelemente (Trennwände) bestehen aus oberflächenfertigen, raumhohen Wandelementen und sind aus Beton oder aus Gips in unterschiedlichen Dicken (40 - 70 mm) produziert worden. Diese Wände sind konstruktiv ohne Funktion.

Kellerinnenwände sind als tragende und aussteifende Innenwände gefertigt; anfangs aus Ortbeton, später aus oberflächenfertigen Elementen in Normalbeton B 160 bzw. B 225. Die Dicke der Innenwände beträgt bei mehrgeschossigen Wohngebäuden 150 mm, bei vielgeschossigen 240 mm.

Die Kellerwände sind zusätzlich z. T. mit verschieden großen Installationsöffnungen zur Rohrdurchführung bzw. für die Haustechnik versehen worden.

Tab. 25: Tragende Längsinnenwände im Normalgeschoss der Plattenbauweise P2

Tragende Innenwände – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)									
	Normalgeschoss - Längswände								
	Normal-element	Element mit 1 Tür	Normal-element	Element mit 1 Tür	Element mit 1 Tür	Normal-element	Element mit 1 Tür	Element mit 1 Tür	Element mit 2 Türen
Breite [m]	2,38[5]		3.41			3.58		4,09[5]	
Höhe [m]	2,78[5]		2,78[5]		2,63[5]	2,78[5]		2,78[5]	
Dicke [m]	0,15								
Masse [kg] (incl. Stahl)	2.208	1.537	3.007 bis 3.146	2.362	2.392	3.188 bis 3.297	2.514 bis 2.617	3.175 bis 3.263	2.769
Betongüte	B 160								
Betonstahl	St A-I								

Tab. 26: Tragende Längsquerwände im Normalgeschoss der Plattenbauweise P2

Tragende Innenwände – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)					
	Normalgeschoss - Querwände				
	Element mit 1 Tür	Normalelement	Element mit 1 Tür	Element mit 1 Tür	Normalelement
Breite [m]	2,38	3,58			2,74[5]
Höhe [m]	2,63[5]	2,63[5]		2,78[5]	2,63[5]
Dicke [m]	0,15				
Masse [kg] (incl. Stahl)	1.476	3.149 bis 3.157	2.528 bis 2.654	2.519 bis 2.538	3.304
Betongüte	B 160				
Betonstahl	St A-I				

Tab. 27: Tragende Längsinnenwände im Kellergeschoss der Plattenbauweise P2

Tragende Innenwände – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)												
	Kellergeschoss - Längswände											
	Normalelement (teilweise mit Installationsöffnung)					Element mit 1 Türöffnung / 2 Türöffnungen (teilweise mit Installationsöffnung)						
Breite [m]	3,41		4,01	4,09[5]		2,38	3,41		3,58	4,01	4,09[5]	
Höhe [m]	2,19[5]	2,34[5]	2,34[5]	2,19[5]	2,34[5]	2,34[5]	2,19[5]	2,34[5]	2,34[5]	2,34[5]	2,19[5]	2,34[5]
Dicke [m]	0,15											
Masse [kg] (incl. Stahl)	2.434	2.639	2.995	2.876	3.053	1.246	1.901	2.074 bis 2.085	1.705	1.257 bis 2.433	2.352	2.519
Beton-güte	B 160					B 160				B 160 B 225	B 160	

Tab. 28: Tragende Längsquerwände im Kellergeschoss der Plattenbauweise P2

Tragende Innenwände – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)						
	Kellergeschoss - Querwände					
	Normal-element (teilweise mit Installations-öffnung)	Element mit 1 Tür (teilweise mit Installations-öffnung)	Normal-element (teilweise mit Installations-öffnung)	Element mit 1 Türöffnung	Element mit 2 Türöffnungen	Normal-element (teilweise mit Installations-öffnung)
Breite [m]	3,58					3,74[5]
Höhe [m]	2,34[5]		2,19[5]			2,19[5]
Dicke [m]	0,15					
Masse [kg] (incl. Stahl)	2.515 bis 2.593	2.058	2.393 bis 2.489	1.917 bis 2.042	1.443	2.578 bis 2.664
Betongüte	B 160					

Tab. 29: Trennwände im Normalgeschoss der Plattenbauweise P2

Nichtragende Trennwände – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)				
	Normalgeschoss			
	Trennwandelement		Trennwandelement mit 1 Türöffnung	
	Normalelement	abgewinkeltes Element		
Breite [m]	2,78	0,84/0,28[5]	1,77	2,49
Höhe [m]	2,62[5]		2,62[5]	
Dicke [m]	0,04		0,07	
Masse [kg] (incl. Stahl)	661	260	439	762 … 816
Betongüte	B 160		B 160	

Geschossdecken

Die Elemente der Geschossdecke haben entsprechend dem Abstand der tragenden Innenwände Längen von 2,40 m bis 6,00 m und sind 1,80 m breit sowie 140 mm dick. Geschossdeckenelemente der Systemlänge 6,00 m wurden aus Spannbeton gefertigt, Elemente in den Längen 2,40 m, 3,60 m und 4,20 m sind schlaff bewehrt.

Bis Mitte der 70er Jahre wurden in Wohn- und Schlafräumen sowie in den Verteilergängen „schwimmende Estriche“[115] (Nenndicke: 75 mm) aufgebracht. Infolge der weiteren Rationalisierung sind überwiegend Verbundestriche[116] (Zementestrich oder Anhydritestrich, Nenndicke; 25 bis 35 mm) eingebaut worden. Als Nutzschicht (notwendige Trittschalldämmung) kamen PVC- Beläge mit textilen Trägerschichten bzw. PVC- Spannteppiche zur Anwendung.[117]

Im Erdgeschoss wurde zusätzlich eine Wärmedämmschicht (Kamilitplatten) zum Kellergeschoss hin auf die Geschossdecke verlegt.

Tab. 30: Geschossdeckenelemente der Plattenbauweise P2

Deckenelemente – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)							
	Geschossdecken (Teilweise mit Aussparungen / Öffnungen)						
Länge [m]	2,37		3,57		4,17	5,97	
Breite [m]	1.02	1,78[5]	0,15	1,78[5]	1,78[5]	1,18[5]	1,78[5]
Höhe [m]	0,14						
Masse [kg] (incl. Stahl)	801	1.331	139	1.841 bis 2.014	2.305 bis 2.377	2.311	3.536
Betongüte	B 225					B 300	
Betonstahl	St A-I, St A-III					St 140/160	

Treppenkonstruktion

Die Erschließung erfolgt durch ein innenliegendes Treppenhaus. In diesem ermöglicht jeweils eine dreiläufige Treppe, bestehend aus einem Hauptpodest, einem doppelt geknicktem Treppenlauf, aus einem eingehangenen Treppenelement sowie Podestelement, den Gang zu den Obergeschossen. Die Treppenläufe bestehen aus Stahlbetonfertigelementen mit Wangenträgern.

Mit Ausnahme der Auflager ist die Treppe durch eine 40 mm bzw. 20 mm breite offene Fuge von den Treppenkern-Innenwandelementen abgesetzt. Bei den eingehängten Treppenläufen wurde die Fuge mit einem Dichtungsstrick und mit Dichtungskitt verschlossen. Das Steigungsverhältnis der Stufen beträgt 270/175 mm. Die Podestelemente sind mit Werksteinplatten i. d. R. Terrazzo belegt, die Trittstufen ebenso. Teilweise sind die Elemente aber auch mit PVC-Fußbodenbelag versehen worden.

Die Erschließung des Treppenhauses bei 11-geschossigen Wohngebäuden erfolgt durch einen großzügig bemessenen Eingangsbereich mit anschließendem Verteilergang.

[115] Schwimmende Estriche: auf einer beweglichen Unterlage (Folie, Ölpapier, Pappe) als lastverteilende Platten auf einer Dämmschicht aufgebracht; keine direkte Verbindung mit angrenzenden Bauteilen.
[116] Verbundestriche: direkt mit dem tragenden Untergrund (Rohdecke) verbunden.
[117] IEMB: Leitfaden für die Instandsetzung und Modernisierung von Wohngebäuden in der Plattenbauweise, Typenserie P2 5,0 t, Berlin 1992, S. 33.

Dachkonstruktion

Realisiert wurden zweischalige Dächer als Kaltdach mit bekriechbarem Dachraum. Die Dachform ist ein nach innen geneigtes Flachdach mit 10%iger Dachneigung ohne Dachüberstand. Ein Rinnenträger bildet das mittlere Auflager der Dachplatten. Durch Verschweißen der Anschlussbewehrungen wurden alle Elemente miteinander verbunden.

Den oberen Abschluss des Treppenhauses bildet ein Glasprismenelement mit Stahlbetonrahmen; die seitliche Begrenzung stellen Rahmenelemente mit Innendämmung (HWL-Platte 5 cm) her. Auf diesen Rahmenelementen liegen in diesem Bereich die nach innen geneigten Dachplatten auf.

Zur Anwendung kamen vorwiegend Stahlbeton-Dachkassettenplatten.

Tab. 31: Drempelelemente der Plattenbauweise P2

Drempelelemente – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)							
	Drempelaußenwandelemente				Drempelinnenwandelemente		
	Außenlängswände			Giebel-elemente	Auflager-block	Rahmenelemente (Treppenhaus)	
Breite [m]	2,38[5]	3,38[5]	5,98[5]	5,77	2.01	3,41	3,75
Höhe [m]	1,30			1,47[5]	0,50	0,90[5]	0,93
Dicke [m]	0,19			0,21	0,15	0,21	
Masse [kg] (incl. Stahl)	2.544	1.931 bis 1.983	2.490 bis 3.302	4.044	328	834	1.328
Betongüte	B 160				B 160		

Tab. 32: Dachelemente der Plattenbauweise P2

Dachelemente – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)						
	Dach(kassetten)elemente (teilweise mit Bauteilöffnungen)					
	Dachkassetten		Rinnenträger			
Länge [m]	4,95	5,68	2,37	3,57	3,60	4,17
Breite [m]	1,18[5]		2,01			
Höhe [m]	0,19[5]		0,30			
Masse [kg] (incl. Stahl)	709 bis 738	827 bis 846	1.855	2.568 bis 2.794	1.331	3.228
Betongüte	B 300		B 225			

Balkone und Loggien

In der Typenserie P2 wurden Loggien mit einer Systemlänge von 3,60 m und 6,00 m ausgeführt. Die 3,60 m (3,42 m) langen Betonelemente sind schlaff bewehrt, hingegen bestehen die 6,00 m (5,82 m) langen Loggiaplatten aus Spannbeton. Die Brüstungen sind entweder als Leichtkonstruktionen (Stahlrahmen mit einer Verkleidung aus Asbestzementtafeln oder PVC-Platten), aus Stahlbeton mit Außenbeplankung (Fliesen, Spaltklinker, u. a.) oder in Sichtbeton gefertigt. Sie sind durch Schraubverbindung bzw. durch Verschweißung mit der Konstruktion verbunden.

Tab. 33: Loggiaelemente der Plattenbauweise P2

Loggiaelemente – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)							
	Loggiaseitenwand			Brüstungselement		Loggiaplatte	
Höhe [m]	2,34[5]	2,78[5]		1,06[5]		3,42	5,82
Breite [m]	1,18[5]			3,58[5]	5,98[5]	1,18[5]	
Dicke [m]	0,22[5]	0,22[5]	0,30	0,19[5]		0,21	
Masse [kg] (incl. Stahl)	975 bis 985	1.228 bis 1.237	938 bis 1.169	964	1.583	1.093	1.911 bis 1.920
Betongüte	B 225	B 160 B 225	B 225	B 225		B 300	

Verbindungen und Fugensystem

In Montagebauweise errichtete Bauwerke sind so zusammengesetzt worden, dass das gesamte Bauwerk als geschlossene Einheit stand- und funktionssicher ausgeführt wurde. Die Bauelemente berühren und verbinden sich in horizontalen (Lager-) und vertikalen (Stoß-) Fugen. Ihre Konstruktion muss daher so entwickelt werden, dass sie wartungsfrei dieselbe Funktionsdauer erreichen wie die zusammengefügten Bauelemente selbst.[118] Außerdem wurden folgende Anforderungen gestellt: Die Verbindungen der Fertigteile haben neben den statischen Anforderungen bei Innenwandelementen eine ausreichende Dichtheit gegen auftretenden Luftschall und Geruchsdurchdringungen zu gewährleisten. Bei Außenwänden müssen sie ein Regenwassereindringen und Winddurchzug verhindern und dürfen keine Wärmebrücken bilden.[119]

Bei der Typenserie P2 erfolgte die Verbindung der einzelnen Elemente hauptsächlich durch stoffschlüssig wirkende Schweißverbindungen mit anschließender Vermörtelung der Fuge.[120]

Bei mehrgeschossigen Wohngebäuden (bis 5 bzw. 6 Geschosse) ist das geschlossene Fugensystem angewandt worden. Hierbei wurde die Horizontalfuge mit einem Weißstrick (auch Mineralfaser- oder Glasfaserstrick) ausgestopft. Bei der Vertikalfuge ist ein Dichtungsstrick von innen eingestemmt worden. Zum Abdichten der Horizontal- und Vertikalfuge wurde ein asbesthaltiger polymergebundener Fugendichtstoff mit dem Handelsnamen „Morinol“ eingesetzt.

Bei vielgeschossigen P2-Typen sind die Fugen zwischen den Außenwänden als zweistufiges, offenes Fugensystem ausgeführt, d.h. die Fugen sind von außen nicht verschlossen. Grundsätzlich ist diese Fugenausbildung bei dreischichtigen Außenwandplatten zur Anwendung gekommen.

Die Horizontalfugen werden von den Wandelementen 50 mm überlappt und gewährleisten eine ausreichende Dichtung gegen Schlagregen. Bei der Vertikalfuge wird ein PVC-hart-Streifen von oben lose eingeschoben. Damit der Streifen nicht herausrutscht, wurde er oben auf dem Element abgekantet und mit einer Bitumenbinde verklebt.[121]

[118] Knebel, J.: Baukonstruktion-Grundlagen, Berlin 1980, S. 407 (vgl. Anforderungen).
[119] Lewicki, B.: Hochbauten aus großformatigen Fertigteilen, Wien 1967, S. 355.
[120] Unruh, H.-P.: Nagora, A.: Rückbau von Plattenbauten, Braunschweig 2002, S. 15.
[121] Scholz, S.: Grundlagen der Montagekonstruktionen, Berlin 1976, S. 31.

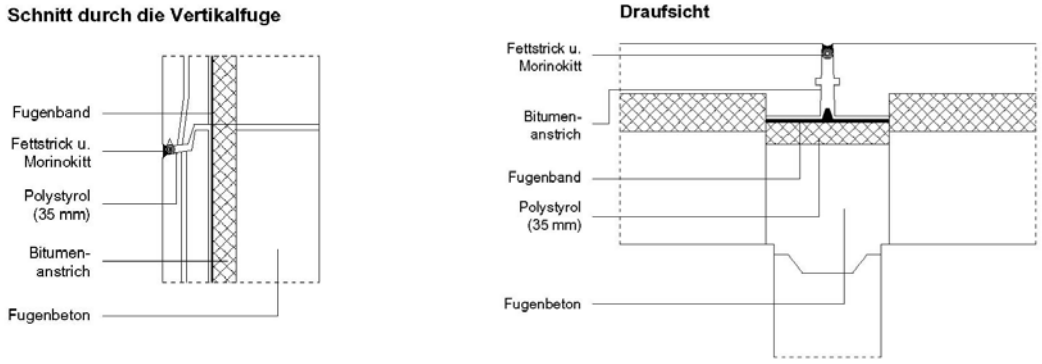


Abb. 22 : Geschlossenes Fugensystem[122]

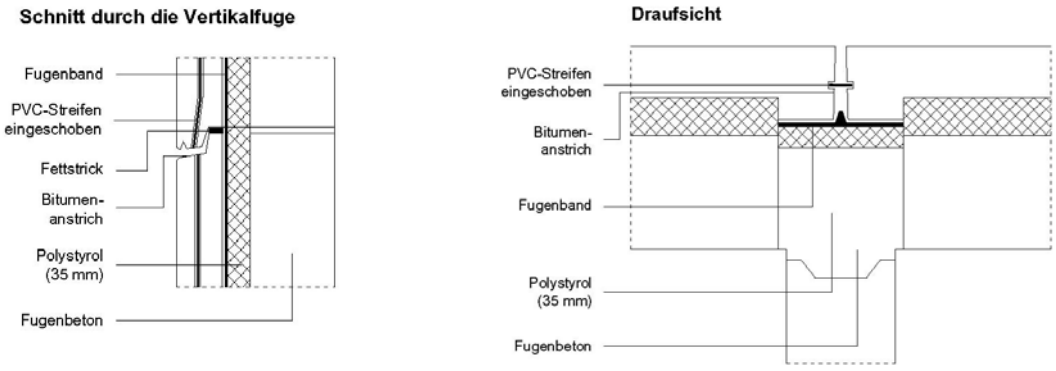


Abb. 23 : Offenes Fugensystem[123]

Die Verbindung der flächenförmigen Wandfertigteile zu aussteifenden Scheiben erfolgt entlang ihres Umfangs. Dies wird bei der Typenserie P2 durch den Ringanker realisiert, der innerhalb der Sturzbewehrung der Außenwandelemente angeordnet ist. Er wird in jedem Geschoss um das ganze Gebäude geführt und mit der Ringankerbewehrung der Innenwände durch Verschweißen (Kehlnähte) verbunden. In 5- bis 11-geschossigen Bauten übernehmen 1 bzw. 2 Stähle St A-I, Durchmesser 12 mm die Funktion des Ringankers (vgl. Abb. 24)

Die Ringankerstähle liegen bei den tragenden Innenwänden nebeneinander, bei den Außenwänden jedoch untereinander. In 11-geschossigen Gebäuden ist zusätzlich in den Innen- und Giebelwandelementen ein zweiter Ringanker in Brüstungshöhe (auch unter „Bauchbinde“ bekannt) angeordnet.

Die Geschossdeckenelemente sind an den Elementen der Außenlängswand angemörtelt. Zum Verguss der Deckenfugen wurde Beton der Güte B 160 verwendet. Die Deckenplattenauflage auf die Giebelwandplatte beträgt 60 mm. Die Verschweißung von Giebelwandelement und Deckenplatte erfolgte über zwei Zulagestähle mit einem Durchmesser von 10 mm bzw. 12 mm und einer Länge von 140 mm durch Kehlnähte.

[122] Mettke, A. (Hrsg.): Rahmentechnologie, Rückbau-/Demontagevorhaben Plattenbauten, Cottbus, 2004, S. 38.
[123] Ebenda, S. 39.

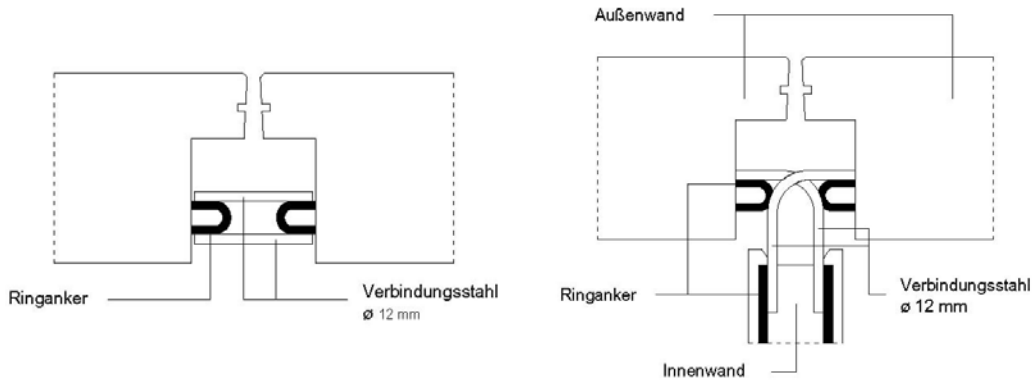


Abb. 24 : Ringankerbewehrung und Verbindung Außenwände - Innenwände[124]

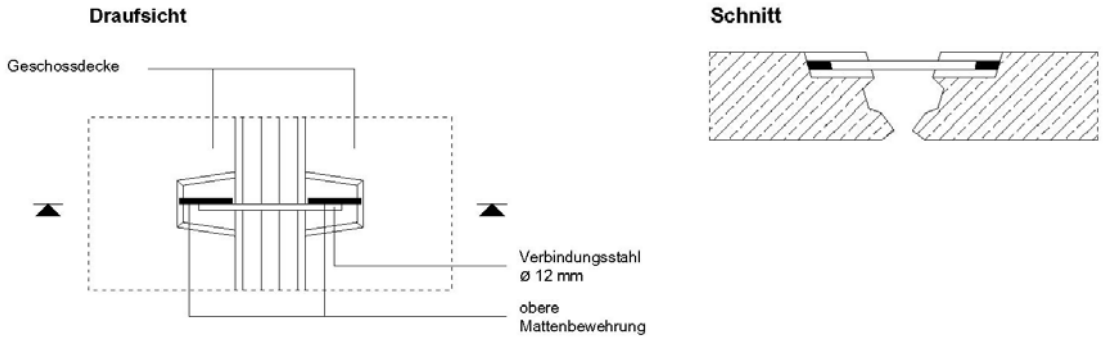


Abb. 25 : Verbindung Decke – Decke, quer zur Spannrichtung[125]

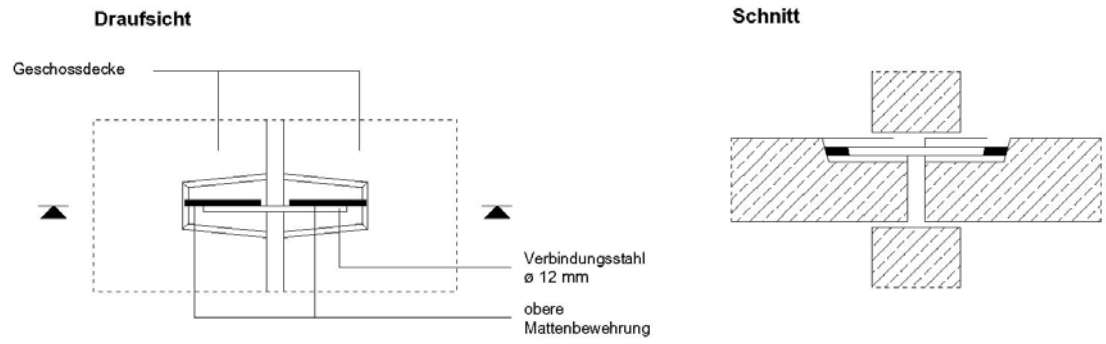


Abb. 26 : Verbindung Decke – Decke, längs zur Spannrichtung[126]

[124] Mettke, A. (Hrsg.): Rahmentechnologie, Rückbau-/Demontagevorhaben Plattenbauten, Cottbus 2004, S. 39.
[125] ebenda, S. 40.
[126] ebenda, S. 40.

5.4 Typenserie WBS 70, Laststufe 6,3 t

Die Typenserie WBS 70 ist von KOENITZ[127] ausgezeichnet in seiner Dissertation dokumentiert. Die einzelnen Bauteile und Betonelemente werden von der Gründung bis zum Dach hinsichtlich ihrer Geometrie, Fügung sowie Lastableitung dargestellt. Hier werden lediglich die wesentlichen Merkmale erläutert.
Die Fachgruppe Bauliches Recycling der BTU Cottbus machte eingehende Untersuchungen an den Rückbaustandorten Berlin-Marzahn, Templin und Gröditz. Als Ergebnis der dort vorgenommenen Untersuchungen entstand, im Abgleich mit vorliegenden Ausführungs- und Montageunterlagen, ein Elementekatalog der Typenserie WBS 70/11 (Berlin) mit einer Übersicht der verbauten Elemente.[128]
Die auf den verschiedenen Baustellen gemachten Erfahrungen und Untersuchungsergebnisse sind in die nachstehenden Ausführungen eingeflossen und durch zusätzliche Informationen ergänzt worden.

5.4.1 Charakteristik der Plattenbauweise WBS 70 6,3 t

Die „Wohnungsbauserie 70“ (WBS 70) basiert im Wesentlichen auf einem Systemraster von 6,00 m. Daraus ergeben sich entsprechende Bauteile mit einer Vorzugslänge von 6,00 m. Dazu gehören Spannbetondeckenelemente (6,00 m x 3,00 m), oberflächenfertige, dreischichtige und vollkomplettierte Außenwandelemente sowie Innenwandelemente.

Bei der WBS 70-6,3t-Baureihe gab es verschiedene bezirkliche Varianten, hauptsächlich angepasst an die vorhandenen Produktionskapazitäten. Ein stetiges Interesse bestand darin, Rationalisierungsmöglichkeiten auszuschöpfen, da an einigen Standorten P2 und WBS 70-Bauteile in einem Werk hergestellt wurden und Maschinen und Werkzeuge (aufgrund vorhandener Ausrüstungen) rationell eingesetzt werden mussten. Es entstanden eine Vielzahl unterschiedlicher Grundrisslösungen und auch Fassadengestaltungen.

Die Geschosshöhe, Normal- und Kellergeschoss, beträgt im Systemmaß 2,80 m. Höhenabweichungen im Kellergeschoss sowie im Erdgeschoss sind je nach Gebäudetyp, städtebaulicher Lage und auch gemäß bezirklicher Anpassung realisiert worden.

So entwickelte beispielsweise die TU Dresden zusammen mit dem Wohnungsbaukombinat Dresden ab Mitte der 1970er Jahre einen WBS 70-Gebäudetypus auf einem Raster von 3,60 m mit einer Gebäudetiefe von 14,40 m für innerstädtische Quartiere.[129]

Für den WBS 70/10,8 Typ Dresden war darüber hinaus noch das „Einschieben“ einer 2,40 m-Achse in die 6,00 m – Achsfolge charakteristisch, so dass eine von der Ursprungsprojektierung abweichende Segmentbreite von 14,40 entstand. Die Gebäudetiefe war bei diesen Bauten im System 10,80 m. Durch das Hinzufügen der 2,40 m breiten Treppenhausachse war es möglich, in den Obergeschossen einer Wohnung jeweils einen Raum zusätzlich hinzuzufügen, so dass eine 4-Raum-Wohnung möglich wurde. Die Treppenhausachse ist durch einen Versatz von etwa 60 cm nach außen in der Fassadenflucht erkennbar.

[127] Koenitz, U.: Wohngebäude in Montagebauweise, Dissertation, TU Dresden, 2007.
[128] Mettke, A. (Hrsg.): Elementekatalog, Übersicht: Elementesortiment des Typs WBS 70 am Beispiel Gebäudetyp WBS 70/11, Cottbus, 2007.
[129] vgl. Koenitz, U.: Wohngebäude in Montagebauweise, Dissertation, TU Dresden, 2007, S. 91 ff.

Tab. 34: Ausgewählte bezirkliche Varianten[130]

Bezirk	Projekt-bezeichnung	System-		Geschoss-anzahl	Durchschnitts-fläche / WE	Geschosshöhe Keller
		Länge [m]	Breite [m]			
Berlin	WBS 70 Berlin	12,00	12,00	5 / 6	60	2,80
Cottbus	WBS 70 Serie 10,8 C	14,40	10,80	5 / 6	67	2,80
Dresden	WBS 70 / 12,00	12,00	12,00	5 / 6	60	2,80
	WBS 70 / 10,80	14,40	10,80	5 / 6	67	2,80
Erfurt	WBS 70 BR 84, BR 85	12,00	12,00	5 / 6	59	2,45
Frankfurt / O.	WBS 70 IW 86F / 10,80	12,00	10,80	5 / 6	56	2,50
Gera	WBS 70 MS	12,00	12,00	5 / 6	61	2,45
Halle	WBS 70 IW 83	12,00	12,00	5 / 6	60	2,83[5]
Chemnitz	WBS 70 / IW 83	12,00	12,00	5 / 6	60	2,80
Leipzig	WBS 70 / 3. RE	12,00	10,80	5 / 6	53	2,49
Magdeburg	WBS 70 87.06-23	12,00	12,00	5 / 6	60	2,48
Neubrandenburg	WBS 70 C	12,00	12,00	4 / 5 / 6	61	2,80
Potsdam	WBS 70 II. Etappe	12,00	12,00	4 / 5 / 6	61	2,45
Rostock	WBS 70 WBR 83	12,00	10,80	6	55	2,80
Schwerin	WBS 70 WB 85	12,00	10,80	5 / 6	52	2,80
Suhl	WBS 70 WBR S 84 –Z-	12,00	10,80	4 / 5 / 6	55	2,80

[130] IEMB: Leitfaden für die Instandsetzung und Modernisierung, Wohnungsbauserie 70 6,3 t, Berlin, 1997, S. 5.

Tab. 35: Charakteristik der Plattenbauweise WBS 70 (6,3t)[131]

Plattenbauweise WBS 70	
Gebäudekonstruktion	
Laststufe	6,3 t
Bauzeit	1971 - 1990
Typenserie	**WBS 70**
Konstruktionsprinzip	Querwandbauweise – Grundraster 6,00 m x 6,00 m
Deckenspannweiten	6,00 m (4,80 m, 3,60 m, 2,40 m)
Außenwände (Dicke)	Normalbeton B 160, B 225, B 300, bewehrt 3-schichtiger Wandaufbau mit Wärmedämmschicht (Polystyrol bzw. Mineralwolle) 26 cm, oberflächenfertig
Innenwände (Dicke)	Normalbeton B 160 / B 300 (Bk 12,5 und Bk 25), oberflächenfertig (15 cm)
Trennwände (Dicke)	Normalbeton B 160, B 300 (6cm), Sanitärraumzelle (4 cm), Gips (7 cm), oberflächenfertig
Treppen	zweiläufige Treppe
Decke (Höhe)	B 300 (B 160, B 225) Vollbetondecke Stahlbeton, oberflächenfertig, (14 cm), 3,60 m (schlaff bewehrt), 6,00 m (Spannbeton)
Fußbodenaufbau	3,0 cm bis 3,5 cm (Normalgeschoss), 7,5 (Erdgeschoss)
Gebäudecharakteristik	
Gebäudelänge	36,00 m bis 72,00 m 3 - 5 Segmente (5-/6-geschossig) 2 – 3 Segmente (11-geschossig)
Gebäudebreite	11,05 m bzw. 12,35 m Systemmaße: 10,80 m, 12,00 m (14,40 m)
Gebäudehöhe	max. 32,25 m
Fundament	B 160 , B 300 monolithische Flächengründung (Streifen-, Plattenstreifen- und Plattenfundamente)
Segmentlänge (Systemmaß)	10,80 m / 12,00 m / (14,40 m / 15,60)
Geschossanzahl	5, 6 und 11
Geschosshöhe (Rohbau/Systemmaß)	2,80 m (Normalgeschoss), 2,45 m bzw. 2,80 m (Kellergeschoss), 1,56 m (Dachgeschoss)
Erschließung	außenliegendes Treppenhaus und ggf. Aufzug
Dachform und -art	zweischalig, belüftetes Flachdach (Neigung: 10 %, Kaltdach) mit Innenentwässerung
Wohnungscharakteristik	
Wohnungsarten und -größen	1 – 4 RWE (32,31 m² - 98,87 m²), 5 RWE (96,40 m² - 120,00 m²)
Küche	Außenküche
Bad	innenliegendes Bad (Sanitärraumzelle)
Balkon / Loggia	vorgestellte Loggien auf der Wohnraumseite

[131] IEMB: Sanierungsgrundlagen Plattenbau, Wohnbauten in Fertigteilbauweise (Baujahre 1958-1990), S. 51, 55, Stuttgart 1996, ergänzt durch eigene Feststellungen sowie Ausführungen von: Koenitz, U.: Wohngebäude in Montagebauweise, Dresden 2007.

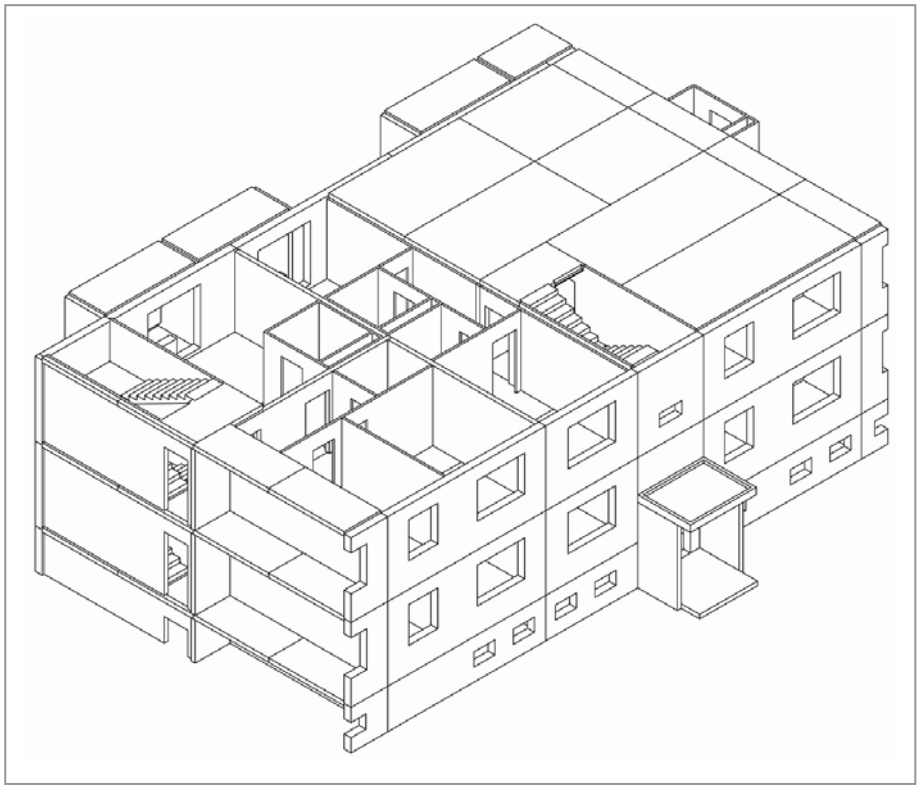


Abb. 27 : Prinzipdarstellung eines Segments der Typenserie WBS 70 6,3t (Standort Templin)[132]

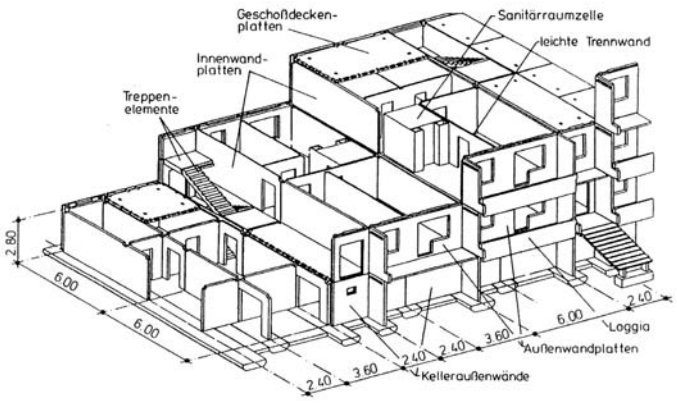


Abb. 28 : Räumliche Prinzipdarstellung der WBS 70-Montagebauweise[133]

Abb. 29 : Gebäude der Typenserie WBS 70/11 (Standort Berlin-Marzahn)

[132] Zeichnung erstellt durch: Asmus, St., FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, unter Verwendung der: Ausführungsunterlagen WBS 70/11 (Berlin), Elementedatenblätter / Montagepläne, VEB Wohnungsbaukombinat Berlin 1974-1988.
[133] IEMB: Leitfaden für die Instandsetzung und Modernisierung von Wohngebäuden in der Plattenbauweise, Wohnungsbauserie 70 6,3 t, Berlin, 1997, S. 35.

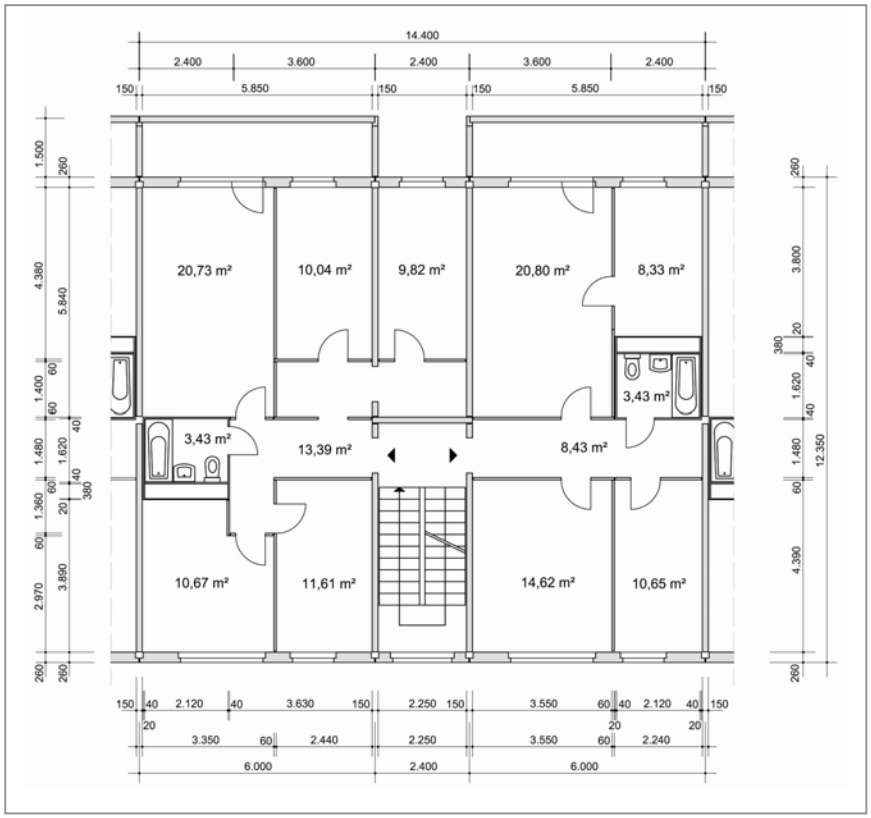


Abb. 30 : Segmentgrundriss eines WBS 70-Wohngebäudes[134]

5.4.2 Konstruktionsgrundsätze und Hauptelemente[135]

Konstruktiv baut die WBS 70-Typenreihe auf einem statisch unbestimmten räumlichen Tragsystem auf, bei dem vertikale und horizontale Scheiben durch Schweißverbindungen und örtlich eingebrachten Fugenbeton statisch- konstruktiv miteinander verbunden sind und bei entsprechender Anordnung das Gesamtgebäude aussteifen. Die Erstellung der Wohngebäude erfolgte in Vollmontage.

Entgegen der P2-Typenserie lagern bei der WBS 70 die Randdeckenplatten als dreiseitig gelagerte Platten auch auf den Außenwänden mit auf und somit wurde die Tragschicht der dreischichtigen Außenwände ebenso zur tragenden Wand und als solche zur Längsaussteifung bei Gebäuden herangezogen.

Außenwände

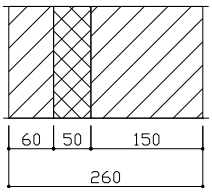
Die tragenden Geschossaußenwände der WBS 70-Typenserie (Längsaußen- und Giebelwände) sind i. d. R. als dreischichtige Wandelemente aus Beton oder Stahlbeton mit einer Wärmedämmschicht konzipiert worden.

Die Elemente setzen sich aus einer innenseitigen Tragschicht (15 cm), einer äußeren Wetterschale (≥ 6 cm) und einer dazwischen liegenden Wärmedämmschicht (Kerndämmung, ≥ 5 cm) zusammen. Im Betonwerk wurden diese oberflächenfertig hergestellt und bereits mit den entsprechend dem spä-

[134] Zeichnung erstellt durch: Asmus, St., FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, unter Verwendung der: Ausführungsunterlagen WBS 70/11 (Berlin), Elementedatenblätter / Montagepläne, VEB Wohnungsbaukombinat Berlin 1974-1988.
[135] Koenitz, U.: Wohngebäude in Montagebauweise, Dissertation, Dresden, 2007; sowie IEMB: Leitfaden für die Instandsetzung und Modernisierung von Wohngebäuden in der Plattenbauweise, Wohnungsbauserie 70 6,3 t, Berlin, 1997.

teren Einsatzort erforderlichen Fenstern komplettiert. Die Außenwandelemente (2,40 m bis 6,00 m) sind als Decken tragende Elemente ausgebildet und im eingebauten Zustand Teil der Tragkonstruktion des Gebäudes. Abhängig von der Systembreite des Gebäudes (12,00 m, 10,80 oder 14,40 m) sind Außenlängs- wie auch Giebelwände mit einer oder keiner Kopfprofilierung auf der Innenseite versehen (direktes bzw. indirektes Deckenauflager)[136]. Bei direkter Lagerung liegt das Deckenelement mittels einer Mörtelfuge in der Kopfprofilierung der Außenwandplatte auf. Beim indirekten Deckenauflager sind die Decken in Randlage nur über punktuelle Schweißverbindungen mit der Außenlängswand verbunden und es ist keine Kopfprofilierung ausgebildet.

Tab. 36: Aufbau einer dreischichtigen Außenwandplatten der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t)[137]

Schichtenaufbau der dreischichtigen Außenwandkonstruktion (WBS 70)			
	Schichten	Schicht-dicke [mm]	Baustoff
	Wetterschutz-schicht	60	B 225 Bewehrungsstahl St B-IV (anfangs St A-I, Ø 6 mm, Maschenabstand e = 150 mm) Ø 5 mm und 4 mm, e = 150 mm
	Dämmschicht	50	Schaumpolystyrenplatten ρ = > 17, < 40 kg/m³
	mit Ratiostufe II ab 1982	60	Schaumpolystyren oder Mineralwolleplatten (hydrophobiert) Sorte P 32
	Tragschicht	150	B 225; B 300
	mit Ratiostufe II ab 1982	140	B 300 Bewehrung: St A-I, St A-III und St T-IV

Die auf Biegung und Druck beanspruchten Bereiche der Tragschicht der Außenwände, wie Fenster- und Türstürze, sind verschieden bewehrt (Ringankerbewehrung, Ringankerleiter, etc.) worden. Alle Elemente sind im eingebauten Zustand über eine Ringankerbewehrung sowie eine Schweißverbindung nahe den Fußpunkten miteinander verbunden.

Bei der Außenwandplatte sind die Betonschichten über Traganker (Ø 8 mm, Edelstahl sowie Betonstahl St A-I) und Verbindungsnadeln (Ø 3 u. Ø 4 mm, Edelstahl) untereinander verbunden.

Die tragenden Kelleraußenwände sind einschichtig aus Beton oder Stahlbeton mit dichtem Gefüge ausgeführt worden. Die Bauteildicke hängt von der Bauteillänge ab und beträgt 15 cm bzw. 26 cm. Die Systembreite variieren von 2,40 m bis 6,00 m, die Regelsystemhöhe beträgt 2,80 m (Rationalisierung: 2,50 m). Die Elemente haben eine profilierte Kopfausbildung, um ein Ineinandergreifen der Wetterschale (Wetternase) aus den darüber liegenden Außenwänden sowie das Auflagern der Deckenelemente zu ermöglichen.

Die Kelleraußenwandelemente sind etwa 1,25 m im Erdreich eingebunden.

[136] vgl. Koenitz, U.: Wohngebäude in Montagebauweise, Dissertation, TU Dresden, 2007, S. 198.
[137] IEMB: Leitfaden für die Instandsetzung und Modernisierung von Wohngebäuden in der Plattenbauweise, Wohnungsbauserie 70 6,3 t, Berlin, 1997, S. 37; Koenitz, U.: Wohngebäude in Montagebauweise, Dissertation, TU Dresden, 2007, S. 201.

Tab. 37: Außenwandelemente im Kellergeschoss der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t)[138]

Kelleraußenwandelemente – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)													
	Kelleraußenwände (teilweise mit Öffnungen für Türen, Fenster, Installationen)												
	Normalelemente							Giebeleckelemente					
Breite [m]	2,38	3,58	4,78	5,98	2,38	2,98	3,60	3,66[5]	4,26[5]	2,57[5]	3,17[5]	3,77[5]	
Höhe [m]	2,78 (2,48)							2,78 (2,48)					
Dicke [m]	0,26							0,26					
Masse [kg] (incl. Stahl)	k. A.							k. A.					
Beton-güte	B 160 , B 300												
Beton-stahl	ST A-I	vorwiegend für konstruktive Bewehrung, Tragösen (Ø 14 mm), Ringanker											
	ST A-III ST B-IV ST T-IV	Tragbewehrung											

Tab. 38: Außenwandelemente im Normalgeschoss der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t)[139]

Außenwandelemente (WBS 70/11-Berlin) – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)										
	Außenwandelemente – Normalgeschoss (Normalelemente)									
	1 Fenster öffnung	1 Fenster öffnung	ohne Fenster öffnung	ohne Fenster öffnung	2 Fenster öffng.	Fenster und Balkon-tür	2 Fenster öffng.	Fenster und Balkon-tür	2 Fenster öffng.	Fenster und Balkon-tür
Breite [m]	1,97[5]	2,38	2,98	3,58	5,75		5,84[5]	5,86[5]	5,98	
Höhe [m]	2,88[5]									
Dicke [m]	0,26									
Masse [kg] (incl. Stahl)	1.717	2.602 bis 2.628	3.955	4.565 bis 5.746	5.456 bis 5.467	5.292 bis 5.300	5.551	5.459 bis 5.467	5.557 bis 5.978	5.641 bis 5.646
Beton-güte	Bk 20 / Bk 25									
Wärme-dämm-schicht	Mineralwolle (Kamilit), Schaumpolystyrol, Schaumglas									
Beton-stahl	ST A-I ST T-IV	Tragschichtbewehrung (Ø 4 / Ø 5 mm), Ringankerbewehrung (2 x Ø 12 mm, Querstäbe Ø 6,5 mm), Tragösen (Ø 14 mm)								
	ST B-IV	Bewehrung der Wetterschutzschicht								

[138] Ausführungsunterlagen WBS 70/11 (Berlin), Elementedatenblätter / Montagepläne, VEB WBK Berlin, 1974-1988.
[139] ebenda.

Tab. 39: Giebeleckelemente im Normalgeschoss der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t)[140]

Außenwandelemente (WBS 70/11-Berlin) – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)						
	Außenwandelemente – Normalgeschoss (Giebeleckelemente) - Auswahl					
Breite [m]	1,46	1,97[5]	2,67[5]	2,87[3]	3,17[5]	3,77[5]
Höhe [m]	2,88[5]					
Dicke [m]	0,26					
Masse [kg] (incl. Stahl)	1.627 bis 1.655	2.329	3.248	3.502	3.972	k. A.
Betongüte	Bk 20 / Bk 25					
Wärme-dämm-schicht	Mineralwolle (Kamilit), Schaumpolystyrol, Schaumglas					
Betonstahl	ST A-I ST T-IV ST B-IV	Tragschichtbewehrung (Ø 4 / Ø 5 mm), Ringankerbewehrung (2 x Ø 12 mm, Querstäbe Ø 6,5 mm), Tragösen (Ø 14 mm) Mattenbewehrung der Wetterschutzschicht (Ø 4, Ø 5 bzw. Ø 6 mm)				

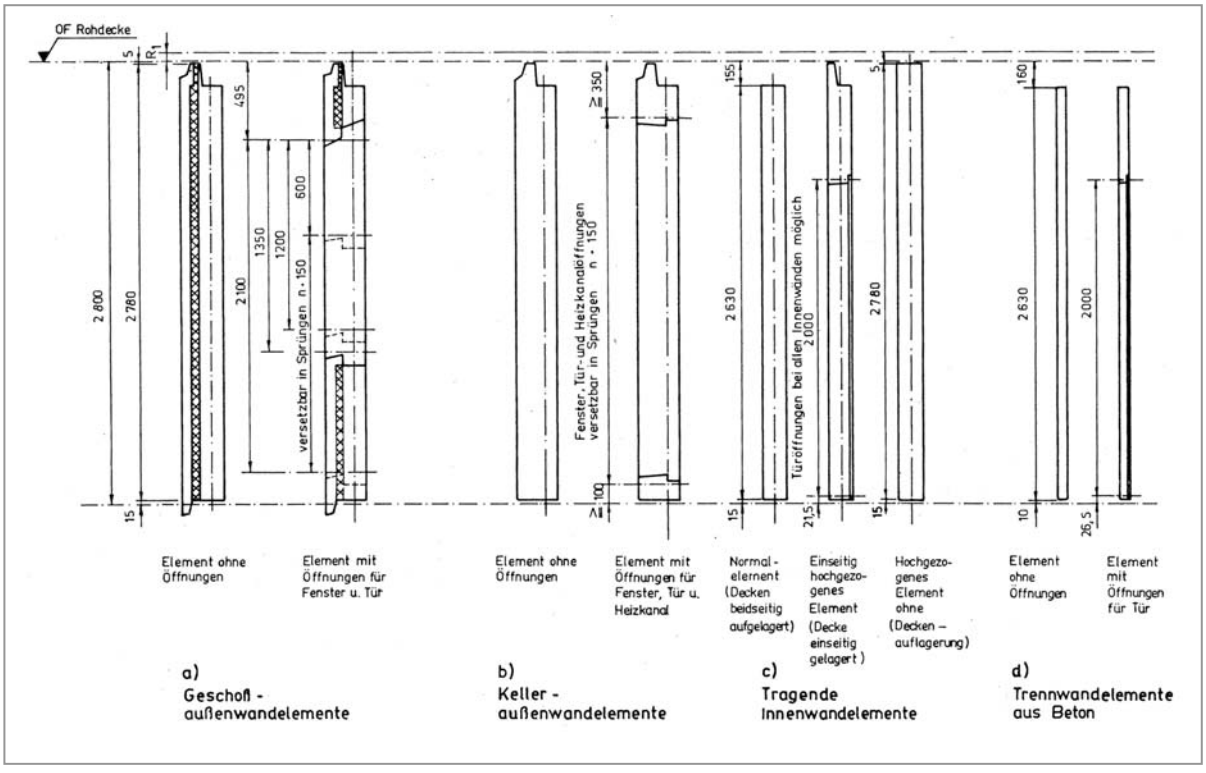


Abb. 31 : Auswahl an Wandelementen und Maßsystem[141]

[140] Ausführungsunterlagen WBS 70/11 (Berlin), Elementedatenblätter / Montagepläne, VEB WBK Berlin, 1974-1988.
[141] Achenbach, H.: WBS 70 – Grundregeln für Bauelemente, Bauakademie der DDR, Berlin, 1975, S. 3.

Tragende und nichttragende Innenwände

Die tragenden wie auch aussteifenden Geschossinnenwände der WBS 70-Typenserie (Längs- und Querwände, 15 cm) sind aus Beton oder Stahlbeton als vorgefertigte Fertigelemente in den Systembreiten von 2,40 bis 6,00 m verbaut worden. Die Elementlänge ist abhängig von der Lage im Grundriss.

Zu unterscheiden ist zwischen raumhohen (2,63 m) Elementen und Wänden, welche die Treppenhäuser umschließen (2,78 m). Die letzteren zeichnet eine Aufkantung in Geschossdeckenhöhe aus, so dass auf diesen Elementen Deckenelemente nur einseitig aufgelagert sind. Ausgewählte Innenwandelemente mit der Höhe von 2,78 m erhielten eine angeformte Stahlbetonkonsole als Auflager für das Haupt- bzw. Zwischenpodest im Treppenhaus. Tragende Innenwände sind auch als Bauteile mit einer bzw. zwei Türöffnung ausgeführt worden.

Die Innenwandelemente sind, abhängig von Türöffnungen, unterschiedlich bewehrt. Sie enthalten in jedem Fall aber eine Ringankerbewehrung sowie zusätzliche Verbindungsöffnungen und -stähle an erforderlichen (Anschluss-)Stellen. Am unteren Rand jedes Elements ist aus konstruktiven Gründen eine Bewehrungsleiter eingebaut worden. Bei Türöffnungen ist mindestens eine konstruktiv notwendige Bewehrung im Sturz- wie auch im Schaftbereich eingelegt worden. Das Platzieren der Innenwände erfolgt mittels Tragösen, welche im Regelfall im Fugenbereich zwischen den aufliegenden Deckenplatten einbetoniert wurden.

Im Kellergeschoss verfügen die 15 cm dicken Innenwände über teilweise sehr unterschiedliche Bauteilöffnungen (Türen, Installationen etc.) und sind demzufolge auch unterschiedlich bewehrt worden. Die Betongüte beträgt B 160 (5-6 Geschosse) oder B 300 (11 Geschosse).

Die nichttragenden Trennwandelemente in den Normalgeschossen, 6 cm dicke Betonwände bzw. 7 cm dicke Gipswände, sind ebenfalls raumhoch mit einer Höhe von 2,62 m ausgeführt worden. Im Regelfall variieren die Bauteillängen von 86 cm bis 5,98 m. Abhängig von der Einbaulage im Grundriss sind auch hier Türöffnungen oder auch Durchbrüche möglich gewesen. Die schmalen Trennwandelemente erhielten eine Bewehrung, da sonst die Stabilität beim Transport bei der Montage und im Bereich von Öffnungen nicht gewährleistet gewesen wäre. Elemente mit einer Länge ≥ 4,80 m sowie Elemente mit Türöffnungen sind zusätzlich mit Bewehrungsleitern bewehrt. Zum Transport und für die Montage sind in jedem Element zwei vertikale, im oberen Bereich gebogene Tragösenstäbe verbaut. Nach der Montage wurden die Tragösen an der Oberkante der Trennwand abgetrennt.

Tab. 40: Innenwandelemente im Normalgeschoss der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t)[142]

Innenwandelemente (WBS 70/11-Berlin) – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)										
	Innenwandelemente - Normalgeschoss									
	Normal-element	1 Tür-öffnung	2 Tür-öff-nungen	Normal-element	Normal-element	1 Tür-öffnung	Normal-element	1 Tür-öffnung	Normal-element	1 Tür-öffnung
Breite [m]	3,83[5]	4,61			4,69[5]	5,81	5,89[5]		3,88	4,61
Höhe [m]	2,63								2,78	
Dicke [m]	0,15								0,15	
Masse [kg] (incl. Stahl)	3.579	3.721	3.127	4.316	4.408	4.853 bis 4.942	5.535	4.921	3.731 bis 3.847	3.779
Beton-güte	Bk 25								Bk 25	
Beton-stahl	St A-I St B-IV	St A-I St B-IV St T-IV	St A-I St B-IV St T-IV	St A-I St B-IV	St A-I St B-IV	St A-I St B-IV St T-IV	St A-I St B-IV	St A-I St T-IV	St A-I St B-IV	
	St A-I	Ringanker (2 x Ø 12 mm); Steckbügel (Ø 6,5 mm); Schaft bei Türöffnung (Ø 6,5 - Ø 10 mm)								

Geschossdecken

Die Geschossdeckenplatten der WBS 70 sind als 14 cm dicken Stahlbeton- oder Spannbetonelemente mit den entsprechenden Aussparungen für die Anschlagmittel und Verbindungsstähle vorgefertigt worden. Die in den Randbereichen der Längsaußenwände verbauten Deckenelemente besitzen z. T. zusätzliche Öffnungen für Installationen. Die Bauteile sind an den Rändern profiliert bzw. modelliert (Schubverzahnung), was nach dem späteren Betonverguss (mind. B 160) eine schubfeste Verbindung und somit eine bessere Ausbildung als steife Deckenscheibe ermöglicht. Das Auflager der Deckenplatten auf den tragenden Innenwänden beträgt mindestens 5 cm, üblicherweise 6 cm. Die Deckenelemente sind zweiseitig, dreiseitig oder vierseitig gelagert eingebaut.

Bei der Querwandbauweise kamen vorzugsweise Spannbetondeckenelemente mit einer Systembreite von 3,00 m (2,98 m) sowie einer -länge von 6,00 m (5,98 m) zur Anwendung. Da einige Betonwerke parallel Deckenelemente für die P2-Typenserie herstellten, sind auch bei WBS 70-Gebäude 6,00m-Spannbetondeckenelemente mit einer Systembreite von 1,80 m verbaut worden.

Schlaff bewehrte Fertigteile sind Geschossdecken mit einer Systemlänge ≤ 3,60 m[143], deren Hauptspannrichtung war sowohl in Quer- als auch in Längsausrichtung möglich[144]. Ausdruck der bezirklichen Anpassung des WBS 70-Sortiments sind Deckenelemente mit der Systembreite von 2,40 m; vorzufinden in der eingeschobenen Treppenhausachse[145].

[142] Ausführungsunterlagen WBS 70/11 (Berlin), Elementedatenblätter / Montagepläne, VEB WBK Berlin, 1974-1988.
[143] vgl. Ausführungsunterlagen WBS 70-10,8 C - Elementekatalog, IH Cottbus, VEB WBK Cottbus, KB Projektierung, 1983.
[144] vgl. Achenbach, H.: WBS 70 – Grundregeln für Bauelemente, Heft 30, BA der DDR, Berlin, 1975, GRE 21, S. 2, Tab. 2.
[145] vgl. Ausführungsunterlagen WBS 70 / 10,80 (Typ Dresden, Ratio II), Montagepläne, VEB (B) WBK Dresden, 1978-1990.

Bei den schlaff bewehrten Elementen waren, abhängig von der Deckenspannrichtung, Quer- als auch Längsrichtung, und Grundrissvarianten noch weitere Elementeabmessungen möglich. Diese variierten in der Systemlänge zwischen 1,20 m bis zu 6,00 m, in den Systembreiten 2,40 m und 3,00 m.

Tab. 41: Geschossdeckenelemente der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t) mit einer Deckenspannrichtung in Längsrichtung[146]

Deckenelemente (WBS 70/11-Berlin) – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)								
	Deckenspannrichtung in Längsrichtung (Querwandbauweise)							
	Spannbeton				Stahlbeton (schlaff bewehrt)			
Länge [m]	5,98				3,58			
Breite[m]	1,18	1,78	2,38	2,98	1,18	1,78	2,38	2,98
Höhe [m]	0,14				0,14			
Masse [kg] (incl. Stahl)	k. A.	3.125 bis 3.449	4.230 bis 4.688	5.662 bis 5.943	k. A.	1.972 bis 2.100	2.813	3.222 bis 3.555
Betongüte	B 300				B 160, B 225, B 300			
Spannstahl	St 140 / 160 (Stabquerschnitt 40 mm²)				-			
Betonstahl	(schlaffe Bewehrungsmatte / Bewehrungskörbe)				ST A-III Hauptbewehrung ST T-IV obere Bewehrung und Anschlussstähle im Auflagerbereich, Zulagestähle ST A-I sonstige Bewehrung (Ø 10 mm), Bewehrungskorb (Ø 6,5 und 10 mm ST A-I; Ø 12 mm ST A-III)			

[146] Ausführungsunterlagen WBS 70/11 (Berlin), Elementedatenblätter / Montagepläne, VEB WBK Berlin, 1974-1988; sowie Achenbach, H.: WBS 70 – Grundregeln für Bauelemente, Heft 30, BA der DDR, Berlin, 1975, GRE 21, S. 2, Tab. 1 u. 2.

Tab. 42: Geschossdeckenelemente der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t) mit einer Deckenspannrichtung in Querrichtung[147]

Deckenelemente – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)											
	Deckenspannrichtung in Querrichtung										
	Stahlbeton (schlaff bewehrt)										
Länge [m]	1,18	1,78	2,38	2,98	3,58	4,78	5,98	2,38	3,58	4,78	5,98
Breite [m]	2,38							2,98			
Höhe [m]	0,14							0,14			
Masse [kg]	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Betongüte	B 160, B 225, B 300										
Betonstahl	ST A-III	Hauptbewehrung (Ø 8 mm)									
	ST T-IV	obere Bewehrung und Anschlussstähle im Auflagerbereich, Zulagestähle									
	ST A-I	sonstige Bewehrung (Ø 10 mm), Bewehrungskorb (Ø 6,5 und 10 mm ST A-I; Ø 12 mm ST A-III)									

Treppenkonstruktion

Im Gegensatz zur P2-Typenserie besitzen die Gebäude der WBS 70 außenliegende Treppenhäuser (2,40 m x 6,00 m) mit zwei Treppenläufen.

Die Ausführung der Treppenkonstruktion ist verschieden. Generell setzt sie sich aus Podestelementen (Haupt- und Zwischenpodest) und Treppenläufen als Fertigteilkonstruktion aus Stahlbeton (B 225) zusammen; mit Tragösen versehen, vor Ort zusammengesetzt und verbunden (verschweißt). Die Elemente wurden oberflächenfertig, belegt mit Terrazzoplatten, im Gebäude eingebaut.

Treppenläufe sind 45 ° geneigte, plattenförmige Elemente mit einem kassettenförmigen Querschnitt, die mit Stufen (315/155 mm) komplettiert worden sind. Die kassettierten Laufplatten besitzen einen 4 cm starken, bewehrten Spiegel und beidseitig Randbalken (8 cm x 13 cm) mit einem Bewehrungskorb. An den Stirnseiten, Fuß- und Kopfpunkte, sind die Elemente mit Querbalken versehen und liegen in den Aussparungen der Podestplatten auf.

Podestelemente sind kassettenförmige Bauteile; diese liegen auf den an Treppenhausinnenwänden vorgesehenen Konsolen auf.

Die anfallenden Lasten der Treppenelemente werden über die Stahlbetonkonsolen, auf denen die Podeste bzw. Treppenläufe aufliegen, in die speziell ausgebildeten Innenwandelemente abgeleitet.

[147] Achenbach, H.: WBS 70 – Grundregeln für Bauelemente, Heft 30, BA der DDR, Berlin, 1975, GRE 21, S. 2, Tab. 2.

Bei Gebäuden mit 11 Geschossen sind darüber hinaus noch jeweils ein Personenaufzug (vorgefertigte, geschosshohe Aufzugsschachtelemente aus Stahlbeton, 2,02 x 2,62 x 2,80 m) sowie eine Müllschluckeranlage (konstruktiv bewehrt, B 225, St A-I, 0,73 x 0,73 x 2,80 m, ca. 2.000 kg) neben dem Treppenhaus angeordnet.

Für die 10,80 m tiefen Gebäudetypen wurde darüber hinaus eine vom Wohnungsbaukombinat Dresden entwickelte Treppenkonstruktion angewendet.[148] Dort kamen anstelle von 3 - 4 Elementen pro Geschoss nur 2 Treppenelemente mit gleicher Grundform zum Einsatz. Dies waren Treppenläufe (300/155^5 mm) mit monolithisch angeschlossenen Podestplatten an den beiden Stirnseiten, welche gegeneinander versetzt jeweils die halbe Breite des 4,80 m langen Treppenhauses einnehmen. Aufgelagert wurden diese auf den vorgesetzten Außenwandelementen des Treppenhauses und auf der Treppenhauslängswand.

Tab. 43: Treppenelemente der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t)[149]

Treppenelemente (WBS 70/11-Berlin) – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)		
	Treppenelemente (Normallösung)	
	Treppenpodeste	Treppenlauf
Breite [m]	2,22	1,08
Länge [m]	1,10	2,84
Höhe [m]	0,19	1,40
Masse [kg] (incl. Stahl)	1.028	1.503
Betongüte	Bk 25	
Betonstahl	St A-I; St T-IV	

Sanitärraumzellen

Wie schon bei der P2-Typenserie wurden auch bei den WBS 70-Gebäuden vorgefertigte und komplettierte Sanitärraumzellen mit Installationsschacht verbaut. In ihr wurden bereits alle Installationen (Kalt-, Warm-, Regen- und Abwasser, Entlüftung etc.) sowie Sanitärgrundausstattung vereint. Die Zelle ist nicht Bestandteil der tragenden Gebäudekonstruktion, sie wird auf die Rohdecke vollflächig elastisch (überwiegend auf Gummischrot, 3,5 cm) aufgelagert.

Der Zellenkörper umfasst die äußeren Wände, die Decke und den Fußboden. In diesen inbegriffen war ein Installationsschacht, in den auch die Versorgungsleitungen der Küche angeschlossen worden sind.

[148] vgl. Koenitz, U.: Wohngebäude in Montagebauweise, Dissertation, TU Dresden, 2007, S. 220.
[149] Ausführungsunterlagen WBS 70/11 (Berlin), Elementedatenblätter / Montagepläne, VEB WBK Berlin, 1974-1988.

Tab. 44: Kennwerte einer Sanitärraumzelle der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t) [150]

Sanitärraumzelle – Bauteilabmessungen / -kennwerte						
	Zellenkörper (außen)	Bad / WC – Raum, (innen)	Installationsschacht (außen) einschl. begrenzender Wände	Wände	Decke	Fußboden
Länge [m]	2,20	≥ 2,12	2,20	-	-	-
Breite [m]	2,10	≥ 1,62	0,44			
Höhe [m]	≤ 2,60	≥ 2,49	≤ 2,60			
Dicke [m]	-	-	-	≤ 0,04	≤ 0,04[5]	≤ 0,06[5]
Baustoffe	Beton B 225 mit Bewehrung Gipsbeton					
Betonstahl	St A-I oder St B-IV (Matten)					
Masse [kg]	≤ 3.000	Zellenkörper aus Stahlbeton				
	≤ 2.200	Zellenkörper aus Gipsbeton				
	≤ 3.300	Zellenkörper aus Gipsbeton mit angeformten Kanälen				

Dachkonstruktion

Die Dachkonstruktion umfasst Dachelemente, bestehend aus Dachplatten und Trogträger mit Auflager sowie Drempelelemente, welche als Flachdach über dem letzten Obergeschoss mit einer Dachneigung von ≥ 6 % als Schmetterlings-, Sattel- oder Pultdach i. d. R. als Kaltdach montiert wurde.

Mit ≥ 6° Neigung im Quergefälle des Daches verlegt, bilden die aus Kassettenfeldern konstruierten freitragenden Dachkassettenplatten (5,90 x 3,11 x 0,14 m) den oberen Abschluss der Konstruktion. An den Längsseiten sind die Dachplatten mit einer geformten Rinne bzw. Tropfkante versehen, so dass Niederschlagswasser in die mittig platzierten Trogträger abfließen kann. In einigen Fällen wurde diese Entwässerungsrinne nach der Montage der Elemente mit Fugenmaterial geschlossen.

Die mit einer entsprechenden Oberflächenbeschichtung versehenen Dachplatten liegen als Einfeldträger in der Mitte auf den Trogelementen und auf den Längswanddrempelelementen auf.

In Gebäudemittelachse sind die Trogträger auf Auflagerböcken angeordnet. Es gab auch zusammenhängende Trogträgerelemente, bei denen das Auflager und der Trogträger in einem Element vereint wurden.

Das Drempelgeschoss ist umlaufend mit einschaligen, kassettenförmigen Drempelelementen, tragenden Längsdrempel und selbsttragenden Giebeldrempel, eingefasst.

Für die 10,80 m tiefen Gebäude entwickelte das Baukombinat Dresden eine Dachkonstruktion, bei der Drempel, Dachplatte, Trogelement und Trogträgerauflager in einem Element, Breite 3,00 und 2,40 m, zusammengefasst wurden.[151] Charakteristisch für diese Lösung sind eine geringere Bauhöhe, kassettierte Dachplatten und angeformte Auflager(-füße) sowie dennoch separate Drempelelemente in den gleichen Breiten.

[150] vgl. Achenbach, H.: WBS 70 – Grundregeln für Bauelemente, Heft 30, BA der DDR, Berlin, 1975, GRE 915, S. 2 und 8.
[151] vgl. Koenitz, U.: Wohngebäude in Montagebauweise, Dissertation, TU Dresden, S. 227.

Tab. 45: Dachelemente der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t)[152]

Dachkonstruktion – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)										
	Dachelemente									
	Dachkassetten-platte		Längswand-drempel		Giebeldrempel		Auf-lager-block	Trogelement		Trog-element mit Auflager
Länge [m]	4,54[5]	5,74[5]	5,98	2,38	6,17[5]	1,18	1,26	2,38	5,98	5,98
Breite [m]	3,11 2,98		1,40		1,40		0,26	1,24		1,24
Höhe [m]	0,26 (Spiegel: 0,05)		0,26		0,26		0,46	0,40		0,79
Beton-güte	B 300 (Bk 25)		B 225 (Bk 20)		B 225 (Bk 20)		B 300 Bk 25	B 300 (Bk 25)		B 300 (Bk 25)
Beton-stahl	St B-IV St A-I St T-IV		St A-I St A-III St T-IV St B-IV		St A-I St A-III St T-IV St B-IV		St B-IV	St B-IV		St A-I St T-IV St B-IV
Masse [kg]	3.487 bis 3.568	2.982 bis 3.215	4.036 bis 4.517	k. A.	4.021	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	4.078

Balkone und Loggien

Die Balkone bzw. Loggien bestehen aus geschosshohen einschaligen Loggiawandelementen und Loggiadeckenelementen sowie Brüstungsplatten.

Bei der Loggiadeckenplatte handelt es sich um freitragende Spannbetonbauteile (L = 4,80 m und 6,00 m) oder Stahlbetonplatten (L = 3,60 m), welche mit einer Sickerwasserdichtung versehen, den horizontalen Abschluss der Loggia bilden.

Die aus Beton bzw. Stahlbeton erstellten geschosshohen Loggiaseitenwände sind vorzugsweise als Vollelemente verbaut worden. Zum Einsatz kamen Seitenschaftelemente mit einem Auflager und Mittelschaftelemente mit zwei Auflagern für die Deckenplatte. Vorzugsbreiten waren 1,20 m für Reihenloggia- und 1,50 m für Doppelloggiaausführung.

Die Brüstungsplatten aus Stahlbeton fassen die Loggia zwischen denn seitlichen Schaftelementen ein.

[152] Ausführungsunterlagen WBS 70/11 (Berlin), Elementedatenblätter / Montagepläne, VEB WBK Berlin, 1974-1988; sowie Achenbach, H.: WBS 70 – Grundregeln für Bauelemente, Heft 30, BA der DDR, Berlin, 1975, GRE 11.

Tab. 46: Loggiaelemente der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t)[153]

Loggiaelemente – Bauteilabmessungen / -kennwerte (Hauptelemente)											
	Loggiadeckenplatte						Loggia-seitenwand		Brüstungsplatten		
Länge [m]	5,82		4,62		3,42		2,78		5,98	4,78	3,58
Breite [m]	1,20	1,50	1,20	1,50	1,20	1,50	1,20	1,50	≥ 1,00		
Dicke [m]	0,14						0,15 (0,26)		(0,16)		
Beton-güte	B 300										
Beton-stahl	Spannstahl St 140 / 160 (Einzelstabquerschnitt: 40 mm²)				St A-III		St A-I		k. A.		
Masse [kg]	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	1.300 bis 1.587	2.475	k. A.	k. A.

Verbindungen und Fugenausbildung

Die Verbindung der Betonfertigteile erfolgte mittels Schweißanschlüssen an den oberen Ecken und einem Fugenverguss (mind. B 160 bzw. Bk 15). In Verbindung mit Zulagestählen, zumeist Rundstähle, wurden die Schweißanschlüsse durch Längskehlnähte miteinander verbunden.

Für die Schweißverbindungen der Kelleraußenwände mit der Deckenscheibe wurden Flachstähle (ST 38) verwendet bzw. wurde unter Verwendung von Zulagestahl die Transportöse der Außenwandplatte mit dem Verbindungsstahl der Deckenelemente verschweißt. Um eine schubfeste Verbindung zu erreichen, erfolgte danach ein Verguss mit Ortbeton im Fugenbereich.

Alle Innenwandelemente erhielten eine Ringankerbewehrung (2 x Ø 12 mm, ST A-I) sowie Verbindungsstähle im unteren Drittel, so dass auch hier Schweißverbindungen zwischen den Elementen möglich sind. Bei einigen Elementen ist eine Aussparung im Beton im Ringankerbereich an der Stelle vorgesehen worden, an der konstruktiv rechtwinklig Wände anschließen und durch Verschweißen mit dem anderen Element verbunden werden.

Um einen kraftschlüssigen Verbund zusätzlich zu den Schweißverbindungen zu erhalten, ist an den Elementen stirnseitig eine Profilierung (Stoßfugenbereich) eingearbeitet, welche nach dem Verschweißen mitsamt den Ringankeraussparungen mit Betonverguss geschlossen werden.

Analog dazu befindet sich auch auf den Stirnseiten der Trennwände eine dreieckige Nut für eine vertikale Mörtelfuge. Die bewehrten Trennwände besitzen im Ringankerbereich und am unteren Rand jeweils einen durchgehenden Stab (Ø 10 mm bzw. Ø 8 mm), welche mittels Zulagestählen mit benachbarten Elementen verschweißt wurde.

[153] Ausführungsunterlagen WBS 70/11 (Berlin), Elementedatenblätter / Montagepläne, VEB WBK Berlin, 1974-1988; sowie Achenbach, H.: WBS 70 – Grundregeln für Bauelemente, Heft 30, BA der DDR, Berlin, 1975, GRE 418, Tab. 1-4.

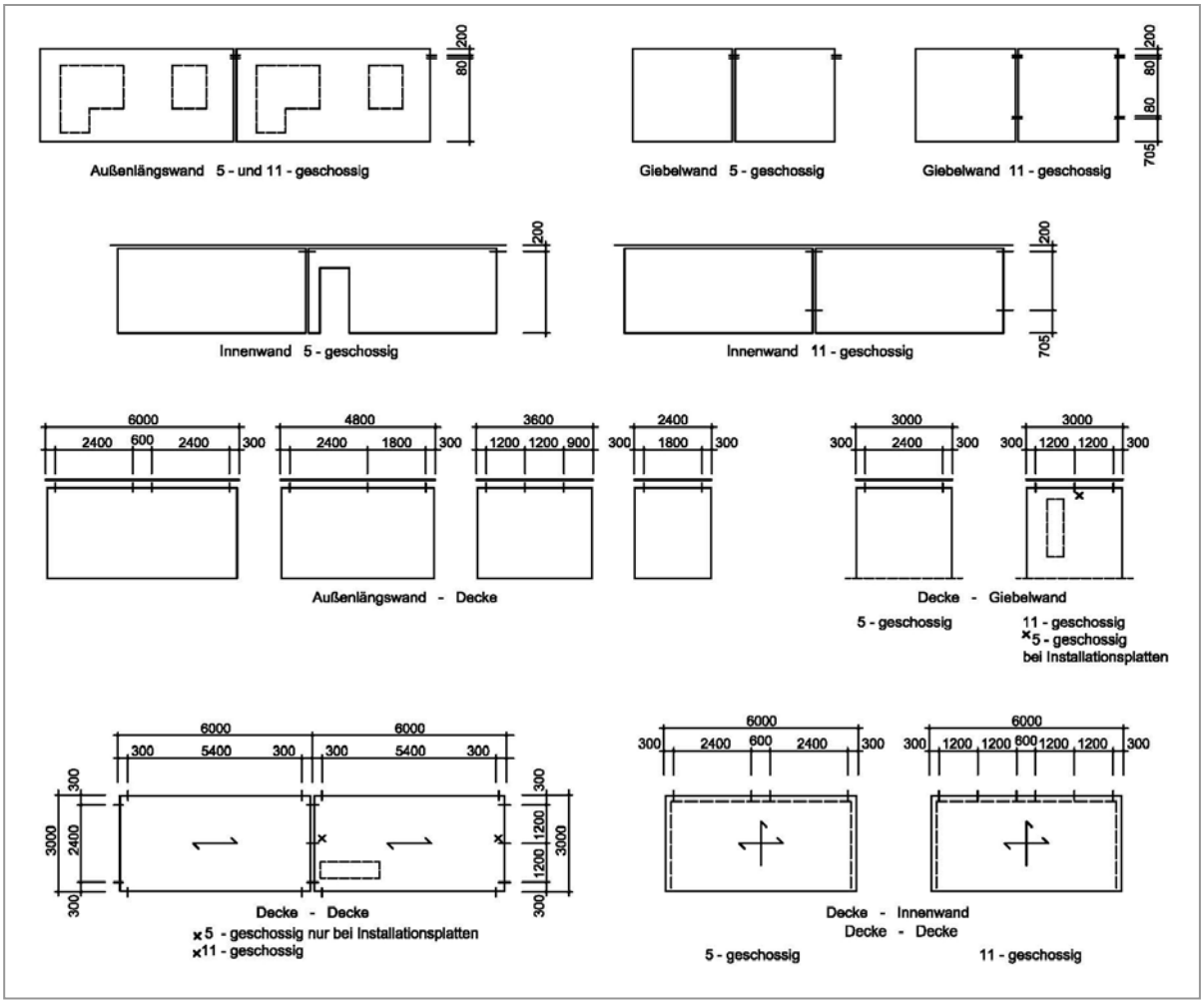


Abb. 32 : Schematische Darstellung der Lage der Schweißverbindungen zwischen den Fertigteilen[154]

Die Treppenelemente, Podeste und Treppenläufe, wurden ineinander gesetzt und miteinander verschweißt. Dafür waren entsprechende Aussparungen in den Elementen vorgesehen worden, welche dann mit Ortbeton (≥ B 160) vergossen worden sind.

Die Verbindung der Deckenelemente untereinander erfolgte durch horizontale Anschlussstähle an der Oberseite der Elemente. Ein Verguss mit Ortbeton (≥ B 160) stellt den endgültigen und flächigen Verbund her. Die Randdeckenelemente wurden mittels Zulagestählen mit den Außenwänden verschweißt.

Die Loggiadeckenplatte ist über Edelstahlgelenke und ein Stahlbetondübel in der waagerechten Fuge zwischen zwei Längsaußenwand verankert, mit dem dahinterliegenden Deckenelement verbunden und mit Beton verfüllt worden. Loggiadecke und die seitlichen Schaftelemente sind in dafür vorgesehenen Aussparungen miteinander verschweißt und anschließend mit Beton vergossen worden. Die Brüstungsplatten sind an vier Punkten mit den Schaftelementen ebenfalls verschweißt, diese benötigten aber einen anschließenden Korrosionsschutz.

[154] Übersicht erstellt durch: Asmus, St., FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, auf Basis der Darstellung in: Achenbach, H.: WBS 70 – Grundregeln für Bauelemente, Bauakademie der DDR, Berlin, 1975, S. 9-10.

Das offene Fugensystem der Außenwände ist überwiegend zweistufig / dreistufig abgedichtet; innenliegend ist i. d. R. ein Schaumpolystyrolstreifen (35 mm) zur Reduzierung der Wärmebrücke, eine Schicht zur Herstellung der Winddichtigkeit (Koropanbinde, Bitumenstrick oder auch Morinol) und außen ein profilierter PVC-Streifen als Schlagregenschutz eingebracht worden.

Im Drempelgeschoss erfolgte die Abdichtung der Fugen zwischen den Drempelelementen durch eine Dichtung. Die Dachelemente, Dachkassetten, Drempelaußenwände, Trogträger mit Auflager wurden in Mörtelfugen verlegt, miteinander verschweißt und mit Ortbeton (≥ B 160) vergossen. Bei den Drempeln wurden die Tragösen im Ringankerbereich vorher mittels Zulagestählen miteinander verschweißt.

5.5 Fazit – Industrieller Wohnungs- und Gesellschaftsbau in der DDR

Im Wohnungsbau in der DDR war die Wandbauweise ab den 1950er Jahren vorherrschendes Konstruktionssystem. Die Entwicklung der Industrialisierung des Wohnungsbaus erfolgte bis 1990 in mehreren Stufen, von der Block- und Streifenbauweise bis hin zur Plattenbauweise (Großtafelbauweise).

Durch die Fachgruppe Bauliches Recycling der BTU Cottbus wurden die hauptsächlich zur Anwendung gekommenen Bauserien PN 36-NO, P2 sowie WBS 70 näher untersucht.

Für alle betrachteten Bauserien des Wohnungsbaus gilt, dass diese auf der Querwandbauweise und dem Grundraster von 1.200 mm (Systemachsenmaß: 2.400 mm und 3.600 mm) basieren und die Normalgeschosse eine Systemhöhe von 2.800 mm aufweisen.

Dennoch gilt es zwischen den Bauserien klar zu unterscheiden, da das Wissen um den konstruktiven Aufbau und die Ausführung eine unabdingbare Voraussetzung für den Rückbau der industriell errichteten und den Wiedereinsatz in neuen Wohnbauten darstellt.

Heute steht man beim Rückbau der industriell errichteten Gebäude wie auch bei der Wieder- und Weiterverwendung der so gewonnenen Bauteile vor der Frage, welches Bauteilsortiment verbaut wurde, wie die Bauteile untereinander angeordnet und miteinander verbunden sind, welche Fügetechniken angewandt wurden und welche Funktionen die Elemente (tragend bzw. nichttragend) innerhalb der Konstruktion übernehmen. Es ist nicht nur nach einem geeigneten, kostengünstigen Demontagesystem gefragt, es sind auch und gerade rationale Remontagesysteme ausschlaggebend, um die Kosten und den Aufwand für Wiederverwendungsmaßnahmen niedrig zu halten.

Die Verbindung der großformatigen Bauelemente erfolgte bei der Plattenbauweise durch Ringanker- und Deckenverschweißung. Dabei übernehmen im Sturzbereich der Wandelemente angeordnete Sturzbewehrungen die Verbindung der raumhohen Wandelemente zu aussteifenden Scheiben. Der so realisierte Ringanker wird in jedem Geschoss um das ganze Gebäude geführt und setzt sich aus der Ringankerbewehrung der Außen- wie auch Innenwände zusammen. Durch Schweißen unter Verwendung von Zulagestählen werden die Bewehrungen miteinander flächig verbunden und mittels Fugenvergussbeton geschlossen. Die Verschweißung von Giebelwandelementen und Deckenplatten erfolgte im Regelfall über Zulagestähle durch Kehlnähte. Die Geschossdeckenelemente sind untereinander mit Hilfe von Zulageeisen verschweißt, die Deckenfugen sind mit Beton vergossen.

Der Schichtenaufbau der mehrschichtigen Außenwände ist unterschiedlich. Die Dicke (24 cm, 26 cm bzw. 29 cm) und Ausführung hängt auch hier von der jeweiligen Typenserie sowie dem Einsatz von Wärmedämmung (Außen- bzw. Innendämmung) und dem jeweiligen Dämmmaterial ab.

Bei den Außenwandbauteilen der Plattenbauweise ist in den Obergeschossen zwischen geschosshohen Außenwandbauteilen aus Leichtbeton (PN 36-NO, P2) und Elementen mit einer Tragschicht aus Normalbeton (P2, WBS 70) zu unterscheiden. Die Ausführung der Kellerelemente, Außen- wie Innenbauteile, erfolgte im Regelfall in allen betrachteten Bauserien in Schwerbeton.

Die Innenwände waren in allen Bauserien in der Regel als tragende Bauteile konzipiert worden, während die Trennwände lediglich der Raumtrennung dienten. Die tragenden und aussteifenden Innenwände (15 cm) wie auch die Trennwände (4 – 7 cm) wurden in Normalbeton gefertigt. Bei Letzteren ist auch Gips zur Anwendung gekommen.

Bei den Deckenelementen in den Wohnbauten setzte sich rasch in allen Bauserien die Verwendung von schlaff bewehrten und vorgespannten Deckenplatten durch, woraus dann auch eine Reduzierung auf eine einheitliche Dicke von 14 cm resultierte.

Als Dachkonstruktion der Plattenbauten ist im Regelfall ein leicht geneigtes Flachdach mit Innenentwässerung mit Dachkassettenplatten vorzufinden.

Alle Innen- und Außenwandelemente der Plattenbauweise wurden oberflächenfertig hergestellt. Hier galt es nur zwischen den Außenwandplatten die Fugenbereiche als offenes oder geschlossenes Fugensystem auszubilden. Bei der Fugenausbildung als geschlossenes Fugensystem bildet ein elastischer Fugenkitt (Morinol) den äußeren Abschluss. Grundsätzlich ist die Fugenausbildung zwischen dreischichtigen Außenwandplatten als zweistufiges / dreistufiges, offenes Fugensystem ausgeführt worden, d.h. die Fugen sind von außen nicht verschlossen. Es wurden lediglich innenliegend ein Schaumpolystyrolstreifen (35 mm) zur Reduzierung der Wärmebrücke, ein Schicht zur Herstellung der Winddichtigkeit (Koropanbinde, Bitumenstrick oder auch Morinol) und außen ein profilierter PVC-Streifen als Schlagregenschutz eingebracht.

Trotz aller Vorkenntnisse sollte man dennoch nicht unberücksichtigt lassen, dass die Planer und insbesondere das ausführende Rückbauunternehmen oftmals vor einigen Unbekannten stehen. Es ist zwar fast immer der Bautyp bekannt bzw. erkennbar, dennoch zeigen sich in vielen Fällen am Rückbauobjekt Unterschiede in der Art der Ausführung, in vorzufindenden Elementeverbindungen und auch in der Bauteilauswahl gegenüber den vorhandenen Planunterlagen und etwaiger Vorkenntnisse aus anderen Rückbaumaßnahmen sowie womöglich zwischenzeitlich realisierter Sanierungsmaßnahmen. Abweichende Ausführungen verlangen dann in der Realität auf der Baustelle oftmals nach einer neuen Bauaufnahme und auf das jeweilige Rückbauprojekt angepasste Herangehensweise.

6 Wiederverwendungseignung / Qualität der Altbetonelemente

6.1 Entscheidungsfindung zur 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. METTKE[155] schlägt einen mehrstufigen Entscheidungsprozess, der eine bestimmte Reihenfolge in seiner Abarbeitung erfordert (s. Abb. 33):

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 verfügbaren Projektierungsunterlagen, Fakten zur Historie sowie typische Konstruktionsmerkmale des betreffenden Gebäudes zu bewerten. Außerdem 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 der Rohbaukonstruktion die betreffenden Betonfertigteile hinsichtlich ihrer Wiederverwendungseignung bewertet werden. Aufbauend auf den Ergebnissen einer visuellen Begutachtung wird empfohlen, Prüfkriterien festzulegen, mit deren Hilfe die Gebrauchseigenschaften formuliert und eine etwaige sekundäre Nutzungsdauer prognostiziert werden können. Zudem ist – sofern möglich - 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 hinsichtlich womöglich entstandener Rissbildung und auf eventuelle Kanten-, Verbindungsmittel-, Tragösenbeschädigungen, Deformierungen zu kontrollieren (vgl. Abschn. 7.1 – 7.3). Es hängt vom jeweiligen Schadensbild der demontierten Elemente ab, ob ggf. Prüfkriterien der Entscheidungsstufe 1 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 wie z.B. Durchfeuchtungen 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.

[155] Mettke, A.: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, Cottbus, 1995, S. 153 ff.

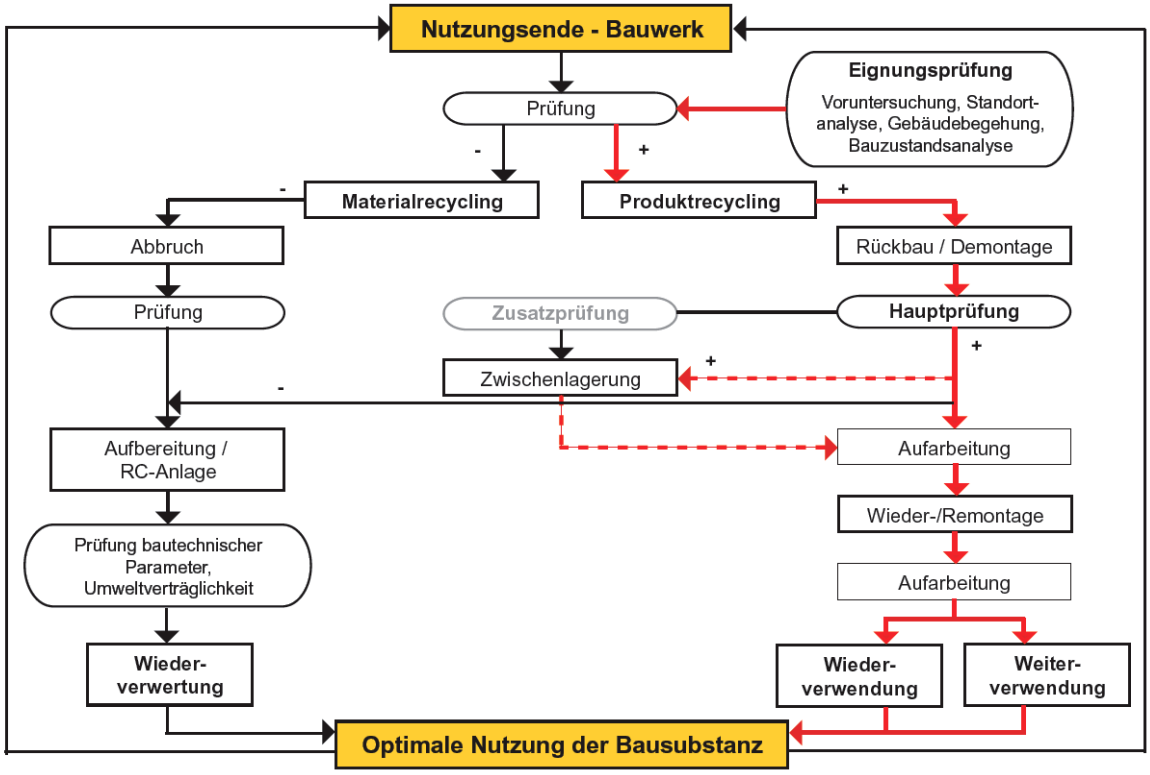


Abb. 33 : Möglichkeiten zur optimalen Nachnutzung von Gebäuden und baulichen Anlagen

Eine zusammenfassende Übersicht der Entscheidungsstufen zur Wiederverwendungseignung von sekundären Betonbauteilen gibt Tab. 47.

Tab. 47: Entscheidungsstufen[156]

UNTERSUCHUNGEN	im eingebauten Zustand; vor der Demontage:	1. *Nullstufe (als vorgeschaltete Stufe)*: Voruntersuchung Feststellen der Demontierbarkeit des Gebäudes (Zugänglichkeit, Konstruktionstyp etc.)
		2. *Entscheidungsstufe 1*: 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 2*: 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 3*: 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

[156] Mettke, A.: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, Cottbus, 1995, S. 154 ff.

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 aus dieser Sicht vier Grundbedingungen (GB) der Wiederverwendungseignung formulieren, wovon die 4. GB zukunftsweisend ist.

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

Abb. 34 : Grundbedingungen der Wiederverwendungseignung[157]

In Abb. 35 werden Bewertungs- und Prüfkriterien zu allgemeinen bauwerksdiagnostischen Untersuchungen aufgezeigt, über welche die Gebrauchseigenschaften von Stahlbetonelementen definiert werden können.

[157] Mettke, A.: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, Cottbus, 1995, S. 161.

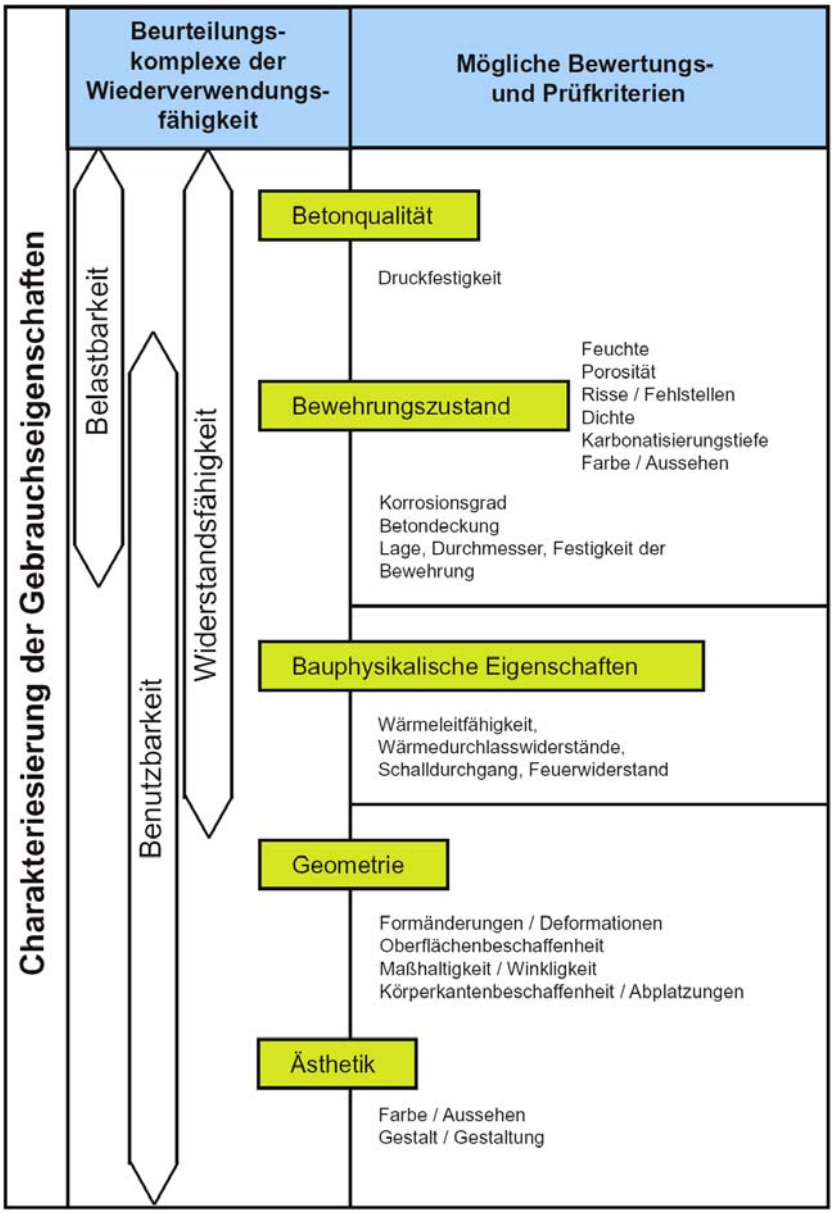


Abb. 35 : Untersuchungsprogramm Bauzustand Betonelemente [158]

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[159] sind eine Vielzahl von Untersuchungen zur Tragfähig- und Dauerhaftigkeit der Betonfertigteile durchgeführt worden. Dazu zählen[160]:

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

- 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).

Die rechnerischen Nachweise zur Trag- und Nutzungsfähigkeit an verschiedenen Deckenplatten der hauptsächlich auf dem Wohnungsmarkt in Ostdeutschland realisierten 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. Des Weiteren sind die rechnerischen Nachweise zum Schallschutz und zum Feuerwiderstand um messtechnische Daten im Rahmen von Versuchen vervollkommnet worden.

Eine Festlegung der technischen Parameter für demontierte Betonfertigteile für den Wiedereinsatz in baulichen Anlagen erfolgt in der „Richtlinie über den Bauteilkreislauf von Fertigbauteilen aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Fassung November 2001“, welche in Sachsen bauaufsichtlich eingeführt wurde.

6.2 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 der DDR-Ära – obwohl a priori nicht demontabel errichtet - grundsätzlich demontierbar / rückbaufähig sind[161]. Dies ermöglicht, Altbetonelemente zur sekundären Nutzung zu gewinnen. D.h. damit kann

1. der Abfallentstehung vorgebeugt werden und
2. die höchstwertige Recyclingform: das Produktrecycling realisiert werden.

Insofern steht ein riesiges Potenzial an baulichen Ressourcen zur Verfügung resp. natürliche endliche Rohstoffe können geschont werden.

Für den Demontageprozess wurde eine „Rahmentechnologie Rückbau-/Demontagevorhaben Plattenbauten – am Beispiel der Typenserie P2“[162] als Handlungshilfe entwickelt und veröffentlicht. 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.[163]

[161] Mettke, A. et.al.: Rückbau und Nachnutzung im Zeichen des Stadtumbau-Ost – Ein Ergebnisbericht, Teil 1: Krangeführter Rückbau, Cottbus, 2008.
[162] Mettke, A. (Hrsg.): Rahmentechnologie Rückbau-/Demontagevorhaben Plattenbauten – am Beispiel der Typenserie P2, BTU Cottbus, 2004.
[163] s. auch: Mettke, A. et.al.: Rückbau und Nachnutzung im Zeichen des Stadtumbau-Ost – Ein Ergebnisbericht, Teil 1: Krangeführter Rückbau, Cottbus, 2008.

6.3 Entscheidungsstufe 1 – Eignungsprüfung

Im Rahmen der **Eignungsprüfung** (Entscheidungsstufe 1, vgl. Tab. 47) wurden in Vorortbegehungen umfangreiche Untersuchungen zum Bauzustand der Elemente vorgenommen. Diese umfassten im ersten Schritt visuelle Begutachtungen und im zweiten Schritt baustoffliche und –technische Analysen und das bauphysikalische Verhalten der Bauteile:

- **Visuelle Begutachtung**

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

Die Unterteilung des Bauzustandes erfolgt durch die FG Bauliches Recycling in vier Bauzustandsstufen (BZS)[164]:

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 in Deutschland und Europa vor. Im weiteren Verlauf der Untersuchungen zur Wiederverwendungseignung sind, im Sinne der bestehenden Regelungen zum Einsatz von Neubauteilen und des Standes der Technik zum Einsatz von gebrauchten Betonbauteile, folgende baustoffliche und -technische Untersuchungen zur Charakterisierung des Langzeitverhaltens 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 – abweichend vom Wohnungsbau – eine Rolle.

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

- **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

wurden erbracht resp. Messergebnisse beurteilt.

6.3.1 Untersuchungsumfang

Seitens der FG Bauliches Recycling sind im Zuge der wissenschaftlichen Begleitung von Rückbauvorhaben – wie o.a. - zahlreiche Untersuchungen in verschiedenen Städten Ostdeutschlands an den hauptsächlich verbauten Elementegruppen: Deckenplatten, tragende Innenwände, Außenwände und zum Teil Badzellen, Dachplatten sowie Trennwände verschiedener Wohnbauserien durchgeführt worden. Für die hier vorliegende Forschungsarbeit sind die Ergebnisse der Untersuchungen der Elementesortimente aus den in Wandbauweise errichteten Wohnbautypen WBS 70, P2 und PN 36-NO relevant.

6.3.2 Visuelle Begutachtung

6.3.2.1 Bauzustandseinschätzung

Die erste Grundlage zur Definition der Gebrauchseigenschaften der Elemente liefert die visuelle Bauzustandsabschätzung im verbauten Zustand. Besonderes Augenmerk lag dabei auf folgende mögliche Verschleiß- u./o. Schadensbilder sowie Einbaubedingungen[165]:

- 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:

[165] Mettke, A.: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, Cottbus, 1995, S. 108 ff.

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

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 außer der Bauart zu prüfen, ob eine Demontage realisierbar u./o. sinnvoll ist. Sofern sich statische Unsicherheiten ergeben, wird von einer Demontage abgeraten.

6.3.2.2 Rissaufnahmen

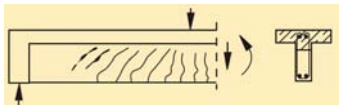
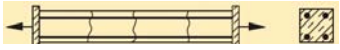
Risse im erhärteten Beton entstehen, wenn die durch Eigenspannungen, Zwang und äußere Belastung hervorgerufenen Zugspannungen die vorhandene Zugfestigkeit des Betons erreichen. In Tab. 48 sind die Hauptursachen, Merkmale der Rissbildungen sowie Angaben zum Zeitpunkt des Entstehens von Rissen im erhärteten Beton dargelegt. Nicht berücksichtigt sind hierbei Risse aufgrund chemischer Ursachen, wie Sulfattreiben und Alkalireaktion sowie Risse im Frisch- oder jungen Beton.

Tab. 48: Rissursachen[166]

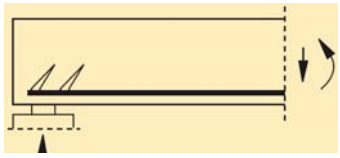
Zeile	Risse können entstehen durch	Merkmale der Rissbildung	Zeitpunkt des Entstehens von Risse	Beeinflussung der Rissbildung ist möglich durch
5	Äußere Temperatureinwirkung	Biege- und Trennrisse, Rissbreite u.U. über 1 mm, u.U. auch Oberflächenrisse	Jederzeit während der gesamten Lebensdauer des Bauwerks, 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. 49 sind Arten, Erscheinungsformen und Merkmale der verschiedenen Rissformen in Folge von äußeren Kräften bzw. Zwang aufgeführt.

Tab. 49: Arten, Erscheinungsformen und Merkmale der verschiedenen Rissformen in Folge von äußeren Kräften oder Zwang [167]

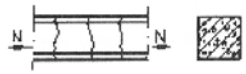
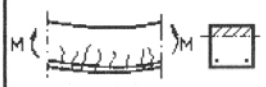
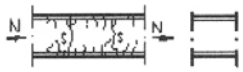
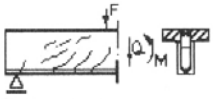
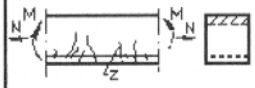
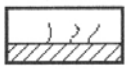
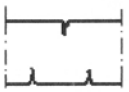
Zeile	Rissart	Erscheinungsform	Beschreibung
4	Biegeriss		Verlaufen etwa senkrecht zur Biegezugbewehrung; beginnen am Zugrand und enden im Bereich der Nullllinie. Verlauf ist oft affin zum Biegemomentenverlauf
5	Schubriss		Bilden sich aus Biegerissen; verlaufen meist schräg zur Stabachse; treten im Bereich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

[166] nach Zement-Merkblatt Betontechnik B 18 „Risse im Beton“, Bauberatung Zement, 02.2003, S. 1.
[167] ebenda, S. 2.

7	Verbundriss		Verlaufen parallel zu den Bewehrungsstäben. Diese Risse treten vor allem im Verankerungsbereich der Bewehrung auf.

METTKE[168] hat zudem die Beeinträchtigung der Rissarten hinsichtlich des Langzeitverhaltens bewertet. Nachstehende Tab. 50 gibt dazu einen Überblick. Außerdem wird hier auf den Abschn. 7.1 Typischen Schadensbilder verwiesen.

Tab. 50: Rissursachen und -arten[169]

RISSARTEN	RISSURSACHEN (Beispiele)	ERSCHEINUNGSFORM	EINSCHÄTZUNG DER BEEINTRÄCHTIGUNG DER DAUERBESTÄNDIGKEIT
TRENNRISSE BEI ZUG	Äußere Belastung, Äußere Temperatureinwirkung		●**
BIEGERISSE (ANRISSE)	Äußere Belastung, Äußere Temperatureinwirkung		●** ○*
SAMMELRISSE / S /	Äußere Belastung		●**
SCHUBRISSE (SCHRÄGRISSE)	Äußere Belastung		●** ○*
ZWISCHEN- ODER NEBENRISSE / Z /	Äußere Belastung		◐
OBERFLÄCHEN-RISSE	Frühschwinden (Schrumpfen), Schwinden, Treibvorgänge		○
LÄNGS- UND VERBUNDRISSE PARALLEL ZU BEWEHRUNGSSTÄBEN	Setzen des Frischbetons, Treiberscheinungen, Sprengwirkung infolge Bewehrungskorrosion, Frost, chem. Einwirkungen, Spaltzug um Bewehrungsstäbe		●***
SPALTRISSE	Temperaturspannungen (Abfließen durch Hydratationswärme, Schwinden des Neubetons)	 Wand (neu) Fundament (alt)	◐
SCHALENRISSE	Äußere Temperatureinwirkung, Temperaturspannungen		◐

* Bei Nichtunterschreitung Druckzonenhöhe 50 mm bzw. 2x Größtkorn ϕ
** Bei Rißbreite größer 0,5 mm
*** Bei Rißbreite größer 0,3 mm

Legende: ● stark ◐ mittel ○ gering

[168] Mettke, A.: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, Cottbus, 1995, S.114.
[169] ebenda, S. 114.

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. 51 dargestellt.

Tab. 51: Anforderungen an die Begrenzung der Rissbreite nach DIN 1045-1, Abschn. 11.2[170]

Expositionsklasse[171]	**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_k (vgl. Tab. 50) nicht überschreiten, ist für den dauerhaften Korrosionsschutz der Bewehrung nicht die Rissbreite selbst, sondern die Dicke und Dichte der Betondeckung 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 mm 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. 52).

Tab. 52: Zulässige Rissbreiten für Stahlbeton[172]

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

Zutreffend für den Einsatz im Hausbau

Die Messung der Rissbreite kann mit dem Strichstärken- bzw. Rissbreitenvergleichsmaßstab erfolgen. Diese Methode ermöglicht Messungen mit einer allgemein ausreichenden Genauigkeit von 0,05 mm.

[170] nach Zement-Merkblatt Betontechnik B 18 „Risse im Beton“, Bauberatung Zement, 02.2003, S. 4, überarbeitet.
[171] vgl. Abb. 46, Abschn. 6.3.3.3.
[172] nach Zement-Merkblatt Betontechnik B 18 „Risse im Beton“, Bauberatung Zement, 02.2003,S. 5.

Die Verwendung einer beleuchteten Risslupe erhöht die Ablesegenauigkeit bis zu 0,01 mm, was allerdings bei den meist unregelmäßigen Rissverläufen praktisch kaum nutzbar ist.

Beeinflussungen auf den Bauzustand der Bauteile durch Demontage- und TUL-Prozesse sind nicht immer auszuschließen und wurden im Zuge der Forschungsarbeiten der FG Bauliches Recycling 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. 33 und Tab. 47) 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 (vgl. auch Tab. 77, Abschn. 7.1). Auf die Ergebnisse der Untersuchungen zur Entwicklung des Bauzustandes während der Demontage- und TUL-Prozesse wird in den Abschn. 6.4 (Entscheidungsstufe 2 – Hauptprüfung) und 6.5 (Entscheidungsstufe 3 – Zusatzprüfung) näher eingegangen.

6.3.3 Baustoffliche und –technische Untersuchungen

6.3.3.1 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 flächig 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. 53: 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. 54: 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 Tab. 54 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 verschiedener Bauweisen und -arten an den Standorten Berlin-Marzahn, Gröditz, Weißwasser, Cottbus, Eggesin, Eberswalde, Magdeburg, Osterburg und Leinefelde 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[173]. 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“[174] aufgeführt. In der Studienarbeit „Statistische Auswertung der ermittelten Ergebnisse von Untersuchungen zur Betondruckfestigkeit und Karbonatisierungstiefe sowie Betondeckung an gebrauchten Betonfertigteilen“[175] wurden alle Ergebnisse aus Rückprall- und Bohrkernuntersuchungen zusammengefasst. Sie sind in nachfolgender Tab. 55 zusammengestellt.

Tab. 55: 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[176]. 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).

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

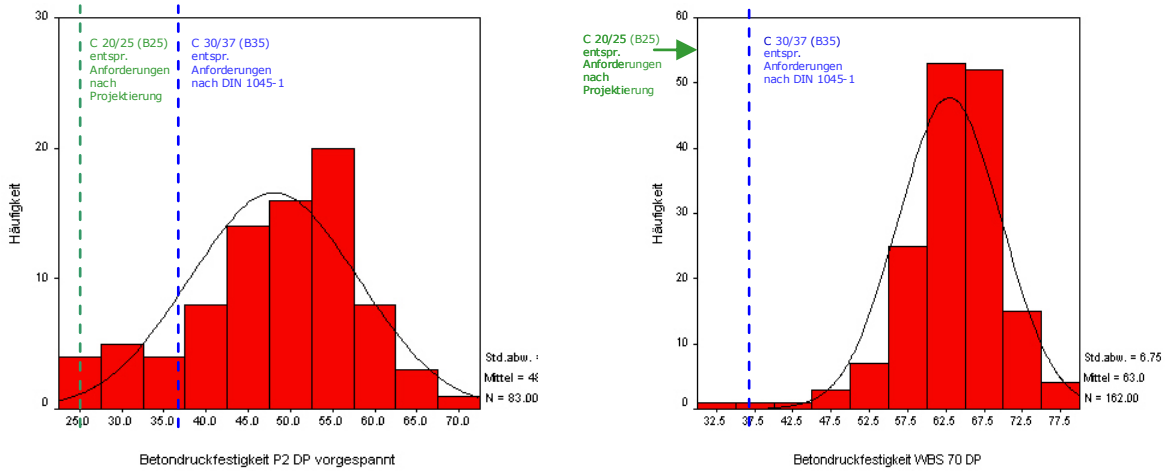


Abb. 36 : Häufigkeitsdiagramm ermittelter Druckfestigkeitswerte für Spannbetondeckenplatten P2 und WBS 70

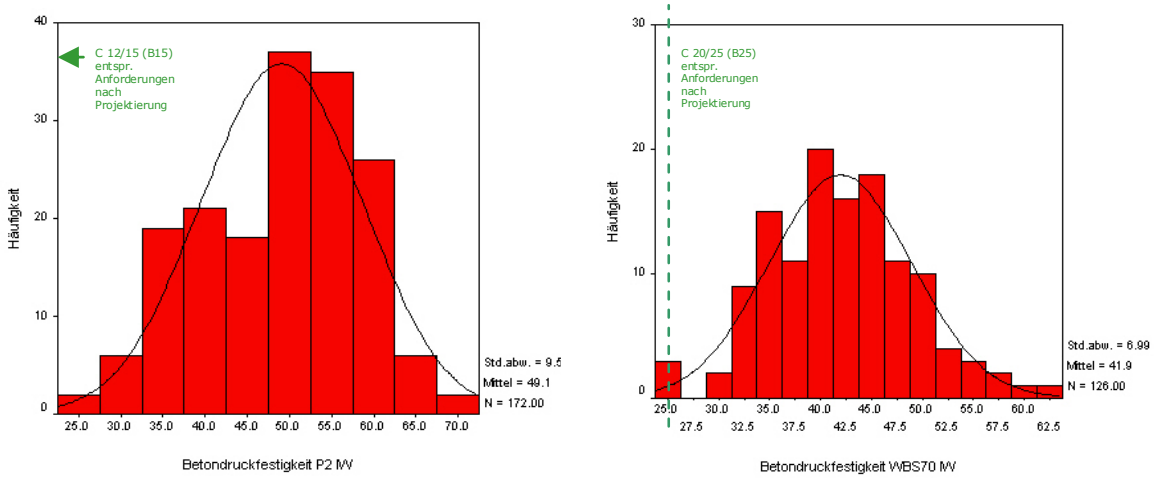


Abb. 37 : Häufigkeitsdiagramm ermittelter Druckfestigkeitswerte für Innenwandelemente P2 und WBS 70

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 De-

ckenplatten können der Festigkeitsklasse C 30/37 zugeordnet werden. Die Wandelemente erfüllen sogar die Anforderungen an die Betonklasse C 35/45.

Zusammenfassung der Bewertung zur Druckfestigkeit

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. Aus diesem Grund wird im Rahmen des Konformitätsnachweises für eine Wieder- resp. Weiterverwendung der Betonbauteilen empfohlen, die Betondruckfestigkeit stichpunktartig zu überprüfen.[177]

6.3.3.2 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:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 + H_2O \longrightarrow CaCO_3 + 2H_2O$$[178].

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[179]:

- der Art, Konzentration und Einwirkintensität der angreifenden Medien (Kohlendioxid[180], 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 % am 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 ent-

[177] 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.
[178] vgl. Hilsdorf, Hubert K.: Dauerhaftigkeit von Betonen, Stuttgart, 1991, S.21.
[179] vgl. Mettke, A.: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, Cottbus, 1995, S. 100 ff.
[180] 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.]

gegen[181]. 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:

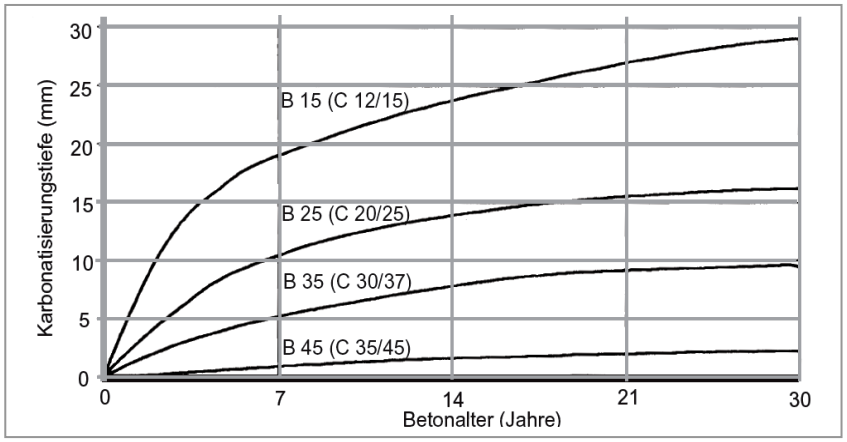


Abb. 38 : Entwicklung der Karbonatisierungstiefe in Abhängigkeit von der Festigkeitsklasse und der Zeit[182]

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[183] (s. Abb. 38).

Prüfverfahren

Die Untersuchungen zur Karbonatisierungstiefe wurden an frisch gezogenen Bohrkernen mittels 0,1 %-iger farbloser Phenolphtalein-Lösung vorgenommen (s. Abb. 39).

Abb. 39 : Darstellung eines Bohrkerns (Deckenelement WBS 70, Dresden) nach der Bestimmung der Karbonatisierungstiefe – hier: alkalische (unversehrte) Bereiche mit violetter Verfärbung

[181] Ettel, W.-P.: Beton, in: Baustoffkenntnis; Hrsg. Scholz, Wilhelm; Wiese, Wolfram, 2003, S. 352.
[182] Röhling, St.; Eifert, H.; Kaden, R.: Betonbau: Planung und Ausführung, Berlin, 2000, S. 328.
[183] Mettke, A.: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, Cottbus, 1995, S. 102.

Untersuchungsumfang und Ergebnisse zur Karbonatisierung

Von der 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.

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

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

Tab. 56: 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

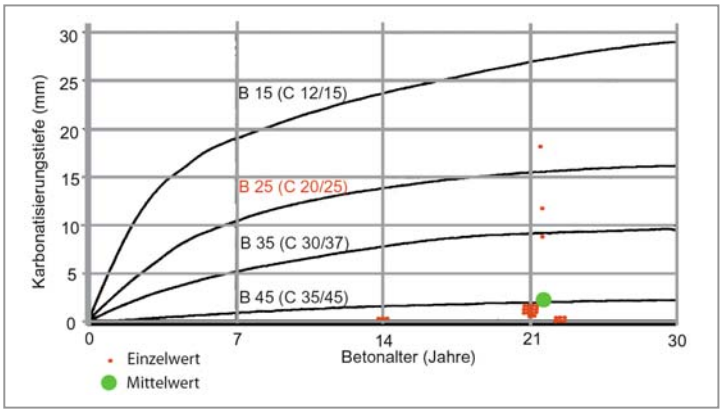


Abb. 40 : Darstellung der Karbonatisierungstiefe der Deckenplatten des Typs WBS 70

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. 57: 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

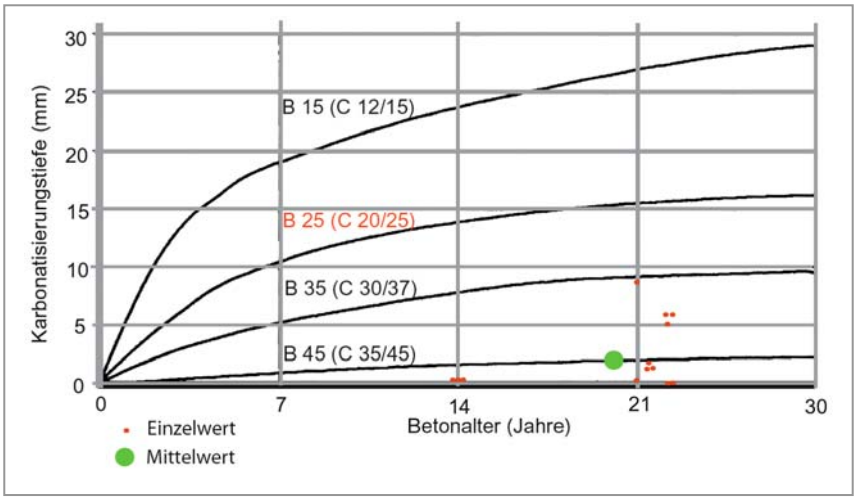


Abb. 41 : Karbonatisierungstiefe der Innenwände des Typs WBS 70

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. 6.3.3.3) 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. 58: 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

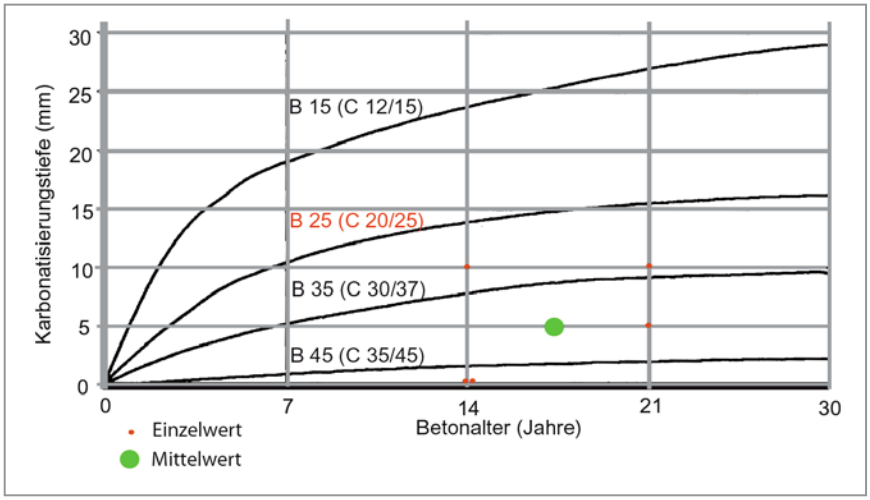


Abb. 42 : Karbonatisierungstiefe der Außenwände des Typs WBS 70

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. 59: 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	----------	----------	----------

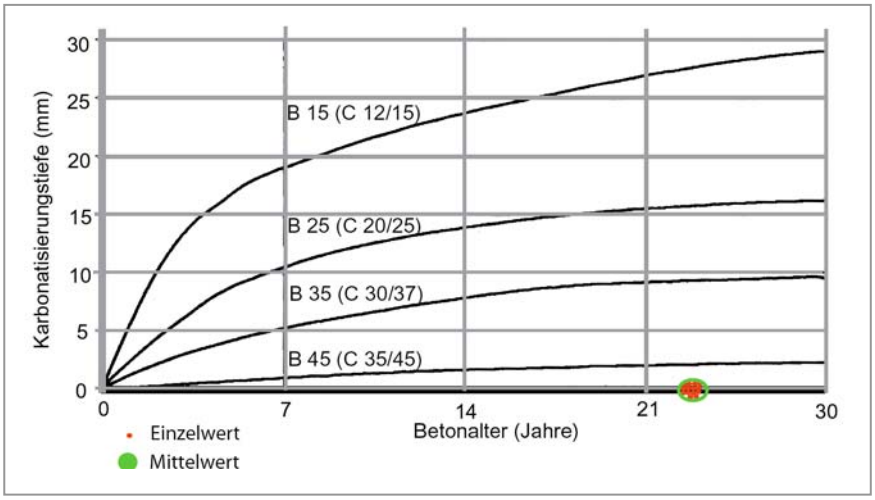


Abb. 43 : Darstellung der Karbonatisierungstiefe der Deckenplatten des Typs P2

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

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

Tab. 60: 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	----------	----------	----------

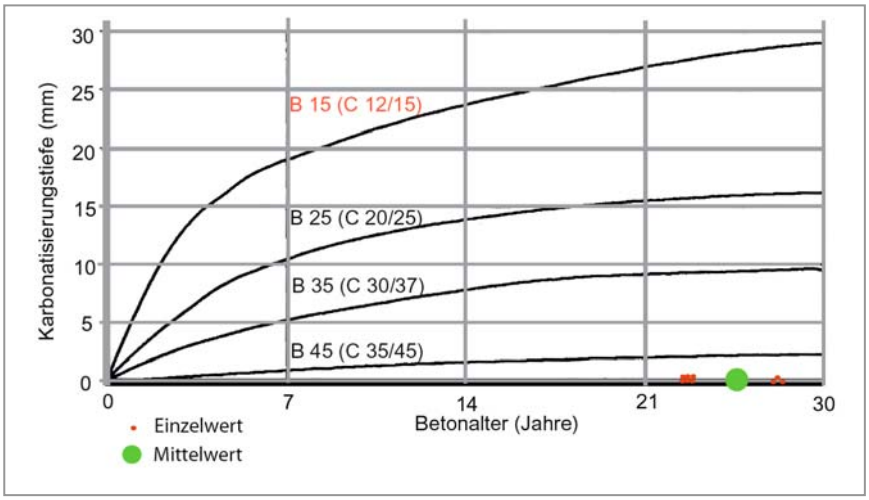


Abb. 44 : Darstellung der Karbonatisierungstiefe der Innenwände des Typs P2

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

Tab. 61: 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

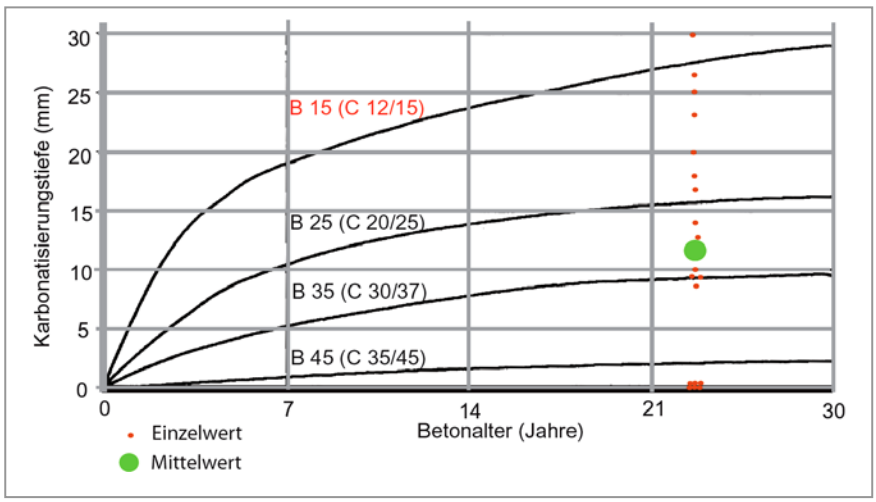


Abb. 45 : Karbonatisierungstiefe der Außenwände des Typs P2

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. 38). 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.

6.3.3.3 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).[184]

[184] s. Mettke, A.: Qualitätsmerkmale gebrauchter Betonelemente – Potenziale und Facetten der Nachnutzung, in: Alte Platte – Neues Design – Teil 2, Hrsg. A. Mettke, 2007.

MINDESTBETONDECKUNG, ABHÄNGIG VON DER EXPOSITIONSKLASSE

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

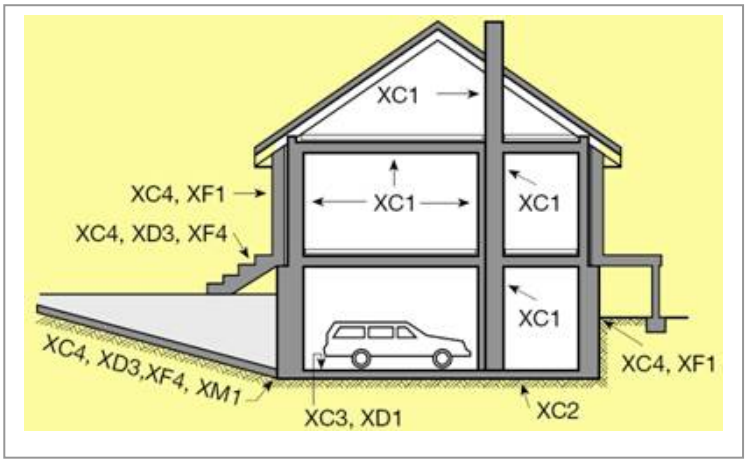


Abb. 46 : Maßgebliche Expositionsklassen im Wohngebäudebau[185]

Tab. 62: Maßgebliche Expositionsklasse[186] 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		

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.

[185] Zement-Merkblatt Betontechnik, B9.
[186] nach DIN 1045-1:2001-07, Tab. 4.

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[187]

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.

Auswertung

Der Gesamtauswertung liegen die durch die Mitarbeiter der Fachgruppe Bauliches Recycling einzeln ausgewerteten Messdaten an Elementen der Bauserien WBS 70, P2 und PN 36-NO 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

[187] 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.

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. 47).

Abb. 47 : 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. 48).

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.

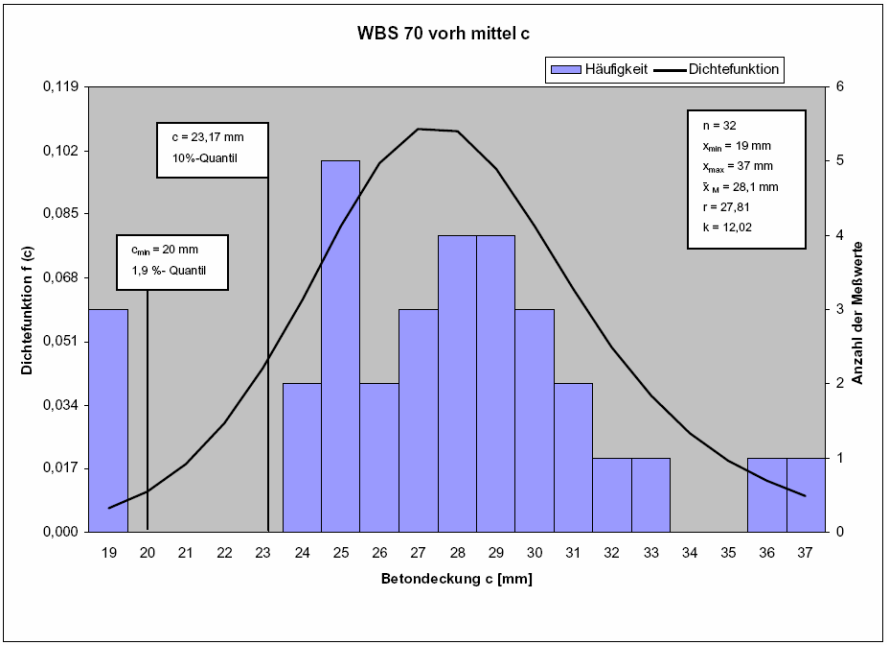


Abb. 48 : Graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung der vorhandenen mittleren Betondeckung c von 32 Spannbetondeckenplatten des Typs WBS 70

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[188,189].

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 Errechnung 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.

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

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. 49).

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.

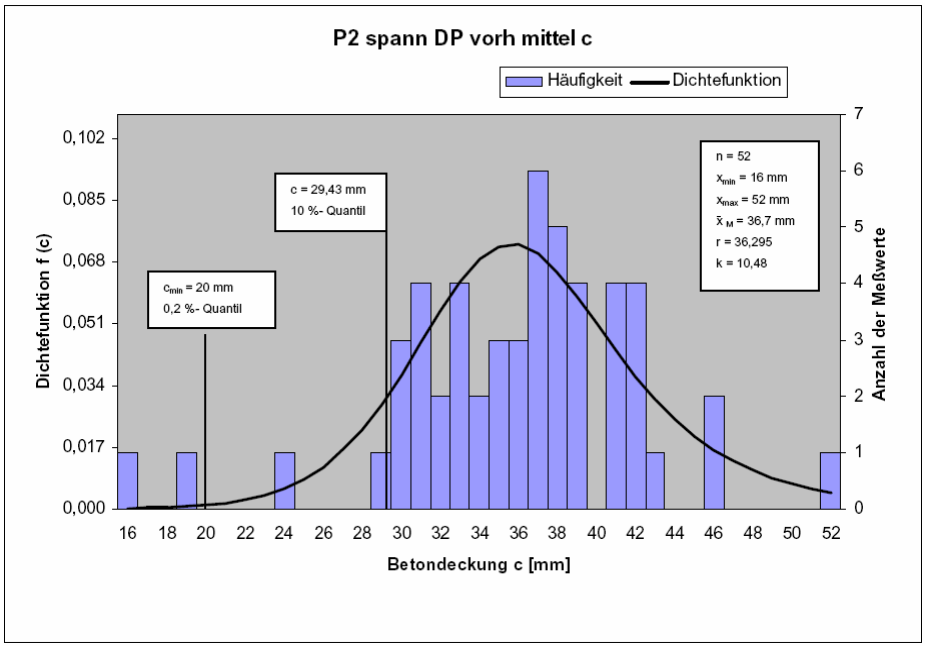


Abb. 49 : Graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung der vorhandenen mittleren Betondeckung c von 52 Spannbetondeckenplatten des Typs P2

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. 50).

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.

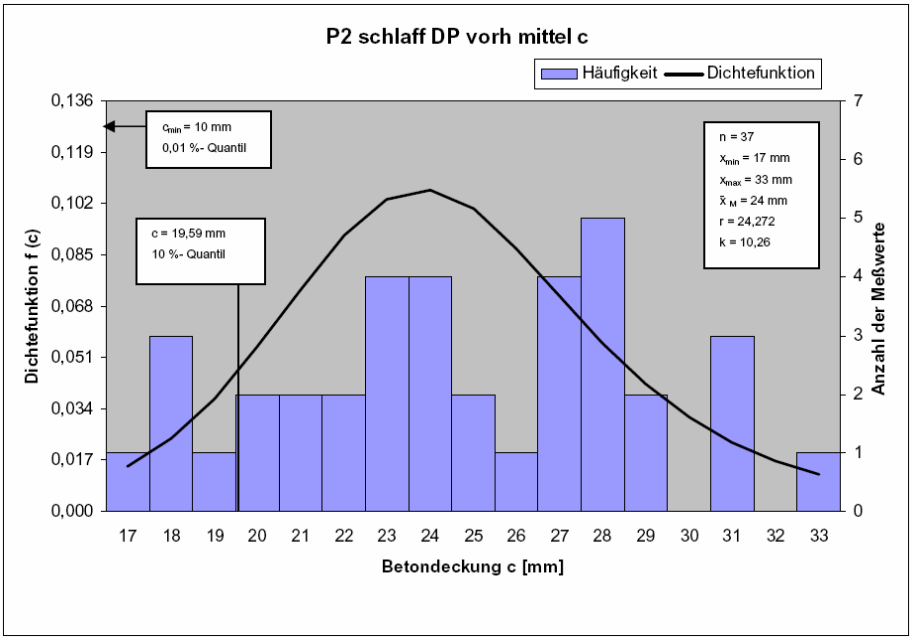


Abb. 50 : Graphische Darstellungen der Häufigkeitsverteilung der vorhandenen mittleren Betondeckung c von 37 schlaff bewehrten Deckenplatten der Typenserie P2

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. 51).

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.

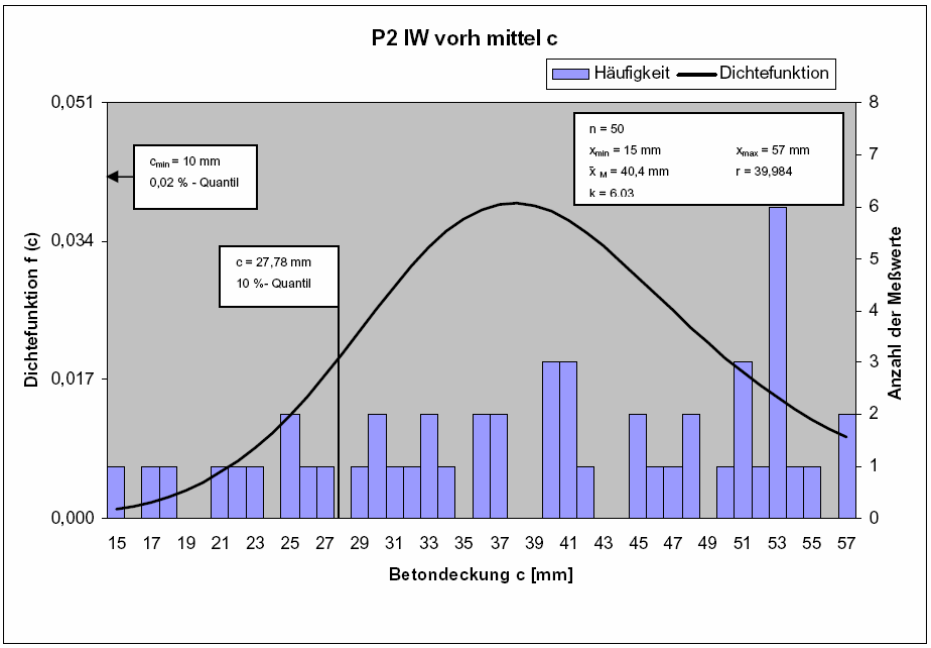


Abb. 51 : Graphische Darstellungen der Häufigkeitsverteilung der vorhandenen mittleren Betondeckung c von 50 Innenwänden der Typenserie P2

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[190,191]. 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. 52).

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.

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

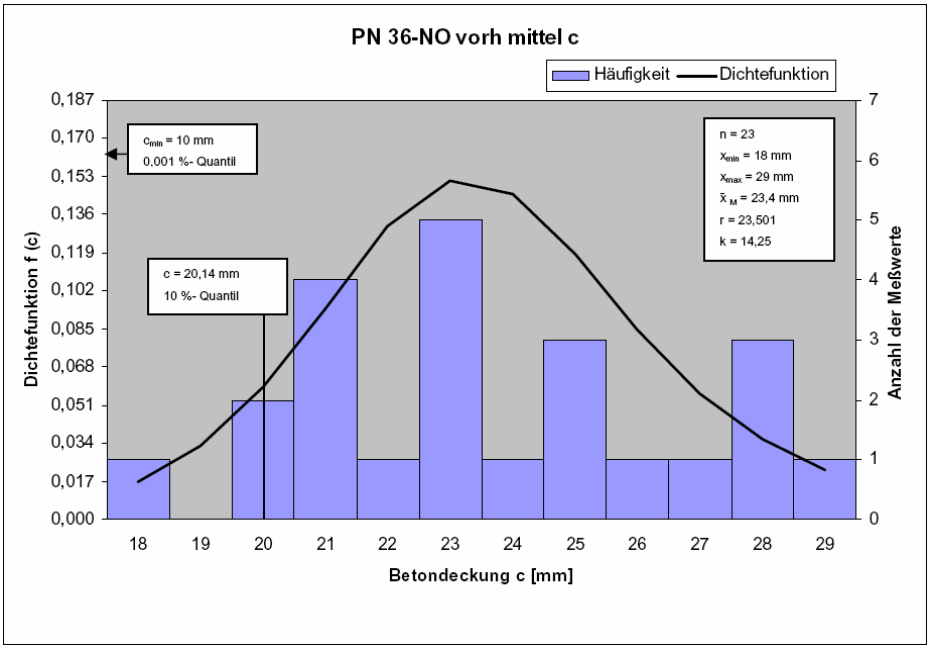


Abb. 52 : Graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung der vorhandenen mittleren Betonfestigkeit c von 23 Geschoßdecken des Bautyps PN 36-NO

Zusammenfassung der Bewertung

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

Tab. 63: 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 Abschn. 7 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. 64). Somit ist bei keinem der untersuchten Altbetonbauteile der Bewehrungsstahl durch Korrosion gefährdet.

Tab. 64: Vergleich der Untersuchungsergebnisse zur Betondeckung und Karbonatisierung

Baureihe	Bauteil	Betondeckung		Karbonatisierungstiefe		Korrosionsschutz
		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

6.3.3.4 Untersuchungen zur Tragfähigkeit[192]

6.3.3.4.1 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. 65: 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

[192] sofern nicht anders angegeben, rechnerisch ermittelt durch Doz. Dr.-Ing.- R. Schmiedehausen Ingenieurbüro, Cottbus.

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[193] 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:

Tab. 66: 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

[193] Dr. Schmiedehausen, R., Ingenieurbüro Cottbus, mehrere Prüfberichte i.A. der FG Bauliches Recycling.

Tab. 67: Im eingebauten Zustand / in situ belastete Deckenplatten

An-zahl	Deckenplatte	Baualter [Jahre]	Elemente-Nr.	Anzahl Spanndräh-te [Stck.]	Spannstahl-querschnitt [mm²]	Ermittelte Betondruck-festigkeit 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[194]; 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[195] 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. 67).

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[196] bestimmt (vgl. Abschn. 6.3.3.1).

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).

Aus diesem Grund sowie den vorangegangenen Untersuchungen (in allen Fällen wurden ausreichende Betonfestigkeiten erzielt, vgl. Abschn. 6.3.3.1) wurde der rechnerische Nachweis 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“[197] 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. 65). Die Elemente wurden für die Betongüteklasse B 160 und Betonstahlklasse St A-I projektiert. Für die Nachrechnung wurde B 15/BSt I angesetzt.[198] Des Weiteren wurden schlaff bewehrte Deckenplatten aus der Typenserie P2 untersucht (vgl. Tab. 68). In Abhängigkeit vom Baujahr kamen entweder Betonstahl A-I, glatter Rundstahl oder A-III, gerippter Rundstahl,

[194] TGL 11422: 1964-03 Bauwerke und Fertigteile aus Beton und Stahlbeton; Berechnungsgrundlagen, Traglastverfahren.
[195] 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.
[196] DIN 1048-2: 1999-06 Prüfverfahren für Beton; Festbeton in Bauwerken und Bauteilen.
[197] 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.
[198] Schmiedehausen, R.: Rechnerische Nachweise für ausgewählte Dachplatten, Deckenplatten und Wandfertigteile von Wohngebäuden des Typs PN 36-NO, Prüfbericht i.A. der FG Bauliches Recycling, 2001.

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. 68 entnehmbar.

Tab. 68: 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 14 cm Stahlbeton 0,14 m x 25 kN/m³ 10 cm Stahlbeton 0,10m x 25 kN/m³	3,50 kN/m²	3,50 kN/m²	3,50 kN/m²	3,50 kN/m²	2,50 kN/m²
zusätzliche Eigenlast g1 Dämmschicht, Folie, Estrich, Belag Dämmschicht, Belag, Fliesen in Küche – Bad – Bereich	1,00 kN/m²	1,00 kN/m²	2,00 kN/m²	1,60 kN/m² (inkl. Putz)	0,10 kN/m²
Gesamt g	**4,50 kN/m²**	**4,50 kN/m²**	**5,50 kN/m²**	**5,10 kN/m²**	**2,60 kN/m²**
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					

6.3.3.4.1.1 Ergebnisse der rechnerischen Nachweise

Die Ergebnisse stellen sich zusammengefasst wie folgt dar[199]:

Tab. 69: 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. 69, Zeile 2). Die Stahlspannungen liegen im zulässigen Bereich (s. Tab. 69, 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[200] 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, Nachprü-

[199] Zusammenfassung der Ergebnisse aus mehreren Prüfberichten von Dr. Schmiedehausen, R.; Ingenieurbüro Tragwerksplanung, Cottbus.
[200] vgl. Schmiedehausen, R.: Was sind gebrauchte Betonfertigteile eigentlich heute noch wert? in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, Cottbus, 2005, S. 147.

fung 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. 70: 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.

Tab. 71: 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.

6.3.3.4.1.2 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[201], 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 fünfmonatigen Zwischenlagerung im Außenbereich der FMPA (vgl. Abb. 53) erfolgten die Belastungsversuche im Technikum. Die experimentelle Überprüfung des Tragverhaltens erfolgte unter anhaltsweiser Anwendung der DIN EN 1356:1997-2. Es stand eine 1000 kN-Prüfzylinderanlage mit elektronischer Steuerung der Genauigkeitsklasse 1 zur Verfügung.

Spannbetondeckenplatten

Die Eckdaten der Spannbetondeckenplatte 22006 sind der Tab. 66 zu entnehmen. Die Platte wies keine Beschädigungen auf, mit Ausnahme demontagebedingter geringfügiger Abplatzungen an den Plattenlängsrändern (s. Abb. 53).

Abb. 53 : Zwischengelagerte Deckenplatten im Außenbereich

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

Die Belastungsanordnung ist nachstehender Abb. 54 zu entnehmen:

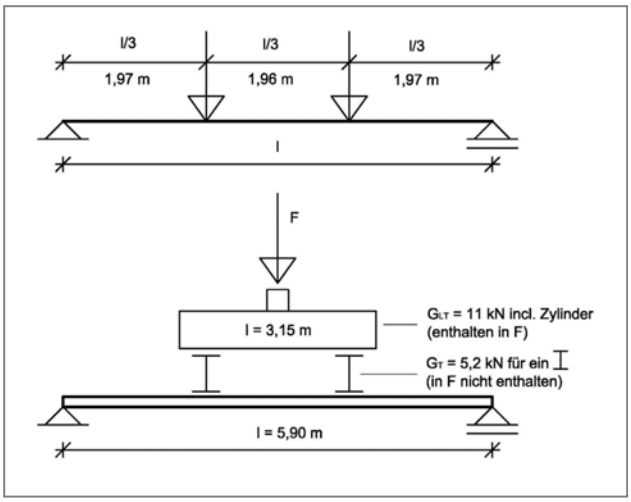


Abb. 54 : Belastungsanordnung und Einrichtung Spannbetondeckenplatte 22 006 (li.) und Versuchseinrichtung (re.)

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 ≈24,6 kNm/Platte

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

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

F = 2 · (12,5 kN – 5,2 kN) = 14,6 kN

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.[202]

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. 55 wiedergegeben.

[202] 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.

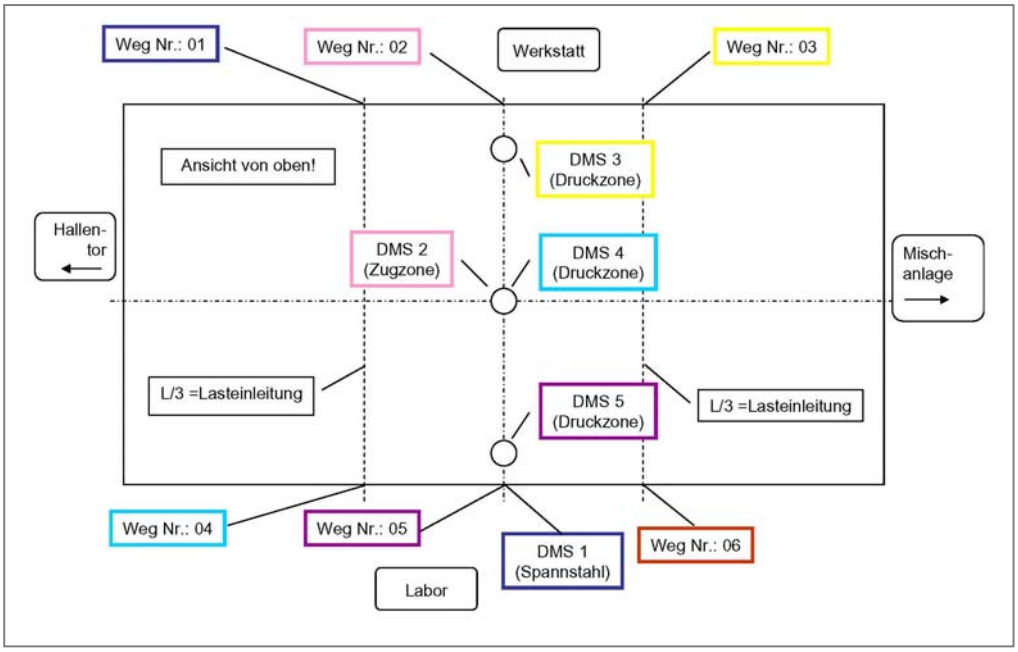


Abb. 55 : Lage der Krafteinleitungslinien und Messstellen zur Untersuchung des Tragverhaltens

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. 56, li.). Etwa in Feldmitte wurde die Dehnung des Spannstahls (DMS 1) unter Lasteinwirkung erfasst. Dazu war es erforderlich, den Plattenlängsrand zu öffnen (s. Abb. 56, mi.). Zur Prüfung evtl. Querkraftspannungen wurden im Auflagerbereich der Deckenlängsseiten Dehnmessstreifen in Form einer Rosette geklebt (Abb. 56, re.).

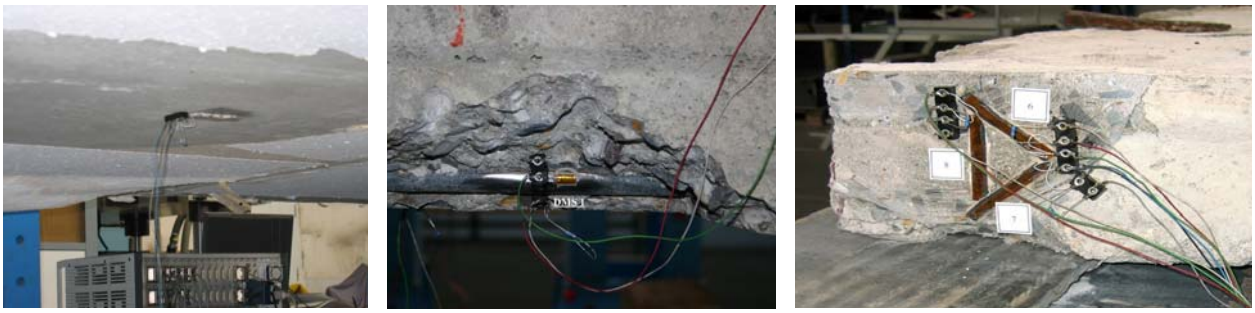


Abb. 56 : Dehnmessstreifen in der Zugzone (li.); freigelegter Bereich zur Ermittlung der Dehnung des Spannstahles unter Lasteinwirkung (mi.); Messung der Querkraftspannung (re.)

Durchführung der Prüfung

Aus dem Last-Zeit-Diagramm (s. Abb. 57) 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.[203]

Folgende Zeitintervalle wurden je Laststufe festgelegt:

- Aufbringen der Last 120 Sekunden
- Konstant halten der Last 180 Sekunden

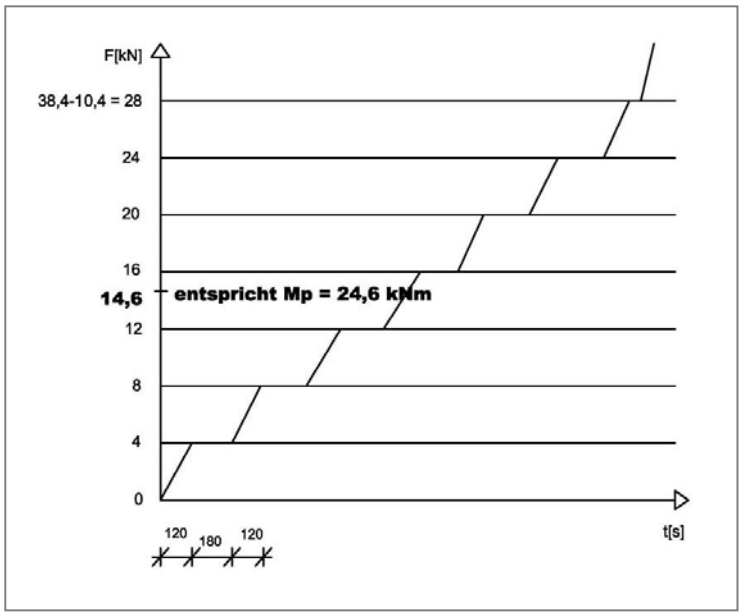


Abb. 57 : Last-Zeit-Diagramm, anlehnend an DIN EN 1356: 1997-2

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 1,5-fachen Gebrauchslast (s. Abb. 58), 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.

[203] 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.

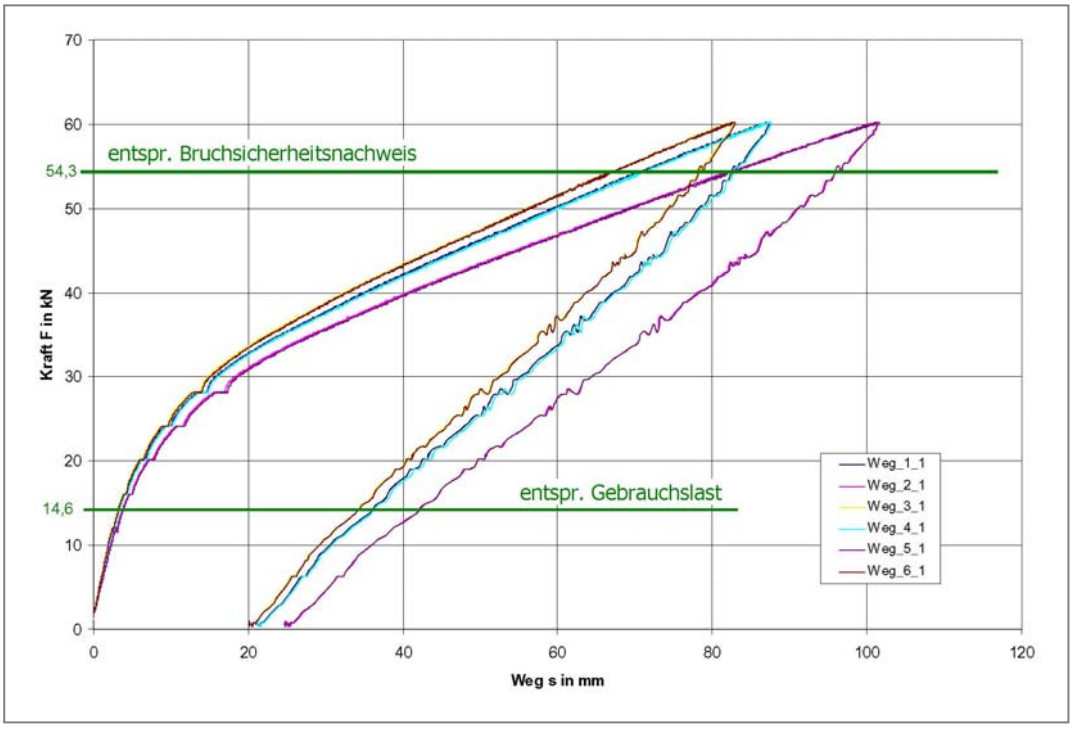


Abb. 58 : Kraft-Weg-Diagramm Spannbetondeckenplatte 1, Elemente-Nr. 22006

- 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. 58),
- 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.

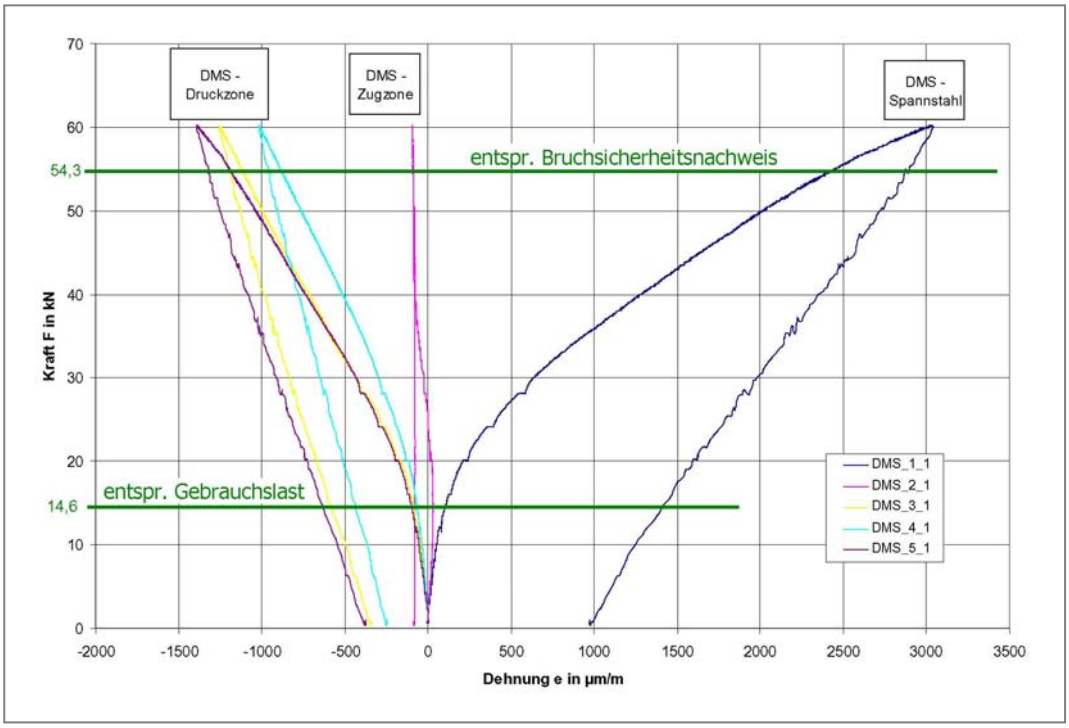


Abb. 59 : Kraft-Dehnungs-Diagramm Spannbetondecke 1, Elemente-Nr. 22006

Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse für Spannbetondeckenplatten

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.[204]

[204] 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. 60):

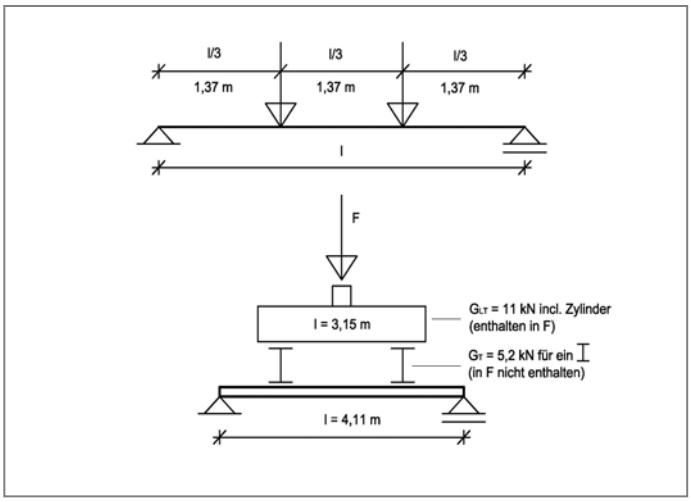


Abb. 60 : Kraft-Dehnungs-Diagramm Spannbetondecke 1, Elemente-Nr. 22006

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

M_q = 21,12 kNm/m

Eigenlast = 0,14 · 25 = 3,50 kN/m²

Fußboden = 1,50 kN/m²

Verkehrslast = 5,00 kN/m²

q = 10,00 kN/m²

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

folglich

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

Es wirkt je

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

res. Kraft

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

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

folglich

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

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. 61) erfolgte die Belastung. Die Lage der Krafteinleitungs- und Messstellen ist analog der Spannbetondeckenplatte (vgl. Abb. 55).

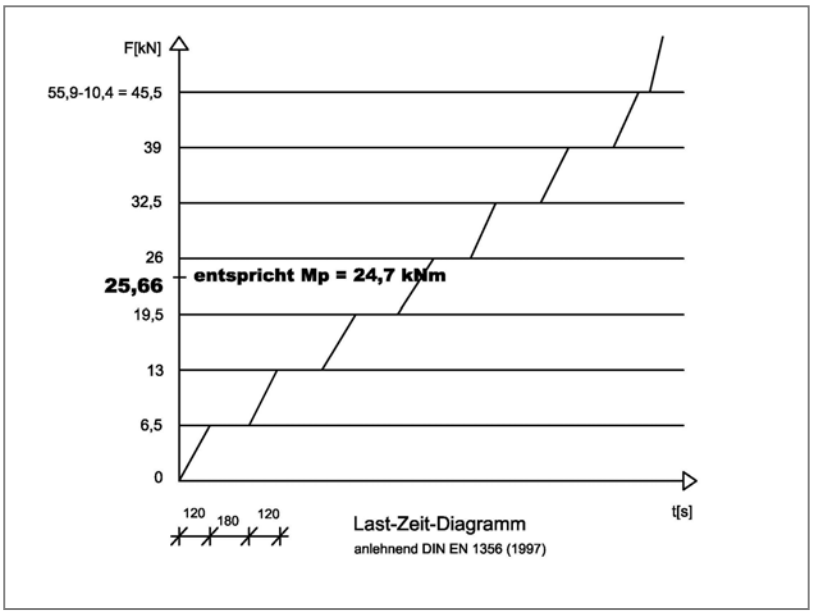


Abb. 61 : Last-Zeit-Diagramm anlehnend an DIN EN 1356: 1997-02

Versuchsergebnisse[205]

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.

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.

[205] 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.

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. 62). Gleiches gilt für die Stahldehnungen sowie die Verformungen des Betons in der Druck- und Zugzone (s. Abb. 63).

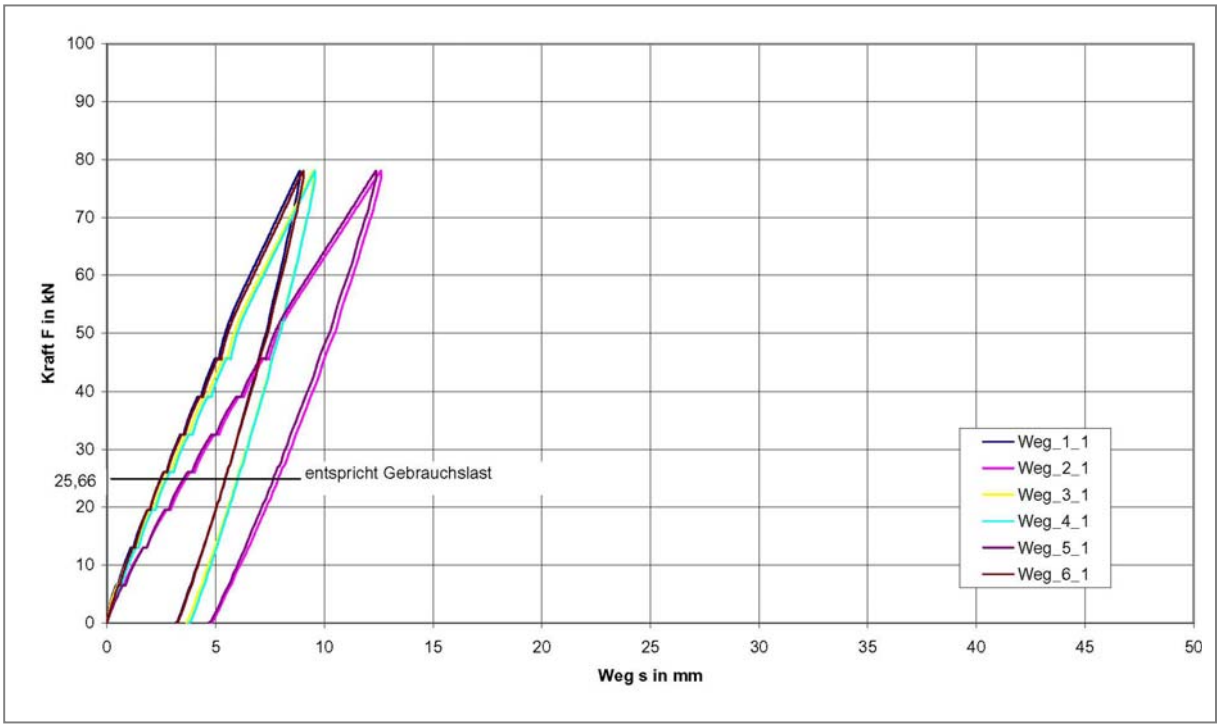


Abb. 62 : Kraft-Weg-Diagramm Stahlbetondecke 2, Elemente-Nr. 21 120

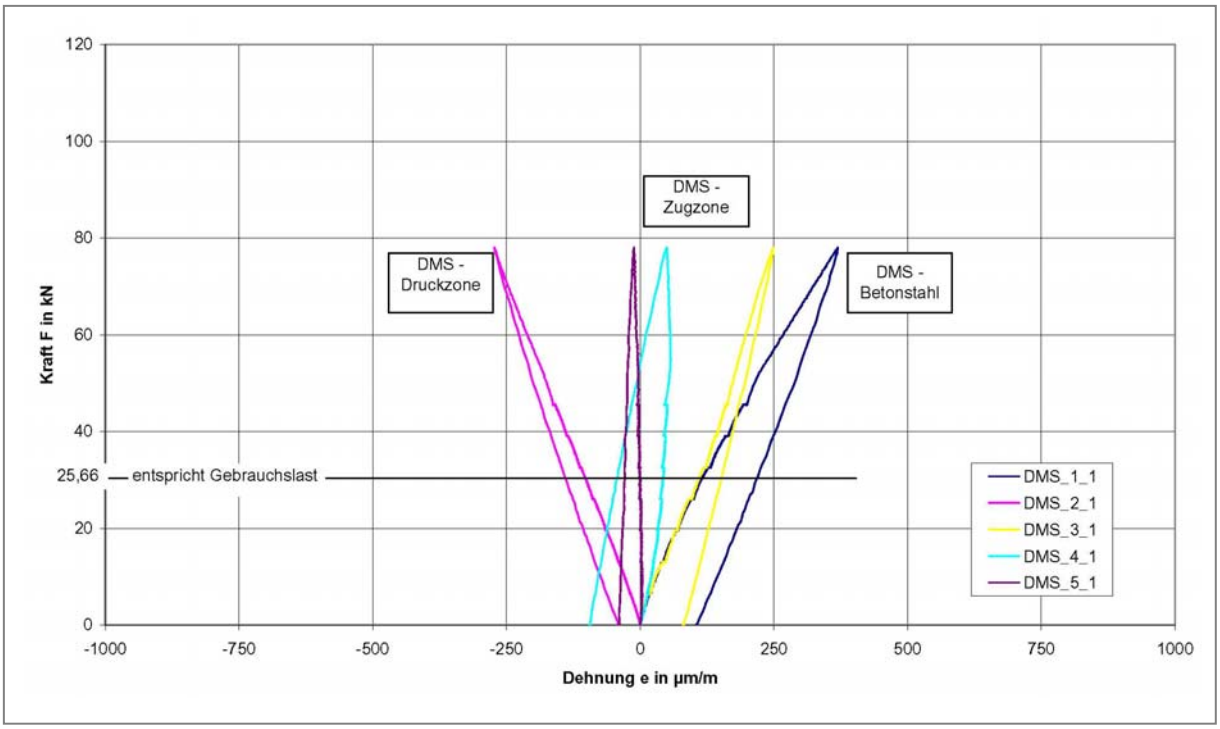


Abb. 63 : Kraft-Dehnungs-Diagramm Stahlbetondecke 2, Elemente-Nr. 21 120

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 = 75 kN (vgl. Abb. 64). Gleichzeitig ergab sich erst jetzt eine überproportionale Zunahme der Stahldehnungen (vgl. Abb. 65). 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.

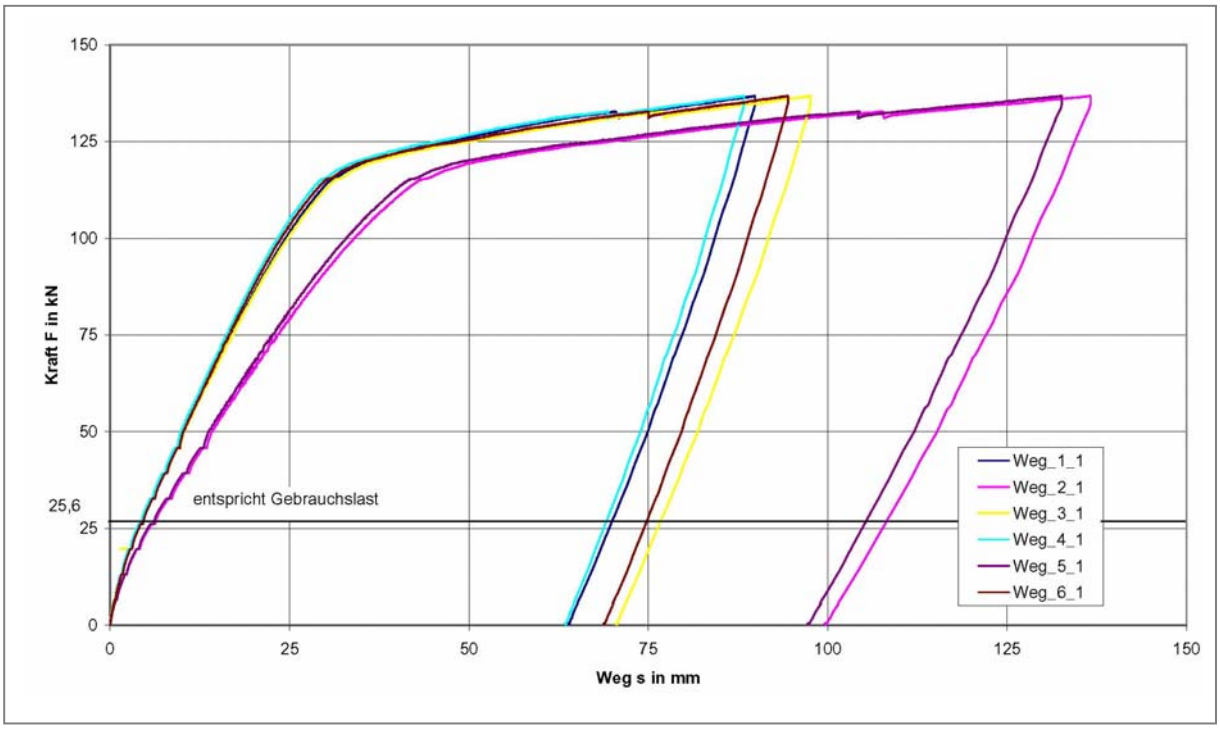


Abb. 64 : Kraft-Weg-Diagramm Stahlbetondecke 3, Elemente-Nr. 21 120

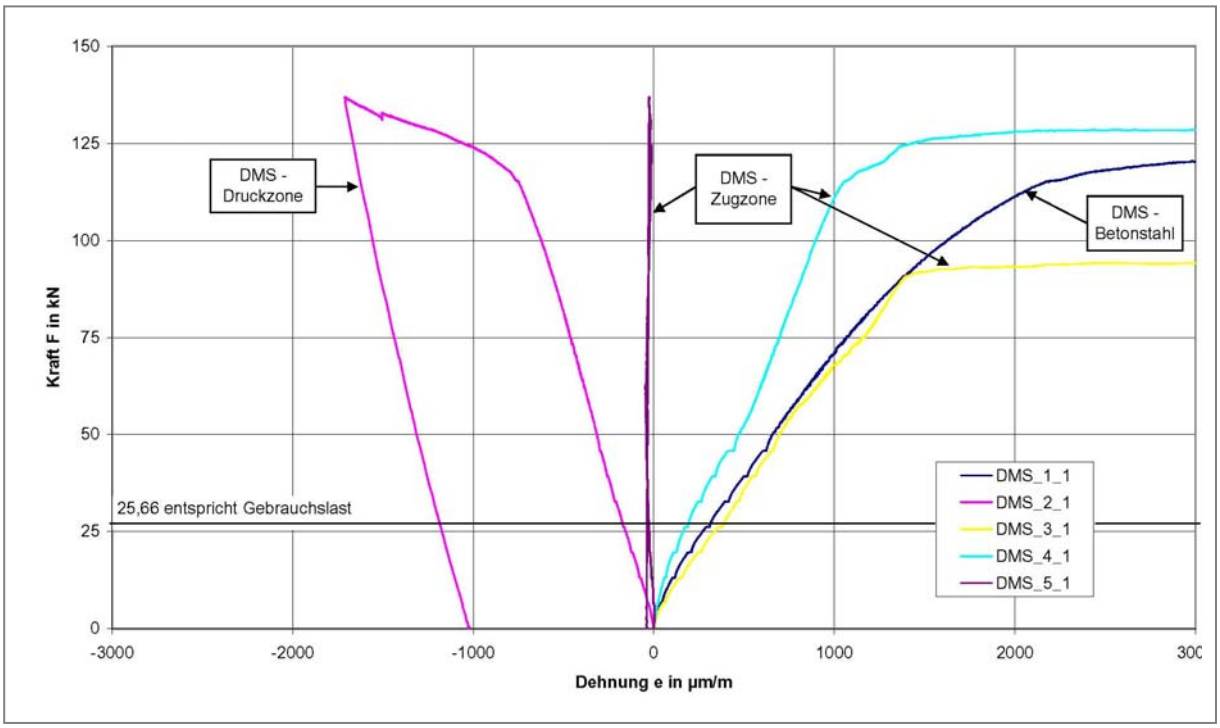


Abb. 65 : Kraft-Dehnungs-Diagramm Stahlbetondecke 3, Elemente-Nr. 21 120

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.

Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse für Stahlbetondeckenplatten

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

6.3.3.4.2 Bewertung der Innenwände

- Innenwandplatten[206]

Zur Zeit der Bauerrichtung war für die Bemessung bzw. für die Ermittlung der zulässigen Wandbelastung außer TGL 11422 zusätzlich die Vorschrift „Bauten in Montagebauweise“[207] 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.

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.

6.3.3.5 Permeabilität, totale Porosität, Wassereindringtiefe

Für die Wiederverwendung von Altbetonelementen im Wohnungsbau kann davon ausgegangen werden, dass die Parameter Permeabilität und Wassereindringtiefe nicht relevant sind; 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“[208] an Innenwänden und Deckenplatten der WBS 70/11[209] ge-

[206] 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.
[207] WBS 70 Bauten in Wandkonstruktion in Montagebauweise, Vorschrift (1977), Schriftenreihe der Bauforschung, Reihe Wohn- und Gesellschaftsbauten, Heft 34, Berlin.
[208] Mettke, A.; Czyganowsky, J.; Heyn, S.: 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.
[209] 11-geschossiges Wohngebäude der Typenserie WBS 70.

prüft. Es wurden jeweils 2 Prüfkörper/Bohrkerne von einem Element entnommen. Geprüft wurden nachstehende Elemente mit folgenden Ergebnissen.[210]

Tab. 72: Ergebnisse der Beprobungen bzgl. Permeabilität, totale Porosität, Wassereindringtiefe, Karbonatisierungstiefe

	Betonfestigkeit lt. Projektierungsjahr	Durchlässigkeitsbeiwert 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

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.

Die ermittelten Wassereindringtiefen an den Betonproben liegen im Bereich zwischen 1,3 cm bis 2,4 cm. Die Werte unterschreiten damit die nach ZTV-W gemäß DIN EN 12390-8:2001-02 angegebenen Wassereindringtiefen von max. 3 cm.

Die gemessene totale Porosität an den Betonproben (= der Anteil des gesamten Porenvolumens am Gesamtvolumen) streut zwischen 6,5 % und 15,6 %. Auch diese Werte weisen auf einen qualitativ hochwertigen Beton hin, denn als Richtwert für einen dauerhaften Beton gilt < 16 %[211].

[210] Prüfbericht - Ermittlung Durchlässigkeitsbeiwert und totale Porosität: IBeWa-Ingenieur-Partnerschaft für Bergbau, Wasser und Deponietechnik, Freiberg, Dez. 2004; Ermittlung Wassereindringtiefe, Karbonatisierung: FMPA Cottbus.
[211] Mettke, A.: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, Cottbus, 1995, S. 92.

6.3.4 Bauphysikalische Untersuchungen

An Gebäude werden bestimmte bauphysikalische Anforderungen gestellt, wie an[212]:

- 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[213] - Energiesparverordnung
- DIN 4102 – Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen

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

6.3.4.1 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[214].

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 Belästi-

[212] 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.

[213] 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]

[214] Verbesserung des Schallschutzes von Wohngebäuden im Bestand: www.insurance-and-finance.de/download/Leitfaden-Bauen16-4.pdf aufgerufen am 02.11.2007.

gungen vor Schall zu schützen. Auf dieses Schutzniveau beziehen sich nachstehende Ausführungen[215]. 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. Hauptpodeste 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.
  Alle Treppenelemente besitzen eine Terrazzooberfläche.[216]

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. 73 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.

[215] Mettke, A.: Wieder- und Weiterverwendung von gebrauchten Betonfertigteilen, in: Beton+Fertigteil-Jahrbuch 2003, S.70ff.
[216] Einen repräsentativen Überblick über die konstruktive Ausbildung der Bauteile für den Gebäudetyp P2 vermittelt Abschn. 5.3.

Tab. 73: Anforderungen und Ist-Werte zum Luft- und Trittschallschutz für Bauteile des P2-Typs (Standardkonstruktion)[217]

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

Auf Grundlage der messtechnischen Untersuchungen zum praktisch erreichten Schallschutzniveau basiert folgende Situationsbewertung[218]:

- 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.

[217] zusammengefasst aus: Jackisch, R.: Rechnerischer und messtechnischer Nachweis der Luft- und Trittschalldämmung von Standardkonstruktionen des Typs P2, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, 2002 und Vergleich mit Baasch, H.; Paap, H.; Rietz, A.: Sanierungsgrundlagen Plattenbau, 1999 Abschn. 4.3.3.
[218] 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.

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.

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 zum Schallschutz

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[219] 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. 73). Als Ursache wurden Bau- und Verarbeitungsmängel aber auch konstruktive Zusammenhänge festgestellt. Auf bauakustische Sanierungs- oder Verbesserungsmaßnahmen hinsichtlich der Wiederverwendung wird in Abschn. 7.3.3 hingewiesen.

6.3.4.2 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[220]), Decke zum belüfteten Dach mit Regelaufbau (14 cm Rohdecke, 1 Lage Dachpappe lose verlegt, 4,5 cm Mineralwollematten) der Gebäudeserie P2[221]. 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-

[219] 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.
[220] 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.
[221] konstruktive Merkmale s. auch Abschn. 5.

03) gegenüber gestellt. Die Ergebnisse zum Wärmedurchlasswiderstand sind in nachstehender Tab. 74 zusammengefasst.

Tab. 74: Wärmeschutz – Bewertung der Bestandssituation[222]

	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[223]:

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.

[222] zusammengefasst nach: Grosch, V.; Pöthig, St.: Wärmeschutz von Standardkonstruktionen des Wohnbautyps P2, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, 2002.
[223] ebenda, S. 30 f.

Es besteht somit grundsätzlich ein erhöhtes Risiko für Tauwasser- und Schimmelpilzbildung. Besonders gefährdet sind dabei die Raumecken, die Fensterlaibungen und der Anschluss Außenwand-Kellerdecke. Wie aus den Infrarotaufnahmen erkennbar ist, treten hier die niedrigsten raumseitigen Oberflächentemperaturen auf.

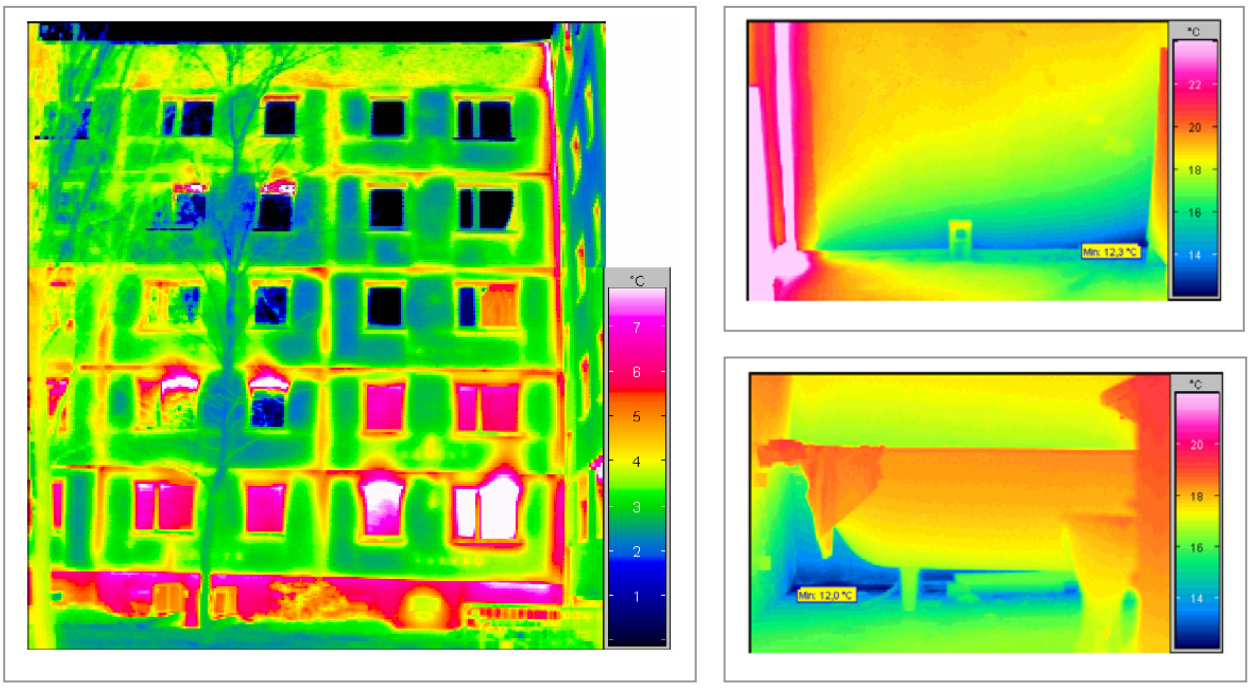


Abb. 66 : Infrarotaufnahmen einer Gebäuderückseite (li.); Anschluss Giebelaußenwand-Kellerdecke EG im Kinderzimmer (re. oben), im Bad (re. unten)

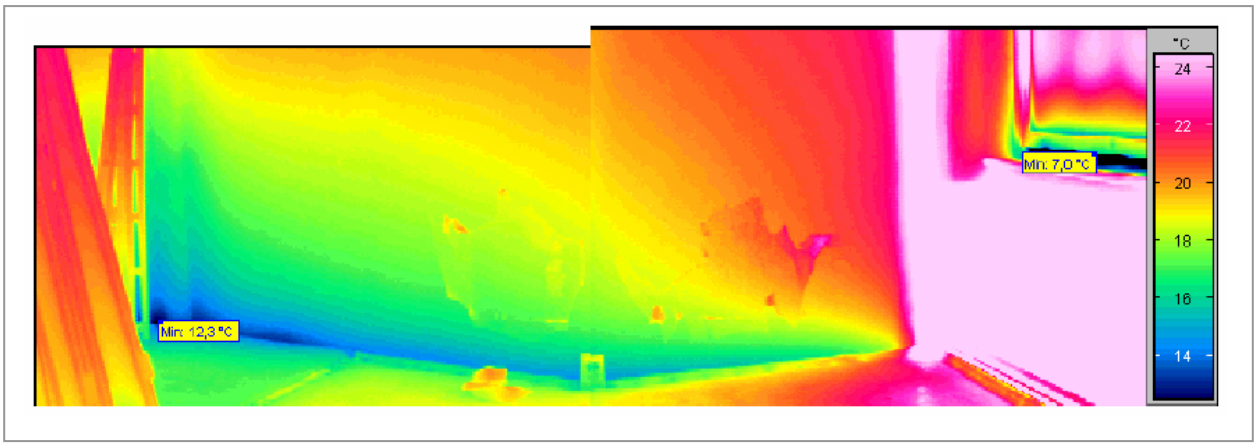


Abb. 67 : Infrarotaufnahmen Anschluss Giebelaußenwand-Kellerdecke EG im Wohnzimmer

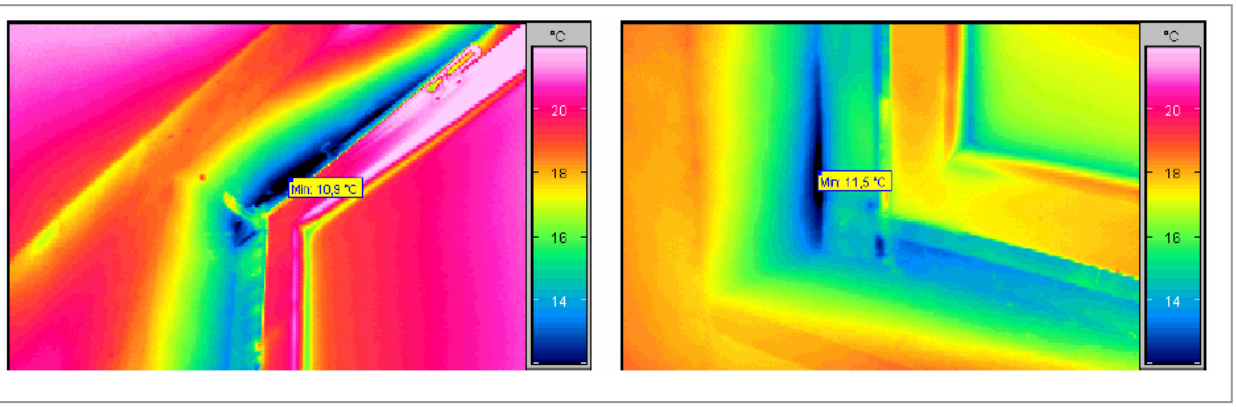


Abb. 68 : Typische Wärmebrücken und Luftundichtheiten an Fensteranschlüssen mit Bestandsfenstern

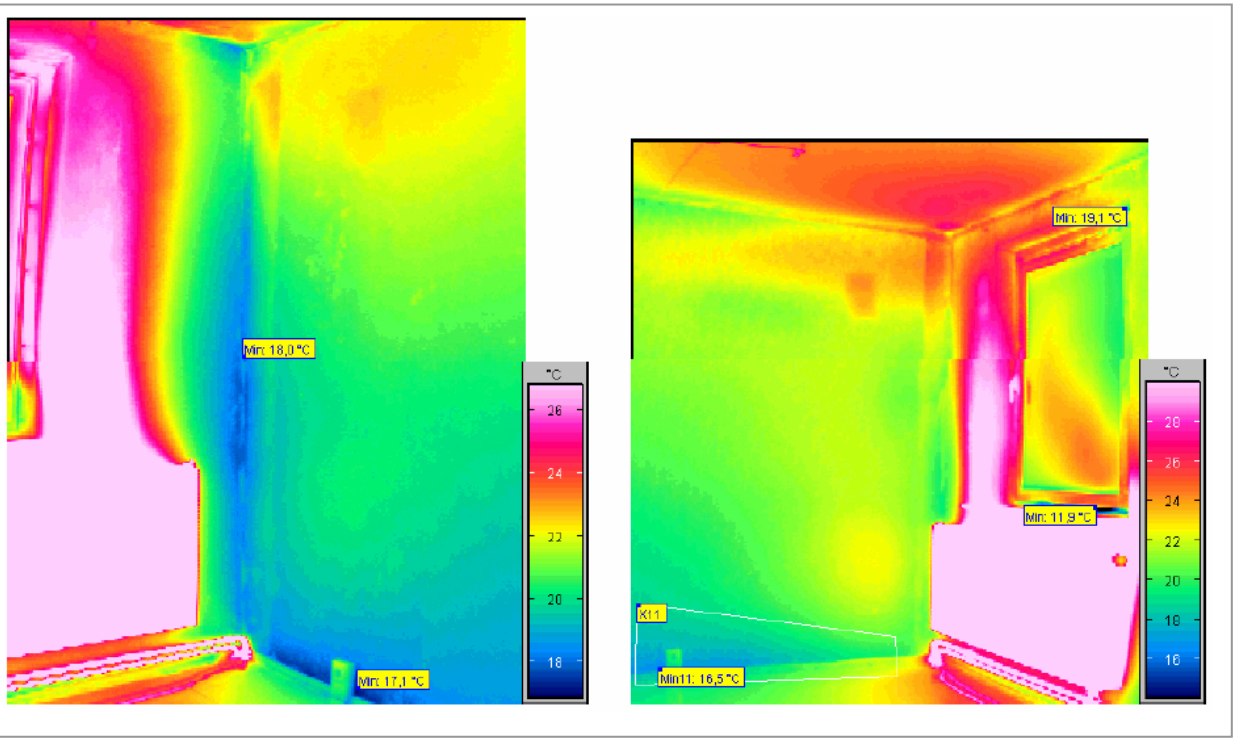


Abb. 69 : Infrarotaufnahmen Außenwandecke Kinder- (li.) und Wohnzimmer (re.), oberstes Wohngeschoss

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.

Zusammenfassung der Ergebnisse zum Wärmeschutz

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[224] 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.[225] Auf verbessernde wärmeschutztechnische Maßnahmen wird in Abschn. 7.3.4 hingewiesen.

6.3.4.3 Brandschutz / Feuerwiderstand

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

- 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[226]). 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.

[224] Reuschel, M.: Gebäudediagnose aus bauphysikalischer Sicht. Energieeffiziente Gebäudesanierung, in Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt, Hrsg. Angelika Mettke, Cottbus, 2005.
[225] s. Kerschberger, A.: energetischer Umbau von Plattenbauten – Deutschland, Osteuropa, Russland, China [Toblacher Gespräche 2005: Bauen für die Zukunft, 22.09. – 24.09.2005].
[226] 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. 75: 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[227] 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. 6.3.3.4.1; 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

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

(s. Abb. 70, 71). Zur Messung der Verformung wurde in Plattenmitte ein potentiometrischer Wegsensor (WS) installiert. Die Lage der Messstellen im Brandraum ist der Abb. 72 entnehmbar.

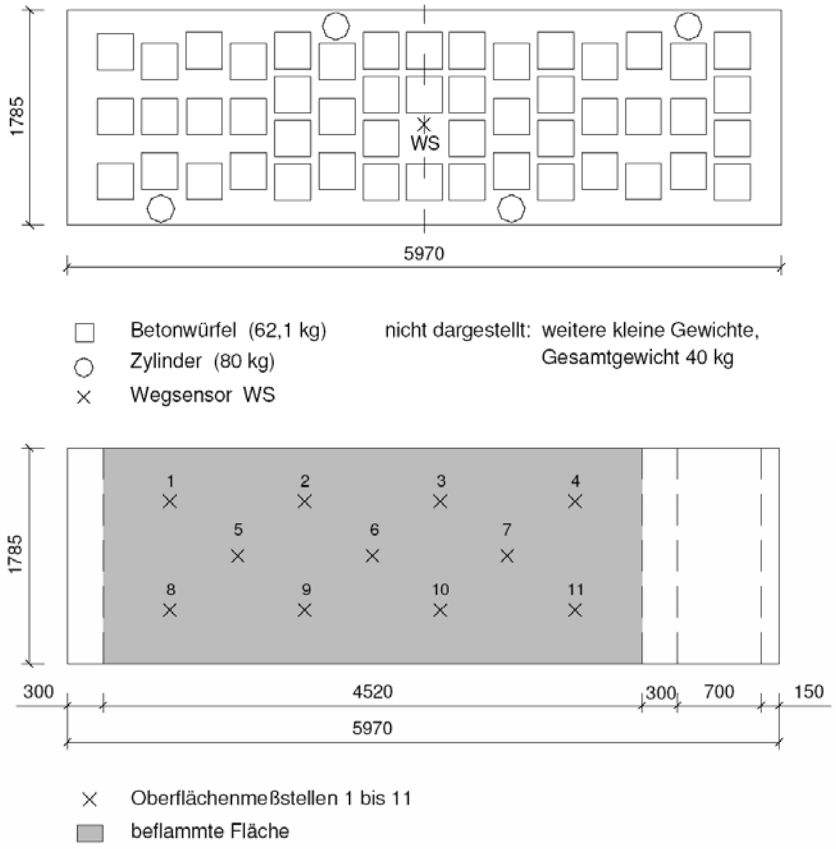


Abb. 70 : Exemplarische Darstellung der Messpunkte und des Belastungsplanes zur Untersuchung des Feuerwiderstandes – Spannbetondeckenplatte 21000

Abb. 71 : Brandraum (li.) und Simulation Belastung (re.)

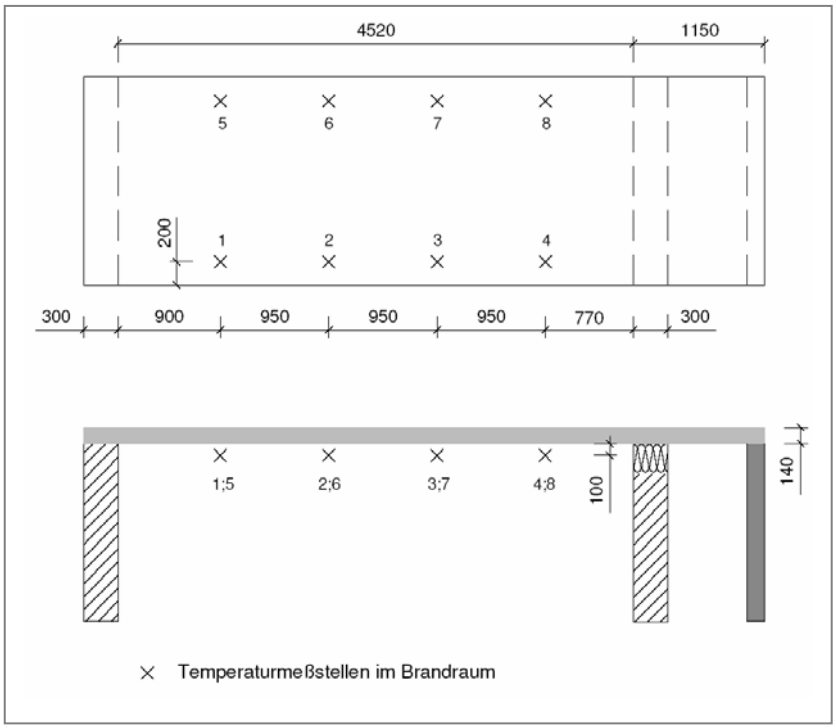


Abb. 72 : Prüfanordnung / Lage der Brandraummessstellen – Spannbetondeckenplatte 21000

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

Zu wesentlichen Prüfergebnissen[228]:

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. 76 sind wichtige Prüfergebnisse aufgezeigt. Abb. 73 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.

[228] 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.

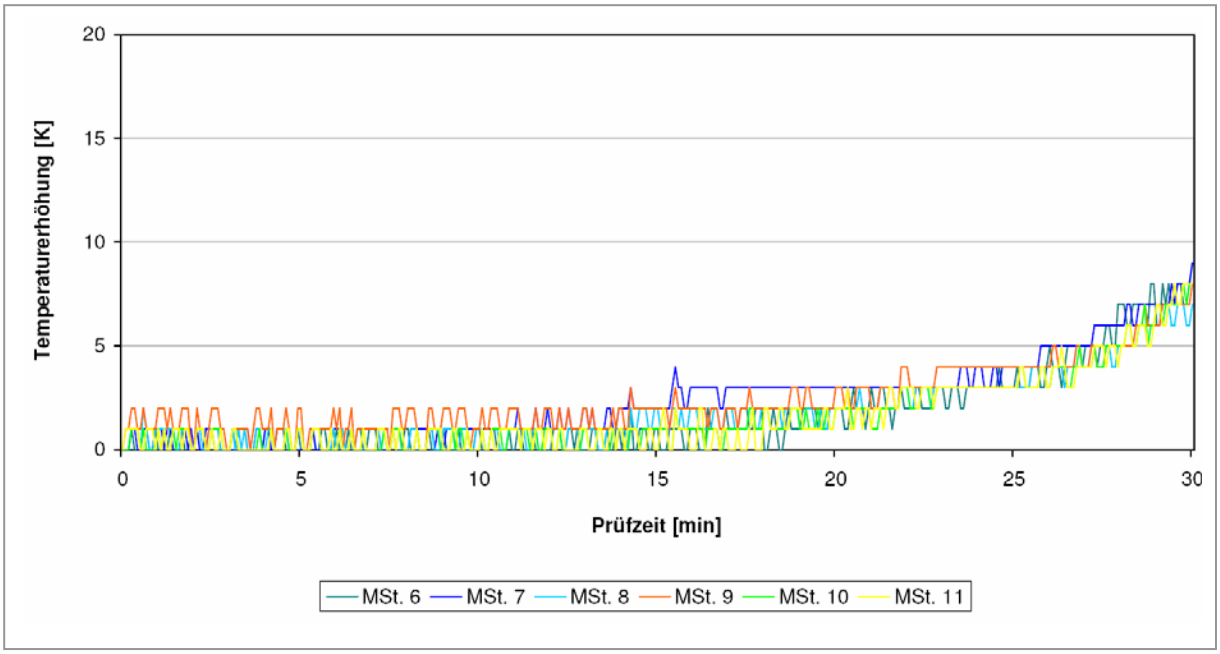


Abb. 73 : Temperaturerhöhung auf der unbeflammten Deckenoberfläche – Spannbetondeckenplatte 21000 (Probe I)

Tab. 76: Ergebnisse der Brandversuche

Spannbetondeckenplatte 21000 (vgl. Abb. 74)			
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. 75)			
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**	

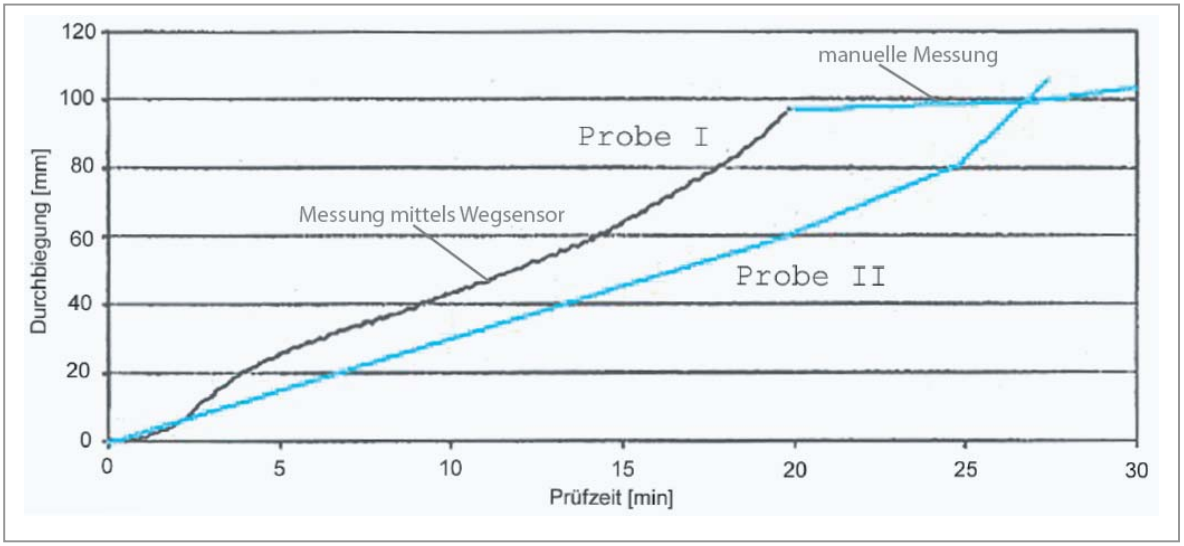


Abb. 74 : Durchbiegung in Richtung Brandraum – Spannbetondeckenplatten 21000 (P2-Typ)

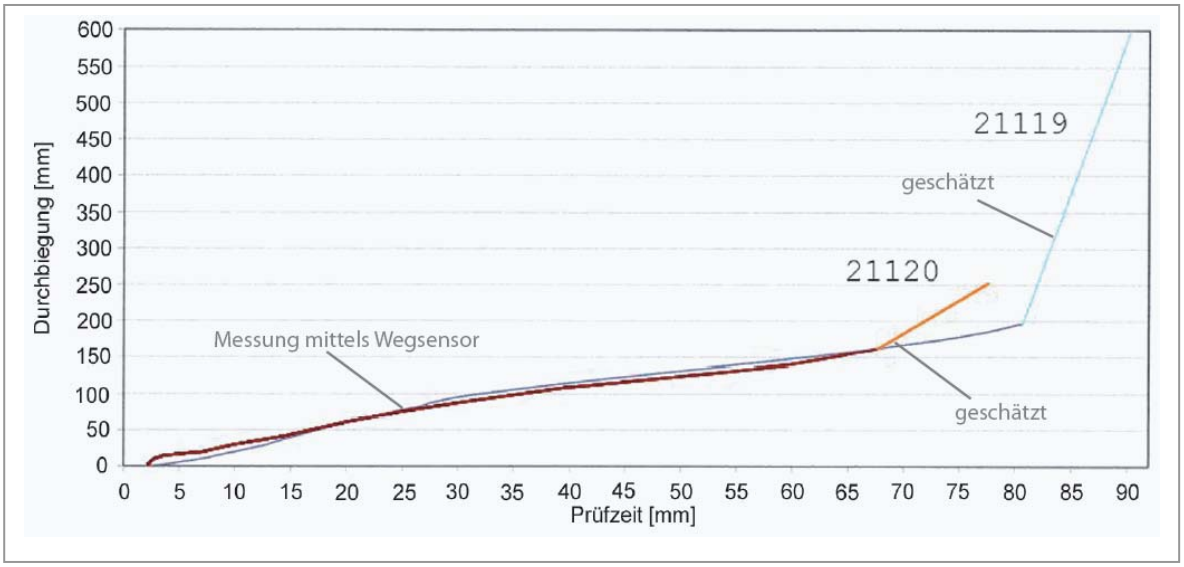


Abb. 75 : Durchbiegung in Richtung Brandraum – Stahlbetondeckenplatten21119, 21120 (P2-Typ)

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.

Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse zum Brandverhalten

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. 7.3 hingewiesen.

6.3.5 Fazit - Eignungsprüfung (Entscheidungsstufe 1)

Die eigenen 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. 7.3). 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.

6.4 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[229].

6.4.1 Bauzustandsstufenbewertung vor der Demontage

In einer Voruntersuchung wurden an den geprüften Elementen keine Mängel oder Schäden festgestellt.[230] 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 Bauzustandsstufe 1 (Merkmale s. Abschn. 6.3.2.1) eingestuft werden (s. Abb. 76).

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

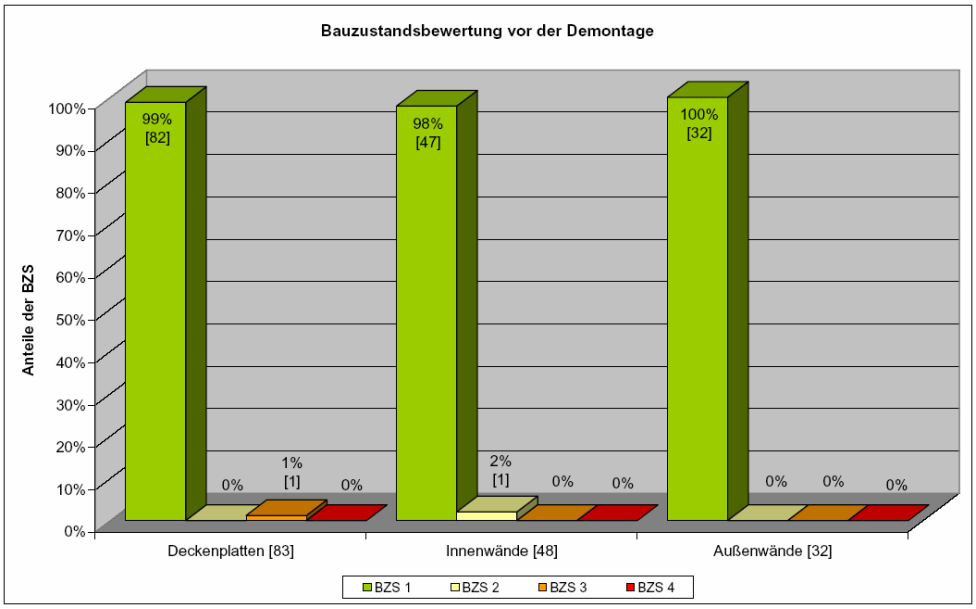


Abb. 76 : Vergleich der Anteile der Bauzustandsstufen der Bauteile vor der Demontage (Fallbeispiel)

6.4.2 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.

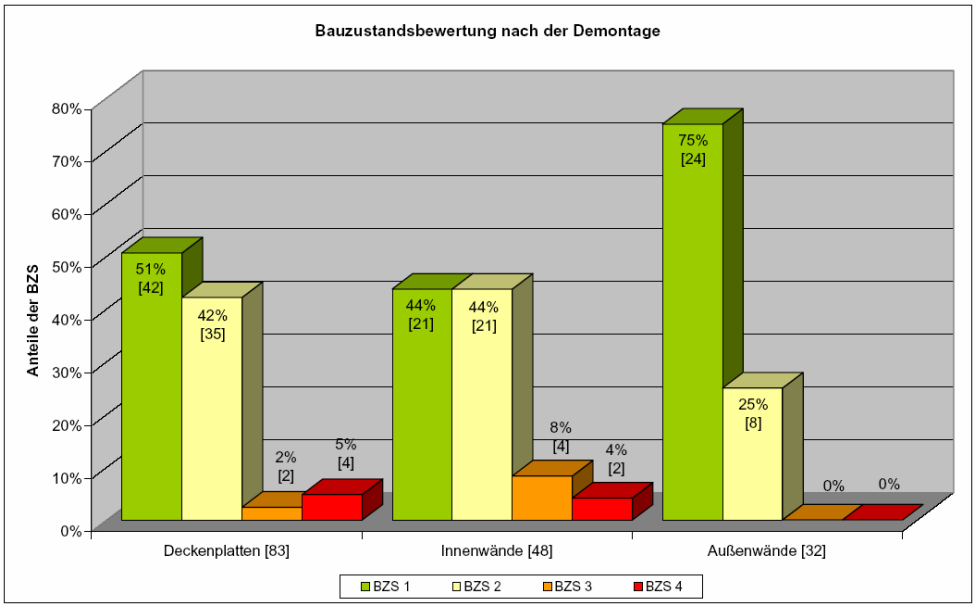


Abb. 77 : Vergleich der Anteile der Bauzustandsstufen der Bauteile nach der Demontage (Fallbeispiel)

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 Bauzustandsstufe 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. 77).

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:

6.4.2.1 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 Bauzustandsstufe 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.

6.4.2.2 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 Bauzustandsstufe 2 zugeordnet. Bauteile mit Türöffnungen, deren Schäfte kleinere Risse (< 0,4 mm[231]) aufwiesen, wurden ebenso in Bauzustandsstufe 2 eingestuft.

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

[231] Anforderungen an die Begrenzung der Rissbreite nach DIN 1045-1 s. Tab. 51, Abschn. 6.3.2.2.

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 Bauzustandsstufe 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.

6.4.2.3 Schäden an Außenwänden (Fallbeispiel Gebäudetyp WBS 70)

Die Einstufung von 25 % der untersuchten Außenwände in die Bauzustandsstufe 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 Bauzustandsstufen 3 oder 4 zugeordnet.

6.4.3 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. Tab. 79) 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.

6.5 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[232] fortgeführt werden:

6.5.1 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:

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

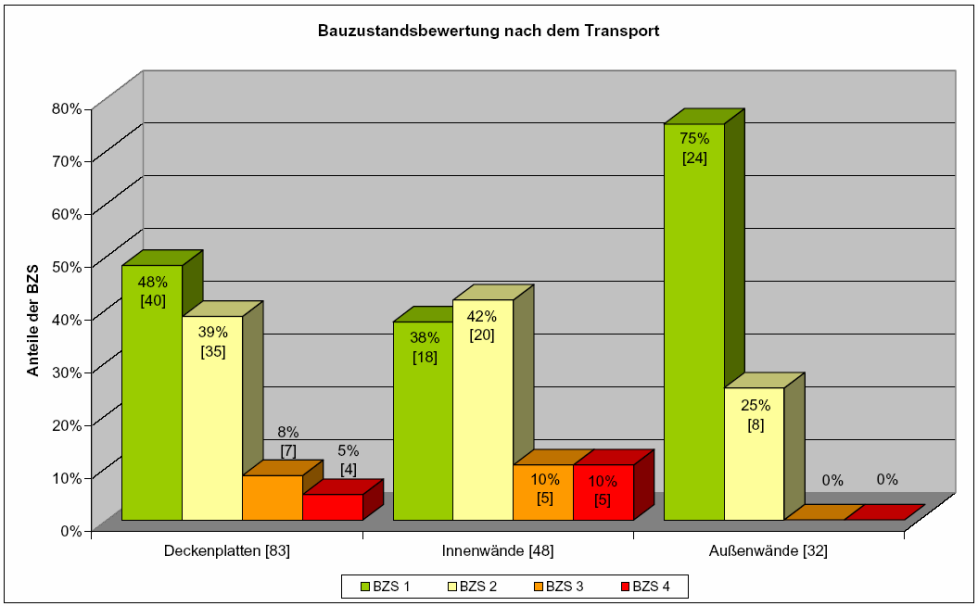


Abb. 78 : Vergleich der Anteile der Bauzustandsstufen der Bauteile nach dem Transport (Fallbeispiel)

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.

6.5.2 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. 79). – 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.

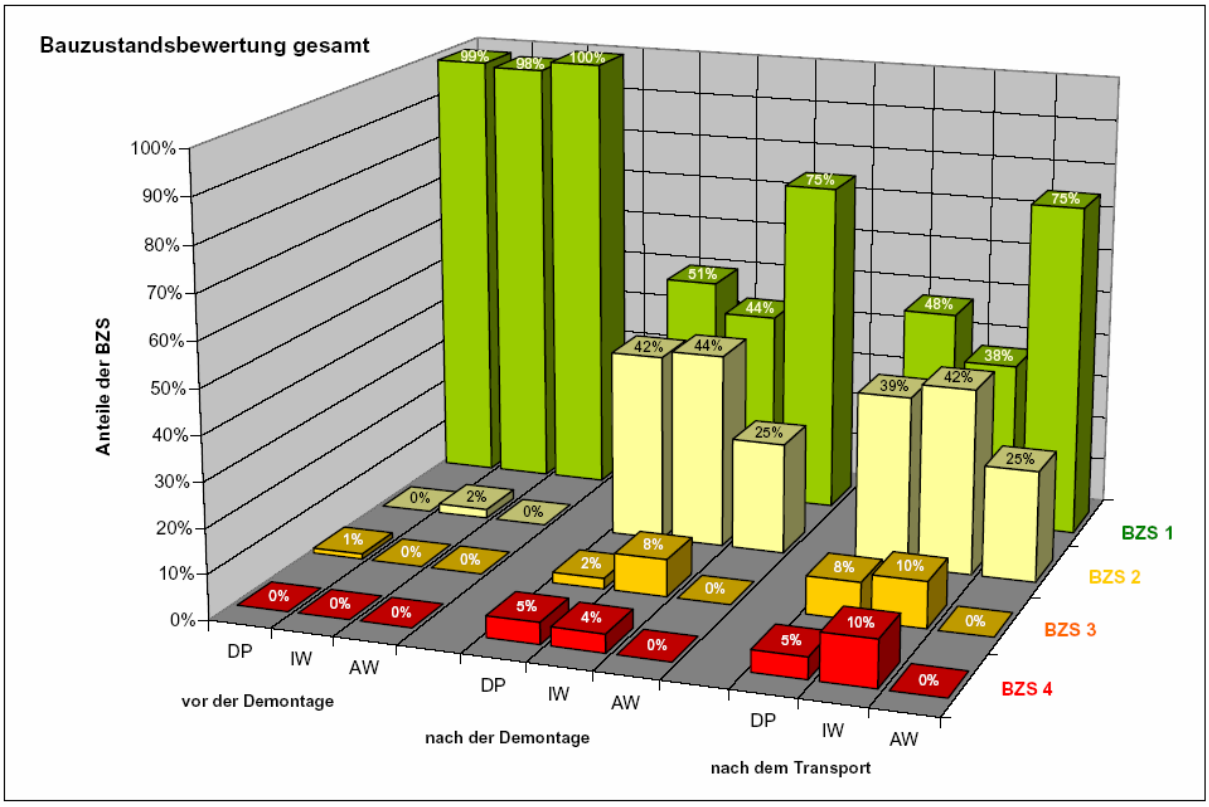


Abb. 79 : Zusammenstellung der Ergebnisse der Bauzustandsuntersuchungen über den gesamten Rückbauprozess (Fallbeispiel Gröditz)

6.6 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[233]. Diese Erkenntnis gilt heute als gesichert – auch für andere Plattenbautypen. Bis auf die Trennwände und diejenigen mehrschichtigen Außenwände, in denen Kamilit als

[233] vgl. Mettke, A.; Thomas, C.: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, Materialien zur Abfallwirtschaft, S. 29 ff..

Dämmstoff verwendet wurde, ist darüber hinaus im Prinzip fast das gesamte Altbetonfertigteilsortiment nachnutzbar. Erprobt wurde, bspw. beim Bau der Stadtvillen in Cottbus[234], auch der wiederholte Einsatz von Sanitärzellen, Treppenläufen und –podesten. Auch separat sind Sanitärzellen z.B. für die Lagerung von Gartengeräten, Maschinen o.ä. verkleidet mit Holz im Außenbereich eingesetzt worden. Allerdings ist der sekundäre Verwendungszweck bzw. sind die sekundären Anforderungen entscheidend, ob eine Ertüchtigung der Bauelemente erforderlich wird und wirtschaftlich vertretbar ist: immer 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 theoretisch 80 – 90 % für Wieder- oder Weiterverwendungen bereitgestellt werden können. Werden bspw. „nur“ Deckenplatten und Innenwände der Bauserie P2 oder WBS 70 als Produkte nachgenutzt, beläuft sich die Wiederverwendungsquote bezogen auf die Menge/Tonnage auf ca. 40 – 50 %.

7 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.

[234] Bauherrenpreis Modernisierung 2003, Aktion Hohe Qualität – Tragbare Kosten, S.14.

7.1 Typische Schadensbilder

Im Hinblick auf einen Wieder- und Weiterverwendungsprozess von Stahl- bzw. Spannbetonelementen führt METTKE[235] folgende mögliche Bauschäden, Beschädigungen und/oder Mängel an (vgl. Tab. 78 – 80):

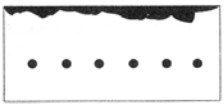
- bau- bzw. rückbauseitige Fehler (Planungsfehler, mangelhafte Elementeherstellung, unsachgemäße Montage sowie De- und Remontage),
  - Kantenbeschädigungen (im Rahmen der Demontage infolge unsachgemäßer Trennung der Bauelemente aus dem Verband bspw. durch mechanische Einwirkungen),
  - Strukturveränderungen (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:[236]

- 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,
- noch anhaftende Ausbau- und Einbaumaterialien am Betonelement.

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

Tab. 77: Schadensbilder von demontierten Deckenplatten der WBS 70

Schadensarten	Schadensursachen (Beispiele)	Schadensbild	Einschätzung der Beeinträchtigung der Dauerbeständigkeit
Flächenhafte Ablösungen, trichterförmige Abplatzungen	· Witterungseinflüsse		◑
Festigkeitsverlust, Beton sandet	· Chemische Einflüsse		◑
Abgeplatzte Ecken und Kanten	· Bewehrungskorrosion · nicht sachgemäßer Trennprozeß		◑
Festigkeitsminderung, Abplatzungen und Gefügezerstörung	· Nutzungseinflüsse · Betonkorrosion · Bewehrungskorrosion		●
Lokale und ausgedehnte Oberflächenzerstörungen, Abkratzungen	· Mechanische Einwirkungen		◑

Legende: ● stark ◑ mittel ○ gering

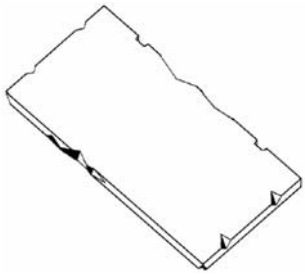
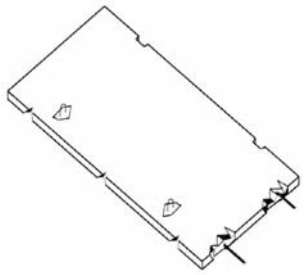
Nachstehend werden häufige Schadensbilder an Elementen der Großtafelbauweise/Plattenbauweise und der Mischbauweise (inkl. Fotos) skizziert, die von der FG Bauliches Recycling aufgenommen und dokumentiert wurden[237].

7.1.1 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 Lösen des Bauteils resultieren. Ebenso können die Elemente beim Freilegen der Tragösen durch den Minibaggereinsatz teilweise Ausbrüche aufweisen oder durchschlagen werden.

[237] Mettke, A.; Lassan, B.; Britze, M.: Schadensbilder von demontierten Betonfertigteilen, Cottbus, 2004, unveröffentlicht.

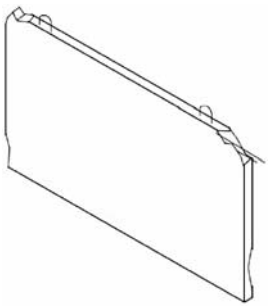
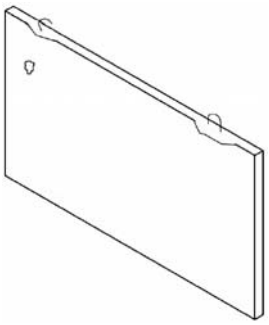
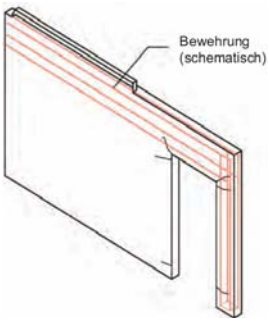
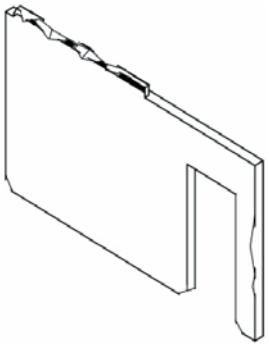
Tab. 78: Schadensbilder von demontierten Deckenplatten der WBS 70

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	

7.1.2 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.

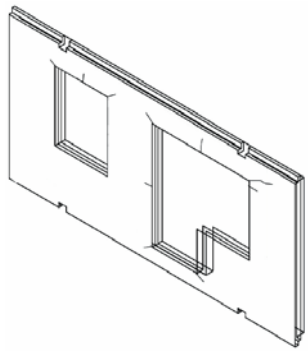
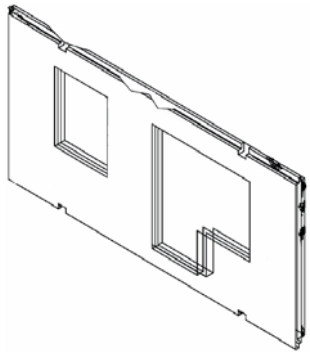
Tab. 79: Schadensbilder von demontierten Innenwandelementen der WBS 70

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	

7.1.3 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. 80: 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	

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

Um den entstandenen Schadensbildern 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 und evtl. Beschädigungen der Tragösen 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.

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 zu empfehlen.

Deckenelemente sind grundsätzlich in Einbaulage zwischen zu lagern und zu transportieren. Die Stapelhölzer müssen im Auflagerbereich senkrecht übereinander angeordnet sein, um schädigende Lasteinwirkungen durch darüber liegende Deckenelemente zu vermeiden. Die Zwischenlagerung der Deckenplatten ist wie bei der Montage fachgerecht abzuwickeln. Der Abschläger ist einzuweisen.

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.

7.3 Maßnahmen zur Instandsetzung der Betonelemente

7.3.1 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 Deutschlands bauaufsichtlich eingeführte Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, kurz: Instandsetzungsrichtlinie (Instandsetzungs-Rili)[238]. Das Ausführen, Prüfen und Überwachen von Arbeiten nach der Instandsetzungsrichtlinie erfordern den Einsatz von qualifiziertem Fachpersonal.

Die in der Instandsetzungsrichtlinie **geregelten Arbeiten** sind[239]:

- 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,

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

- Vorbeugender zusätzlicher Schutz der Bauteile gegen des Eindringen von beton- und stahlangreifenden Stoffe,
- Erhöhung des Widerstandes von Betonoberflächen gegen Abrieb und Verschleiß.

Ziele dieser Arbeiten im Sinne der Instandsetzungsrichtlinie sind[240]:

- 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[241]:

- 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“.[242]

- 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 –

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

5 % eingesetzt. Für eine gute Haftung des Spritzbetons ist ein Vornässen des Untergrundes wichtig, damit vermieden wird, dass die zum Abbinden notwendige Feuchtigkeit zu rasch aufgesogen wird.[243]

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."[244] 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[245]. 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.

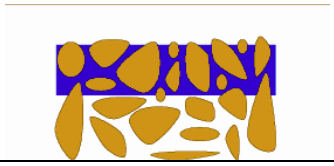
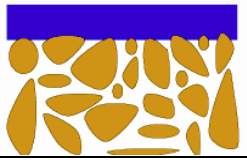
- **Versiegelung**: Dabei werden die oberflächennahen Kapillarporen des Betonuntergrundes, bei gleichzeitiger Bildung eines dünnen zusammenhängenden Oberflächenfilms, teilweise ausgefüllt. Versiegelungen sind die Vorstufe einer Beschichtung. Sie reduzieren die Wasseraufnahme, die Aufnahme von in Wasser gelösten Schadstoffen und die CO_2-Diffusion.[246]

- **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.[247] Als Werkstoffe werden Acrylate gelöst, Epoxidharze, Polymerdispersionen und Zementschlämme eingesetzt[248].

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

[243] Fitz, S.: Sanierung von Bauwerken, in: Handbuch des Umweltschutzes, S. 334.
[244] Luley, H. et.al.: Instandsetzen von Stahlbetonoberflächen: Köln, 1994, S. 110.
[245] Mettke, A., Lassan, B., Britze, M.: Betoninstandsetzung und Oberflächenschutz von Betonfertigteilelementen, Cottbus, 2005, S. 16.
[246] Luley, H. et.al.: Instandsetzen von Stahlbetonoberflächen, Köln, 1994, S. 50.
[247] ebenda, S. 51.
[248] Mettke, A., Lassan, B., Britze, M.: Betoninstandsetzung und Oberflächenschutz von Betonfertigteilelementen, Cottbus, 2005, S. 16.

Tab. 81: Synopse der Vor- und Nachteile von Oberflächenschutzsystemen[249]

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 Adhäsionsprobleme ▪ 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 drückendes 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.

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

7.3.2 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. 82: Rissfüllspezifische Anwendungen für Injektionen nach Instandsetzungs-Rili[250]

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[251]**

  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-

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

dener Mörtel (PC) und reaktionsharzgebundene Mörtel oder Betone in Frage[252]. 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)[253].

- **Korrosionsschutz der Bewehrung**

Für die Herstellung bzw. Wiederherstellung eines dauerhaften Korrosionsschutzes von nicht vorgespannter Bewehrung sieht die Instandsetzungs-Rili vier Korrosionsschutzprinzipien vor[254], 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.

[252] DAfStb-Instandsetzungsrichtlinie (10/2001) Teil 2, Abschn. 4.
[253] ebenda, Teil 2, Abschn. 4.
[254] 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 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[255]. 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. 83 sind Einzelmaßnahmen zusammengestellt, die zur Behebung möglicher Beschädigungen resp. Schäden an demontierten Betonelementen herangezogen werden können.

Tab. 83: Instandsetzungsmaßnahmen bei typischen Bauschäden im Plattenbau[256]

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“).[257]
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.

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

7.3.3 Bauakustische Verbesserungen

Zur Realisierung des heutigen Schallschutzstandards werden von der Ingenieurgesellschaft für Bauphysik GbR nachstehend aufgeführte bauakustische Grundlösungen empfohlen[258]. Zu Grunde gelegt werden ausgewählte Bauelemente des P2-Typs, die besonders für eine Wiederverwendung geeignet sind.

Wohnungstrenndecken, Wohnbereich (14 cm dicke Rohdecke)

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. 73) kann mit einlagigen Kunststoffbelägen nicht erreicht werden. Eine Alternative bilden zusätzliche Trittschallunterlagen oder Textilbeläge (Teppichbeläge).

Variante a) Ausbildung der Decke mit schwimmendem Estrich (Kosten ca. 40 €/m²)

Die Variante geht davon aus, dass die ursprüngliche / alte Estrichschicht entfernt wurde. Der schwimmende Estrich kann in Trockenbauart oder Massivbauart hergestellt werden:

Einbau eines Trockenestrichsystems mit

14 cm Rohdecke
0,5 - 1,0 cm Trockenschüttung
2,0 cm Trittschalldämmung
3,0 cm Fußbodenplatte
Bodenbelag

bzw.

14 cm Rohdecke
2,0 cm Trittschalldämmung
4,5 cm Massivestrich
Bodenbelag

Der Bodenbelag ist frei wählbar. Die geschätzten Kosten für den Einbau eines trittschalldämmenden Bodenbelags aus Kunststoff belaufen sich auf ca. 20 €/m², für den Plattenbelag auf Trittschallunterlage auf ca. 65 /m².

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

Variante b) Deckensysteme mit biegeweichen Unterdecken

Aus bauakustischer Sicht ist es möglich, einen Verbundestrich herzustellen und den Schallschutz durch ein biegeweiches Unterdeckensystem weiter zu erhöhen. Diese Variante macht möglicherweise dann Sinn, wenn aus optischen Gründen die Deckenuntersicht verbessert werden soll.

[258] 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.

Hinsichtlich eines durchgängigen guten Trittschallschutzes wird diese Lösung von JACKISCH[259] etwas problematisch gesehen, beispielsweise bei der 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.

Ein Schallschutz von R'_w = 58 dB und $L'_{n,w}$ = 53 dB kann mit nachstehendem konzeptionellen Fußbodenaufbau erreicht werden:

Bodenbelag ($\Delta L_{w,R} \geq 18$ dB)
5 cm Verbundestrich
14 cm Rohdecke
7 cm biegeweiche Unterhangdecke(Kosten ca. 40 €/m²)

kann ein Schallschutz von 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)

Wandsysteme können als Wohnungs- oder als Haustrennwandsystem hergestellt werden. Haustrennwände für Doppelhäuser oder Reihenhäuser werden in der Regel zweischalig errichtet.

a) Wohnungstrennwände mit biegeweicher Vorsatzschale
   Werden 15 cm Stahlbetonwandsysteme verwendet, so ist der Einsatz einer biegeweichen Vorsatzschale (punktweises Anbringen einer 4 cm mineralischen Verbundplatte) und einem elastischen Fugenverschluss im Randbereich erforderlich. Mit dieser Möglichkeit wird das heutige Mindestschallschutzniveau von R'_w = 53 dB gerade erreicht.

[259] Jackisch, R.: Rechnerischer und messtechnischer Nachweis der Luft- und Trittschalldämmung von Standardkonstruktionen des Typs P2, Prüfbericht i.A. der FG Bauliches Recycling, 2002, S. 31.

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.

7.3.4 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[260] 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.

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

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 θi > 10 °C angeordnet, sind keine zusätzlichen Dämmmaßnahmen erforderlich. Bei einer Innentemperatur im Treppenraum von 0 °C < θi ≤ 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.

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.

7.4 Fazit - Aufarbeitungsmethoden

Für die Wiederverwendung von Altbetonelementen ist festzustellen, dass Beschädigungen durch die Demontage, den Transport und der Zwischenlagerung entstehen können. Insbesondere ist dem Umgang von Innenwänden mit Türaussparungen besondere Aufmerksamkeit zu widmen, da es 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.

8 Transport, Umschlag, Lagerung gebrauchter Bauteile

8.1 Allgemeines

Eines der wichtigsten Kriterien, die die Effizienz industrieller Bauweise in starkem Maße beeinflussen, ist der Transport vorgefertigter Bauteileinheiten und -konstruktionen. Betrachtet man die geschichtliche Entwicklung der Transportabläufe in der Fertigteilbauindustrie in der damaligen DDR, so werden die grundlegenden logistischen Anforderungen deutlich: die Betonfertigteile müssen wirtschaftlich, sicher, schnell und pünktlich verladen und geliefert werden. Anfang der 1960-er Jahre belieferten die Vorfertigungswerke die Baustellen mit Betonelementen, welche auf ein bis zwei Anhänger von nur 5,0 Mp (5,0 t) Tragfähigkeit verladen waren. Später – mit Verbreitung der Plattenbauweise – wurden Spezialfahrzeuge mit größerer Nutzlast von 16 Mp, 18,5 Mp und sogar 40 Mp entwickelt. Es kamen vermehrt Sattelfahrzeuge und Wechselhänger zum Einsatz, sodass die Zugmaschine zwischen dem Betonwerk und der Baustelle pendelte. Die Effizienz der Fertigteiltransporte wurde mit der Einführung von Einheitsquerrolltechnik noch mehr erhöht. Die vorbeladenen Rollpaletten wurden über Ladebrücken und Palettenabsetzanlagen auf Tieflader oder Güterwagen gefahren, was die Umschlagzeit und den -aufwand erheblich senkte.

Besonders anzumerken ist dabei wohl die Tatsache, dass die Fertigteiltransporte nur selten über 50 km Entfernung liefen und der Transportumfang sehr groß war. Bei der Wiederverwendung gebrauchter Betonfertigteile kann es sich aber um Entfernungen von hunderten oder sogar tausenden Kilometern handeln. Im Vergleich zu Großbaustellen der „Plattenbauära“ sind dies nur kleinere Transportmengen. Die Wirtschaftlichkeit dieser Logistik bleibt trotzdem eine wichtige Aufgabe und hier gilt es, die gesammelten Erfahrungen und das Wissen optimal auszunutzen. Daher ergibt sich eine Reihenfolge wichtigster Anforderungen an den Transport gebrauchter Betonfertigteile:

1) wirtschaftliche Effizienz, d. h. die kostengünstigste Transportvariante für ein jeweiliges Vorhaben;

2) Sicherheit des Transports: Minimierung der Beschädigungsrisiken;

3) Minimierung der Umschlagvorgänge bzw. ihre kostengünstige, sichere und schnelle Durchführung;

4) zeitliche Optimierung des Transports.

Dies bedeutet, dass für jeden Einzelfall eine entsprechende Lösung gefunden werden muss, die diesen Anforderungen am besten entspricht.

Im nachstehenden Abschnitt werden die generellen Möglichkeiten des Transportes mit den jeweiligen Anforderungen an die Beladung und Ladekapazitäten sowie notwendige Transporthilfsmittel genannt. Abschließend wird die Kompatibilität bewertet. Betrachtet werden die Remontagestandorte Umgebung von Prag und Vororte von St. Petersburg.

8.2 Transportmöglichkeiten und Auswahl der Transportträger

Der logistische Prozess ist nicht mit dem Transport von A nach B zu umschreiben, sondern beinhaltet zahlreiche Einflussgrößen. So sind neben der Entscheidung für ein bestimmtes Transportmittel auch Randkriterien wie die Situation am Verladeort (Demontagebaustelle) bzw. Verbringungsort (Remontagebaustelle) sowie erforderliche Zwischenabläufe zu berücksichtigen. Ein weiteres, sehr komplexes Gebilde stellen die zu beachtenden rechtlichen Rahmenbedingungen dar. Um unter Berücksichtigung all dieser Aspekte ein Arbeitsmodell zur Gestaltung einer bestmöglichen Logistikkette zu erarbeiten, welche man dann auf eine beliebige Aufgabenstellung implementieren kann, werden in den nachfolgenden Abschnitten die Transportmittel und Transporthilfsmittel als einzelne Glieder einer Logistikkette, als Bausteine für das spätere Endergebnis betrachtet. Hierfür werden die Schnittstellen dieser Bausteine gezeigt, um den Grad ihrer Kompatibilität miteinander zu verdeutlichen, damit aus einer Vielzahl möglicher Kombinationen und Transportvarianten die optimale herausgefiltert werden kann.

Als Transportmittel werden hier verschiedene Verkehrsträger wie Straße, Schiene, Binnen- und Seewasserstraßen mit dazugehörigen spezifischen Fahrzeugen und Fahrzeugtypen betrachtet.

Unter Transporthilfsmittel versteht man Geräte und Vorrichtungen wie Ladegestelle, Container, Rolltrailer u. ä., die der Optimierung von Transportabläufen dienen sollen.

8.2.1 Transportmittel LKW

Einsatzbereich

Der Transport per LKW deckt alle Standorte ab, die mit anderen Transportmitteln nicht zu erreichen sind. Von einem Rückbaustandort zum nächsten Umschlagplatz und vom letzten Umschlagplatz zum Wiederverwendungsort bzw. direkt von einer Demontage- zu einer Remontagebaustelle. In fast jeder Logistikkette ist der LKW als Transportmittel unverzichtbar. Jedoch ist zu beachten, dass der LKW-Transport durch örtliche Gegebenheiten (Traglast von Straßen und Brücken, Steigungen etc.), Fahrverbote an Sonn- und Feiertagen sowie Witterungsbedingungen eingeschränkt ist. Es gilt bereits in der Planungsphase diese Einschränkungen zu berücksichtigen und eine entsprechende Fahrtroute zu bestimmen.

Fahrzeuge

Bestimmend für die Wahl eines Fahrzeugtyps ist die Einbaulage der zu transportierenden Betonfertigteile. Am besten geeignet sind die Fahrzeugkombinationen aus einer Sattelzugmaschine und einem Sattelanhänger. Für den Transport von *Wandelementen* können folgende Sattelanhänger eingesetzt werden:

- spezielle Sattelanhänger für Wandplatten,
- Semitieflader mit entsprechenden Transporthilfsmitteln (Kassetten, Rollpaletten, Schrägbockgestellen u. ä.),
- Sattelauflieger mit entsprechenden Transporthilfsmitteln, wenn die Gesamthöhe 4,00 m nicht überschreitet,
- Innenlader.

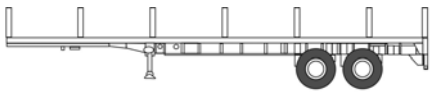
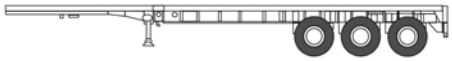
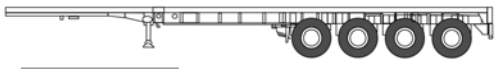
Deckenelemente sowie weitere Betonfertigteile, welche ebenfalls waagerecht transportiert werden können (Treppenelemente, Podeste, Trogkonstruktionen etc.), werden auf folgenden Anhängern transportiert:

- Plateau-Sattelauflieger,
- Semitieflader.

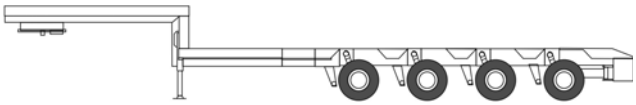
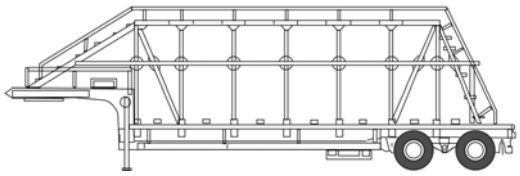
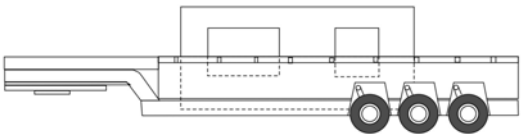
Pritschenfahrzeuge und -züge können für den Fertigteiltransport wegen ihrer niedrigeren Nutzlast im Vergleich zu den Sattelzügen nur bedingt eingesetzt werden.

Die Abmessungen und maximalen Nutzlasten der oben genannten Fahrzeuge variieren je nach Konstruktion. In der nachstehenden Tabelle sind einige Richtwerte zusammengefasst.

Tab. 84: Übersicht einiger Fahrzeuge, geeignet für den Fertigteiltransport[261]

Fahrzeug	Länge	Lade-höhe	Nutzlast
2-Achs Sattelauflieger 	7,50 m	1,80 m	bis 23,8 t
3-Achs Sattelauflieger 	9,62 m	1,60 m	bis 26,5 t
4-Achs Sattelauflieger 	10,35 m	1,56 m	bis 39,2 t*
2-Achs Tiefbettauflieger ausziehbar	Ladefläche 6,00 bis 10,50 m	0,55 m	bis 28,0 t*
3-Achs Semitieflader	Ladefläche 8,50 m	0,97 m	bis 32,1 t*
3-Achs Semitieflader ausziehbar Ladefläche 8,00 bis 13,20 m	Ladefläche 8,50 m bis 13,20 m	0,86 m	bis 37,5 t*

[261] nach: http://www.kawelke-kran.pdf, aufgerufen am 20.02.2008.

4-Achs Semitieflader ausziehbar 	Ladefläche 8,50 bis 13,50 m	0,95 m	bis 44,0 t*
6-Achs Semitieflader 	Ladefläche 12,00 m	0,95 m	bis 64,3 t*
2-Achs Plattenanhänger 	Ladefläche 8,00 m	1,06 m	bis 25,0 t
Innenlader  Ladelänge 9,45 m	Ladefläche 9,45 m	0,30 m	bis 35,0 t*
* mit Sondergenehmigung im Sinne der Straßenverkehrsordnung (StVO)[262] §§ 18 und 22			

Anforderungen an die Beladung

Die Beladung der Fahrzeuge mit Betonfertigteilen erfolgt grundsätzlich gemäß der Einbaulage der Elemente. Das heißt, Wandelemente werden senkrecht bzw. leicht geneigt auf Transportgerüste verladen und Deckenelemente auf der Ladefläche gestapelt. Dabei müssen die entsprechenden Vorschriften der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO)[263], bei grenzüberschreitendem Verkehr auch die der Ziel- bzw. Transitländer, insbesondere in Bezug auf die maximale Nutzlast und Abmessungen beladener Fahrzeuge unbedingt eingehalten werden. Die StVZO bestimmt u. a. folgende höchstzulässigen Werte für Kraftfahrzeuge:

- *Breite* über alles 2,55 m (§ 32 Abs. 1 Nr. 1 StVZO),
- *Höhe* über alles 4,00 m (§ 32 Abs. 2 StVZO),
- *Länge* über alles bei Fahrzeugkombinationen (Lastkraftwagen mit Anhänger oder Sattelzugmaschine mit Sattelanhänger) 15,50 m (§ 32 Abs. 4 Nr. 1 StVZO) bzw. 16,50 m (§ 32 Abs. 4 Nr. 2 StVZO),

[262] Straßenverkehrsordnung (StVO) vom 16.11.1970, zuletzt geändert am 28.11.2007.
[263] Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) vom 13.11.1937, zuletzt geändert am 22.01.2008.

- die zulässige *Doppelachslast* je nach Achsabstand 11,00 t, 16,00 t oder 18,00 t (§ 34 Abs. 4 Nr. 2 a-c StVZO),
- die zulässige *Dreifachachslast* je nach Achsabstand 21,00 t oder 24,00 t (§ 34 Abs. 2 Nr. 4 a, b StVZO),
- das zulässige *Gesamtgewicht* bei Fahrzeugkombinationen mit mehr als 4 Achsen 40,00 t (§ 34 Abs. 6 Nr. 5 StVZO).

Darüber hinaus können die zuständigen Behörden im Einzelfall eine Ausnahmegenehmigung im Sinne des § 18 Abs. 1 Satz 2 und § 22 Abs. 2 bis 4 der Straßenverkehrsordnung (StVO) erteilen. Dies ist zum Beispiel für den Transport der 3 m breiten Deckenplatten der Typenserie WBS 70 notwendig. An dieser Stelle ist besonders zu erwähnen, dass auf dem Markt viele Speditionsunternehmen vertreten sind, deren Fahrzeugflotte über eine Dauersondergenehmigung verfügt. Der Einsatz solcher Fahrzeuge ist für den Kunden in der Regel teurer, die Höhe des Zuschlages variiert jedoch von einem Anbieter zum anderen erheblich. Aus diesem Grund ist es notwendig, bei der Planung jedes einzelnen Transports, abhängig vom Transportvolumen und Art der Ladung, entsprechende Angebote für den normalen und den Sonderbetrieb einzuholen und zu vergleichen.

Die *Deckenelemente* müssen auf der Ladefläche genau senkrecht so übereinander gestapelt werden, dass die Belastung gleichmäßig auf die Achsen verteilt wird. Zwischen dem untersten Deckenelement und der Ladefläche sind zwei Kanthölzer (mind. 0,05 m Höhe) quer zu der Längsachse des Anhängers und möglichst nah vom Elementeende (0,3 m bis 0,5 m) zu legen. Diese Holzunterlagen sind über die gesamte Breite des Deckenelements anzuordnen. Zwischen den weiteren Lagen sind Kanthölzer gleicher Länge und mindestens 0,03 m Höhe exakt übereinender zu platzieren. Die Stapelhöhe richtet sich nach der Tragkapazität des Fahrzeugs. Die Ladung ist mit Spanngurten gegen Verrutschen zu sichern.

Die *Wandelemente* müssen auf Ladegestellen so platziert werden, dass die Last parallel zur Längsachse des Fahrzeugs gleichmäßig verteilt wird. Je nach Beschaffenheit des Ladegestells sind Holzvorlagen zum Schutz der Plattenunterkante zu legen. Ebenfalls müssen die Wandelemente gegen Beschädigungen durch mindestens 0,03 m dicke Hängebretter unter jeder belasteten Fläche (Verladung auf einen A-Bock oder einen Plattenanhänger) oder durch Holzkeile zwischen der Wandplatte und den Palettenrechen geschützt werden. Entsprechende Ladegestelle müssen mit dem Fahrzeug fest verbunden sein und die Ladung mit Spanngurten gesichert werden. Bei der Beladung ist die Eigenlast der Ladegestelle zu berücksichtigen.

Die Beladung *anderer Betonfertigteile* erfolgt nach den Vorgaben von Konstruktionsunterlagen und unter Berücksichtigung der jeweiligen Auflagesituation.

Transporthilfsmittel

Die oben beschriebenen Fahrzeugtypen können für den Transport von Wand- und Deckenelementen in Kombination mit folgenden Transporthilfsmitteln eingesetzt werden:

- zerlegbare Bündelrahmen,
- EQ-Paletten,
- Flatcontainer

für den gebündelten Transport von Deckenelementen und

- Schrägbockgestelle (A-Bock),
- Wandplattenkassetten,
- Open-Top-Container

für Wandelemente.

Diese Transporthilfsmittel sind im Abschn. 8.3 detailliert beschrieben.

Umschlag

Der Umschlag bzw. die Entladung der Betonfertigteile vom LKW erfolgt mittels Kraneinsatz. Ein Umschlagplatz soll über genügend Bewegungsfläche für den Schwenkbereich des Kranes verfügen. Werden die Betonelemente einzeln (nicht gebündelt) verladen, so ist beim Umschlag auf ein anderes Transportmittel gegebenenfalls ein Zwischenlagerplatz einzurichten. Dabei müssen die Platten nach Größe bzw. nach Verladereihenfolge für das nächste Transportmittel sortiert und entsprechend gesichert werden. Dies gilt auch, wenn die Elemente nur für eine kurze Zeit abgestellt werden. Der Umschlag gebündelter Pakete ist im Abschn. 8.3 beschrieben.

Kompatibilität

Ein LKW-Transport ist in fast jeder Logistikkette unverzichtbar und mit allen anderen Transportmitteln kompatibel. Alle Binnen- und Seehäfen verfügen über LKW-Terminals oder Anfahrten, die Infrastruktur vieler Häfen ist für den kombinierten Verkehr (auch RoRo-Verfahren[264]) ausgelegt. Ebenso geeignet für den LKW-Transport sind Umschlagbahnhöfe der Bahn.

[264] RoRo-Schiffe (von engl. *Roll on Roll off*) sind moderne Transportschiffe, welche bewegliche Güter im RoRo-Verfahren transportieren. Dies bedeutet dass die Ladung auf das Schiff gefahren wird. Dabei handelt es sich meist um eine Kombination aus Fahrzeugen wie PKW oder LKW oder auch Zügen, die selbst an Bord der Schiffe fahren, als auch standardisierte Ladeeinheiten und Wechselbrücken, welche durch spezielle Zugmaschinen an Bord gestaut werden.
[Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/RoRo-Schiff aufgerufen am 03.04.2008].

8.2.2 Transportmittel Bahn

Einsatzbereich

Der Transport gebrauchter Betonfertigteile auf der Schiene ist grundsätzlich nur als ein Teil einer Logistikkette zu betrachten, da Demontage- und Remontagestandorte i. d. R. über keinen Gleisanschluss verfügen. Somit sind in jedem Fall ein Vor- und Nachlauf per LKW und ein Umladen auf Eisenbahnwaggons erforderlich. Da diese Umschlagprozesse zum Teil sehr kostenintensiv sind, ist es aus ökonomischer Sicht sinnvoll, das Transportmittel Bahn nur für die Transporte auf längeren Entfernungen in Betracht zu ziehen.

Das Schienennetz in Mitteleuropa ist relativ dicht ausgebaut. Die Spurweite in Tschechien, Slowakei, Polen, Rumänien, Ungarn ist der in Deutschland äquivalent. Lediglich bei dem Bahntransport nach Russland, Weißrussland und in die Ukraine ist ein Wechsel auf die Breitspur notwendig. Für diesen Fall besteht theoretisch die Möglichkeit auf Grenzbahnhöfen in vorhandenen Anlagen einen Radsatzwechsel vorzunehmen, so dass die Ladung nicht umgeschlagen werden muss. In der Praxis gestaltet sich dies jedoch wegen komplizierter Genehmigungsverfahren problematisch. Ein Radsatzwechsel wird zurzeit generell nur im Personenverkehr durchgeführt.

Zwischen den Fährhäfen Saßnitz und Baltijsk (Verwaltungsgebiet Kaliningrad, Russland) besteht eine RoRo-Fährverbindung mit russischer Breitspur. Der Hafen in Saßnitz verfügt über ca. 40 km Breitspuranlagen, was eine Beladung direkt auf die russischen Eisenbahnwaggons zur umschlagfreien Weiterfahrt ab Baltijsk ermöglicht. Auf diesem Weg können viele Standorte in den GUS-Staaten erschlossen werden.

Abb. 80 : Übersichtskarte wichtiger Eisenbahn- und Straßenstrecken[265]

[265] http://jazyky.fd.cvut.cz/II-7-Schifffahrt_soubory/image002.jpg, aufgerufen am 22.02.2008.

Fahrzeuge

Für den Transport gebrauchter Betonfertigteile eignen sich grundsätzlich die Drehgestellflachwagen mit Borden oder Rungen und Holzfußboden (Güterwagengattungen R und S). Je nach Streckenklasse und Ladung können Güterwagen mit 4 oder 6 Radsätzen eingesetzt werden.

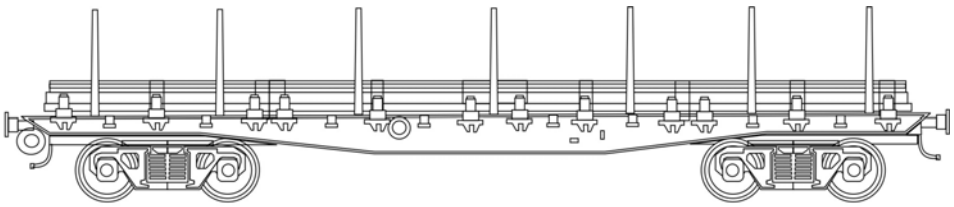


Abb. 81 : Drehgestellflachwagen mit vier Radsätzen der Güterwagengattung R[266]

In der nachstehenden Tabelle sind die zum Fuhrpark der Railion Deutschland AG gehörenden Güterwagen und einige ihrer technischen Spezifikationen zusammengestellt.

Tab. 85: Übersicht von Güterwagentypen der Gattung R[267]

Güterwagentyp / Gattungszeichen mit Bauartnummer		Ladelänge [mm]	Ladebreite [mm]	Fußbodenhöhe [mm]	Lastgrenzen*** [t]
mit Rungen und Stirnwandklappen, jedoch ohne Seitenwandklappen	Rbns 641	25008	2590* 2610**	1350	A: S 37,0 / 120 00,0 B: S 45,0 C: S 55,0 D: S 63,0 ★★
	Rns-z 643	21058	2710* 2890**	1350	A: S 40,0 / 120 00,0 B: S 48,0 C: S 58,0 D: S 66,0 ★★
	Rbns 646	25008	2520	1380	A: S 34,2 / 120 00,0 B: S 42,2 C: S 50,2 D: S 60,2 ★★
	Rmms 662	11140	2850* 3150**	1250	A: S 43,5 B1 B2: S 53,0 C: S 61,0 ★★
	Rps 688	18500	2780* 3030**	1305	A: S 39,5 B: S 47,5 C: S 55,0 ★★

[266] nach: http://www.stinnes-freight-logistics.de/gueterwagenkatalog, aufgerufen am 22.02.2008.
[267] ebenda.

mit Rungen, Stirnwandklappen und klappbaren Ladeschwellen, jedoch ohne Seitenwandklappen	Rmms 663 Rmms 664	12644	2904	1260	A: S 43,0; B1: 49,0; B2: 51,0; C: 59,0 ★★
	Rs-u 659	20700	2710	1280	A: S 38,5; B: 46,5; C: 54,5
	Rs 680	18500	2780	1305	A: S 40,0; B: 48,0; C: 56,0 ★★
	Rs 684 Rps 684 Rs 685 Rps 685	18500	2774	1235	A: S 40,0; B: 48,0; C: 56,0 ★★
	Rs 671	18500	2740	1275	A: S 38,5; B: 46,5; C: 54,5 ★★ 120: 00,0
	Rs 689 Rps 689	18500	2740	1275	A: S 40,0; B: 48,0; C: 56,0 ★★
mit Seiten- und Stirnwand-klappen und mit Rungen	Remms 665	12664	2780* 2904**	1260	A: S 42,5; B1: 48,5; B2: 50,5; C: 58,5 ★★ 120: 00,0
	Res 675 Res 677 Res 682	18500	2640* 2760**	1260	A: S 40,0; B: 48,0; C: 56,0 ★★
	Res 676	18500	2530* 2640**	1260	A: S 39,5; B: 47,5; C: 55,5
	Res 686 Res 687	18500	2650* 2770**	1238	A: S 40,0; B: 48,0; C: 56,0 ★★

*Zwischen den Drehrungen bzw. Seitenborden
** Ohne Drehrungen bzw. zwischen den Drehrungen in Wagen mit Seitenwandklappen
*** Internationaler Lastgrenzenraster. Die Lastgrenzen geben die Höchstlademasse an, bis zu der ein Wagen bei der Beförderung über Strecken der angegebenen Klassen beladen werden darf. Sternchen neben dem Lastgrenzenraster bedeuten die lauftechnische Eignung für 120 km/h auf bestimmten Strecken der DB unter Nutzung der in den Streckenklassen angegebenen Lastgrenzen.

Das internationale Lastgrenzenraster in der vierten Spalte der Tab. 86 gibt die Höchstlademasse an, bis zu der ein Wagen bei der Beförderung über Strecken der angegebenen Klassen beladen werden darf. Zusätzlich sind bei der Wahl eines Güterwagens seine konstruktiven Vorgaben über Einzellasten in Bezug auf die Auflagelänge und Auflageart unbedingt zu beachten.

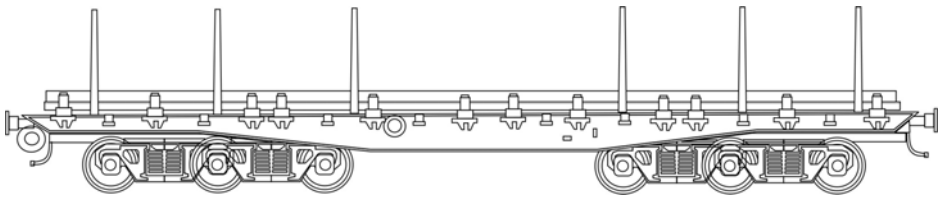


Abb. 82 : Drehgestellflachwagen mit sechs Radsätzen der Güterwagengattungen S[268]

Tab. 86: Übersicht von Güterwagentypen der Gattung S[269]

Güterwagentyp / Gattungszeichen mit Bauartnummer		Ladelänge [mm]	Ladebreite [mm]	Fußbodenhöhe [mm]	Lastgrenzen [t]
ohne Seiten- und Stirnwände, mit und ohne Rungen	Sa(l)mmnps 706	11804	3050	1300	A/B1: S 38,0 / 120 00,0; B2/C2: S 56,0; C3/C4: S 65,0; D2: S 56,0; D3: S 67,0; D4: S 77,0 ★★
mit Rungen, Stirnwandklappen und klappbaren Ladeschwellen, jedoch ohne Seitenwandklappen	Samms 709	15000	3090	1300	A: S 44,0 / 120 00,0; B1: S 51,0; B2: S 56,0; C: S 65,0; D: S 74,0 ★★
	Samms 710	15000	3110	1300	A: S 44,0 / 120 00,0; B1: S 51,0; B2: S 56,0; C: S 65,0; D: S 74,0 ★★
	Samms 489	15000	3090	1300	A: S 45,5 / 120 00,0; B1: S 52,5; B2: S 57,5; C: S 66,5; D: S 75,5 ★★★

Beladung

Die Beladung von Güterwagen mit Betonfertigteilen wird grundsätzlich nach Vorgaben der Verladerichtlinien des Beförderers durchgeführt. Dies gilt gleichermaßen auch für die Wahl geeigneter Güterwagen. Allgemeine Beförderungsbedingungen für den internationalen Eisenbahngüterverkehr regeln die Verladung folgendermaßen: „Unter Vorbehalt zwingender gesetzlicher Bestimmungen oder abweichender Vereinbarung gelten für die Wahl des Wagentyps, das Beladen, das Entladen des Gutes und

[268] nach: http://www.stinnes-freight-logistics.de/gueterwagenkatalog, aufgerufen am 22.02.2008.
[269] ebenda.

die Rückgabe des Wagens bzw. der intermodalen Transporteinheit die Vorschriften des Beförderers.“ (ABB-CIM, Anlage 1 GLV-CIM, § 6 Abs. 6.3 Satz 1). Bei den Vorschriften des Beförderers handelt es sich in unserem Fall u. a. um „Verladerichtlinien der Railion Deutschland AG“. Diese sehen zum Beispiel für den Transport von *Wandelementen* den Einsatz A-förmiger Ladegestelle aus Stahl vor. Die Ladegestelle müssen in Längsrichtung verladen werden. Verlädt man mehrere Ladeeinheiten auf ein Wagen, so ist ein Abstand von mindestens 50 cm zwischen den Ladeeinheiten einzuhalten. Die Platten überragen die Auflageholme der Ladegestelle auf beiden Seiten um etwa 50 cm. Jeder Stapel muss wenigstens zweimal auf den Ladegestellen festgebunden werden. Ladegestelle müssen mit dem Fußboden des Wagens fest verbunden sein.[270] Dabei soll das Begrenzungsprofil unbedingt eingehalten werden. Bei der Fußbodenhöhe des Wagens von 1.300 mm beträgt die maximale Höhe der Ladung 3.150 mm und die maximale Breite oben 1.380 mm[271] (s. Abb. 83).

Bei der Verladung von *Deckenplatten* ist u. a. auf Vorgaben über Auflagelängen (verteilte Auflage oder Auflage des Gutes auf zwei Unterlagen) für einen bestimmten Wagentyp zu achten. Die Vorzugsmaße der Ladung liegen bei 3.000 x 2.200 mm bzw. 2.400 x 2.500 mm (B x H), wenn die Fußbodenhöhe des Wagens 1.300 mm von der Schienenoberkante (SO) beträgt.[272] Der Transport von 3,00 m breiten Deckenelementen ist nur auf Wagen Rmms 662, Rps 688 und oben beschriebenen Güterwagen der S-Gattung möglich.

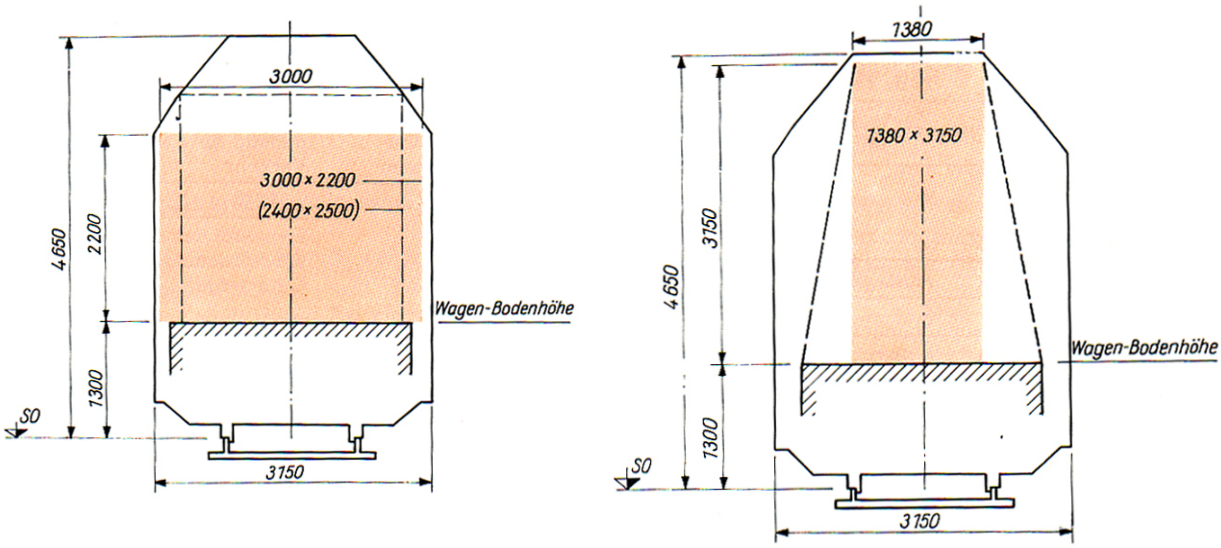


Abb. 83 : Ladeprofil für den liegenden und stehenden Transport von Betonfertigteilen[273]

Die beschädigungsfreie Beförderung von Betonfertigteilen hängt in erster Linie von der ordnungsgemäß durchgeführten Ladungssicherung ab. Auf die Ladung können bei Rangiervorgängen zum Teil Kräfte von bis zu 4*g*[274] in Wagenlängsrichtung wirken. In Wagenquerrichtung ist von 0,5-facher, und in senkrechter Richtung von 0,3-facher Gewichtskraft der Ladung auszugehen.

[270] Verladerichtlinie der Railion Deutschland AG, Abs. 6.2: „Stein- und Betonplatten (geleitende Verladeart)“.
[271] Ludewig, S.: Montagebau, Berlin, 1974, S. 337.
[272] ebenda, S. 337.
[273] ebenda, S. 337.
[274] 1*g* entspricht der Kraft bei Erdbeschleunigung (9,81m/s²); 4*g* bedeutet somit die 4-fache Erdbeschleunigung.

Transporthilfsmittel

Deckenelemente können auf Güterwagen in Bündelrahmen, EQ-Paletten und Flatcontainer gebündelt transportiert werden. Wandelemente hingegen können nur auf A-förmigen Gestellen verladen werden, da bereits bei einer Elementehöhe von 2,63 m die Verladung in Kassetten oder Open-Top-Container zwangsläufig zur Lademaßüberschreitung führt.

Umschlag

Die wichtigste Voraussetzung für den Umschlag der Betonfertigteile auf bzw. vom Güterwagen ist ein Gleis ohne Oberleitung. Dazu eignen sich alle Umschlagbahnhöfe für Stückgut, die i. d. R. über entsprechende Krananlagen verfügen, sowie Freiladegleise. Eine Suche der Freiladegleise in Deutschland ist über einen speziellen Service der Railion AG online möglich.

Kompatibilität

Der Bahntransport von Betonfertigteilen kann neben dem LKW-Vor- und -Nachlauf auch mittels LKW mit dem Seetransport im kombinierten Ladungsverkehr (KLV) oder mittels Umschlag auf weitere Ladungsträger kombiniert werden. Ebenfalls ist ein Umschlag zwischen Bahn und Binnenschiff möglich, vorausgesetzt ein Binnenhafen verfügt über einen Gleisanschluss.

8.2.3 Transportmittel Binnenschiff

Einsatzbereich

Ein ausgebildetes Wasserstraßennetz verbindet die bedeutendsten europäischen Industriezentren mit der Hohen See und mit dem Hinterland. Die Gesamtlänge deutscher Binnenwasserstraßen beträgt rund 7.300 km; 70 % davon besitzen internationale Bedeutung. Die gute Infrastruktur bietet eine breite Vielfalt an Transportdienstleistungen: vom Personenverkehr und Tourismus über Containertransport bis auf den RoRo-Verkehr. Über Oder, Elbe und Donau sind viele osteuropäische Staaten erschlossen. Ebenso ist eine Verbindung zur Ostsee und dem Schwarzen Meer möglich.

Für einen Transport von Betonfertigteilen von Deutschland nach Tschechien kommt ausschließlich das Wasserstraßensystem der Elbe mit ihren Seitenkanälen in Frage.

Problematisch gestaltet sich jedoch der stark schwankende Wasserstand. Ab dem Jahr 2010 soll beispielsweise die Elbe aber an mindestens 345 Tagen im Jahr schiffbar sein. Dazu wird diese streckenweise baulich verändert, so dass auf dem Streckenabschnitt zwischen Geesthacht (bei Hamburg) und Dresden eine Wassertiefe von mind. 1,60 m sowie von 1,50 m zwischen Dresden und Schönau gewährleistet werden soll. Durch eine neue Staustufe bei Děčín soll die gleiche Minimaltiefe auf dem tschechischen Streckenabschnitt erreicht werden.[275]

[275] www.rivernet.org 23.08.06 : Berlin und Prag einigen sich auf Ausbautiefen und indirekt auf tschechische Staustufe.

Unproblematisch hingegen verhält es sich mit der Beschiffbarkeit von den der Elbe angeschlossenen Elbe-Seitenkanälen, die ganzjährig bei gleich bleibender Wassertiefe für den Transport von Gütern genutzt werden können.

Binnenschiffstypen

In der Frachtschifffahrt werden Motorgüterschiffe oder Schub- bzw. Koppelverbände mit einem Schubschiff oder Motorgüterschiff eingesetzt.

Motorgüterschiffe werden vorwiegend für den Transport relativ hochwertiger Güter über große Entfernungen eingesetzt. Es sind Ein-, Zwei und Mehrraumschiffe für Massen- und Stückguttransporte, wobei insbesondere Stückgutschiffe zum Teil über flexible Schottwände auch flexible Laderaumgrößen bilden können. Auch der Einsatz im RoRo-Verfahren ist in der Binnenschifffahrt möglich.[276] Der Antrieb erfolgt durch Dieselmotoren, die von der Brücke aus gefahren und überwacht werden.

Die Tragfähigkeit der Motorgüterschiffe im mitteleuropäischen Raum liegt überwiegend zwischen 500 und 1.500 t. Auf geeigneten Wasserstraßen sind aber auch Fahrzeuge mit Tragfähigkeiten bis zu 3.000 t anzutreffen.

Schubschiffe werden in Kanalschubschiffe und in die leistungsstärkeren Stromschubschiffe unterteilt. Die Antriebsleistungen der Stromschiffe können bis zu 4.000 kW betragen.

Ein *Leichter* ist ein Lastkahn ohne eigenen Antrieb und wird von einem Schubschiff im Schubverband oder Motorschiff im Koppelverband geschoben[277]. In Deutschland werden am Niederrhein bis zu 6 Schubleichter (bis 16.000 t Fracht) eingesetzt. In ausgebauten Kanälen werden maximal 2 Leichter im so genannten Spargelverband voreinander gekoppelt.[278]

Abmessungen Norm-Leichter:[279]

- Europa Typ I: L: 70,00 m, B: 9,50 m, tief: 2,50 m, ton: 1.240 t,
- Europa Typ II: L: 76,50 m, B: 11,40 m, tief: 2,80 m, ton: 1.850 t,
- Europa Typ IIa: L: 76,50 m, B: 11,40 m, tief: 4,00 m, ton 2.800 t.

Die Schubschifffahrt gilt dabei als die effizienteste Variante der Binnenschifffahrt.[280] Der ökonomische Vorteil der Schubschifffahrt ergibt sich daraus, dass die Leichter unabhängig vom Schubschiff be- und entladen werden können. Für die Schubschiffe fallen dadurch nur geringfügige Wartezeiten an. Der Zeitfond für ihre produktive Nutzung kann dementsprechend hoch veranschlagt werden. Die fahrdynamischen Eigenschaften der Schubverbände sind günstig, weil sie eine mehr oder weniger in sich geschlossene Einheit bilden.

Die Binnenwasserstraßen im deutschen Bundesgebiet sind auf Grundlage der räumlichen Abmessungen abgestimmter Schiffstypen klassifiziert. Diese Klassen bestimmen vor allem Länge und Breite der

[276] www.rivernet.org 23.08.06 : Berlin und Prag einigen sich auf Ausbautiefen und indirekt auf tschechische Staustufe.
[277] http://www.binnenschiffe.com/binnenschiffe/modules/wordbook/entry.php?entryID=233.
[278] Müller, E.: Technische Entwicklungstendenzen in der Binnenschifffahrt, in Schiff & Hafen 7/99.
[279] http://www.binnenschiffe.com/binnenschiffe/modules/wordbook/entry.php?entryID=233, aufgerufen am 29.04.2008.
[280] http://www.binnenschiffahrtswelt.de/frachtarten.htm, aufgerufen am 29.04.2008.

Schiffe. Deren Abladetiefen, Fixpunkthöhen und Tonnagen sind dagegen variabel und werden daher nur als Richtwerte angegeben werden.

NORDSEE
OSTSEE
DK
NL
B
L
F
CH
A
CZ
PL
KIEL
LÜBECK
ROSTOCK
HAM-BURG
SCHWERIN
BREMEN
HANNOVER
BRAUN-SCHWEIG
MAGDEBURG
BERLIN
POTS-DAM
SZCZECIN (STETTIN)
GRONINGEN
MÜNSTER
OSNABRÜCK
DUIS-BURG
DORTMUND
HAMM
KASSEL
HALLE
LEIPZIG
DRESDEN
ERFURT
DÜSSELDORF
KÖLN
AACHEN
BONN
KOBLENZ
WIESBADEN
FRANKFURT (Main)
MAINZ
TRIER
WÜRZ-BURG
MANNHEIM
HEIDEL-BERG
HEILBRONN
KARLSRUHE
SAARBRÜCKEN
STUTTGART
NÜRNBERG
REGENS-BURG
INGOLSTADT
AUGSBURG
ULM
MÜNCHEN
FREIBURG
MULHOUSE (MÜLHAUSEN)
STRASBOURG (STRASSBURG)
BASEL
ZÜRICH
KONSTANZ
SALZBURG
LINZ
INNSBRUCK
PRAHA (PRAG)
PLZEŇ (PILSEN)
Flensburg
Kiel
Lübeck
Rostock
Stralsund
Wismar
Schwerin
Hamburg
Bremen
Hannover
Braunschweig
Magdeburg
Berlin
Potsdam
Szczecin (Stettin)
Groningen
Münster
Osnabrück
Dortmund
Hamm
Duisburg
Kassel
Halle
Leipzig
Dresden
Erfurt
Düsseldorf
Köln
Aachen
Bonn
Koblenz
Wiesbaden
Frankfurt (Main)
Mainz
Trier
Würzburg
Mannheim
Heidelberg
Heilbronn
Karlsruhe
Saarbrücken
Stuttgart
Nürnberg
Regensburg
Ingolstadt
Augsburg
Ulm
München
Freiburg
Mulhouse (Mülhausen)
Strasbourg (Strassburg)
Basel
Zürich
Konstanz
Salzburg
Linz
Innsbruck
Praha (Prag)
Plzeň (Pilsen)
Emden
Oldenburg
Meppen
Minden
Celle
Uelzen
Peine
Helmstedt
Wolfsburg
Brandenburg
Eberswalde
Frankfurt (Oder)
Cuxhaven
Bremerhaven
Wilhelmshaven
Aurich
Delfzijl
Tönning
Rendsburg
Kiel-Holtenau
Brunsbüttel
Lauenburg
Wismar
Rostock
Stralsund
Ryck
Peene
Trebel
Müritz
Uecker
Oder (Oder)
Warta (Warthe)
Lausitzer Neiße
Spree
Elbe
Saale
Mulde
Weser
Ems
Rhein
Main
Donau
Neckar
Mosel
Saar
Lahn
Fulda
Werra
Unstrut
Ilmenau
Regnitz
Naab
Regen
Isar
Inn
Lech
Iller
Salzach
Enns
Ohre (Eger)
Labe (Elbe)
Vltava (Moldau)
Berounka (Beraun)
Moselle
Canal de la Marne au Rhin (Rhein - Marne - Kanal)
Canal du Rhône au Rhin (Rhein- Rhone- Kanal)
Twenthe K.
Maas
Ijssel
V. Starkenb. K.
Eemskanal
Princes-MK
Dortm.-Ems-Kanal
Mittelland-kanal
Elbe-Seitenkanal
Main-Donau-Kanal
Fränk. Rezat
Altmühl
Bodensee
Kehl
Breisach
Kempten
Passau
Plochingen
Kelheim
Aschaffenburg
Schweinfurt
Bamberg
Gießen
Hann. Münden
Diemel-Talsp.
Eder-Talsp.
Datteln
Wesel
Emden
Delfzijl
Lübeck
Travemünde
Lauenburg
Elbe-Lübeck-Kanal
Wesel-Datteln-Kanal
Dortmund-Ems-Kanal
Küstenkanal
Mittellandkanal
Elbe-Seitenkanal
Stichkanal Salzgitter
Stichkanal Hildesheim
Stichkanal Wolfsburg
Stichkanal Rühen
Stichkanal Uelzen
Stichkanal Peine
Stichkanal Hannover
Stichkanal Osnabrück
Stichkanal Minden
Stichkanal Hamm
Stichkanal Datteln
Stichkanal Wesel
Stichkanal Emden
Stichkanal Oldenburg
Stichkanal Bremerhaven
Stichkanal Cuxhaven
Stichkanal Brunsbüttel
Stichkanal Kiel
Stichkanal Rendsburg
Stichkanal Tönning
Stichkanal Flensburg
Stichkanal Lübeck
Stichkanal Rostock
Stichkanal Stralsund
Stichkanal Wismar
Stichkanal Schwerin
Stichkanal Hamburg
Stichkanal Berlin
Stichkanal Potsdam
Stichkanal Brandenburg
Stichkanal Magdeburg
Stichkanal Halle
Stichkanal Leipzig
Stichkanal Dresden
Stichkanal Erfurt
Stichkanal Kassel
Stichkanal Frankfurt
Stichkanal Wiesbaden
Stichkanal Koblenz
Stichkanal Trier
Stichkanal Saarbrücken
Stichkanal Mannheim
Stichkanal Heidelberg
Stichkanal Heilbronn
Stichkanal Karlsruhe
Stichkanal Stuttgart
Stichkanal Ulm
Stichkanal Augsburg
Stichkanal Ingolstadt
Stichkanal Regensburg
Stichkanal Nürnberg
Stichkanal Würzburg
Stichkanal Schweinfurt
Stichkanal Aschaffenburg
Stichkanal Gießen
Stichkanal Hann. Münden
Stichkanal Kassel
Stichkanal Fulda
Stichkanal Werra
Stichkanal Unstrut
Stichkanal Ilmenau
Stichkanal Saale
Stichkanal Mulde
Stichkanal Elbe
Stichkanal Spree
Stichkanal Lausitzer Neiße
Stichkanal Oder
Stichkanal Warta
Stichkanal Frankfurt
Stichkanal Szczecin
Stichkanal Uecker
Stichkanal Peene
Stichkanal Trebel
Stichkanal Ryck
Stichkanal Reck
Stichkanal Müritz
Stichkanal Warnow
Stichkanal Nebel
Stichkanal Schwerin
Stichkanal Wismar
Stichkanal Rostock
Stichkanal Stralsund
Stichkanal Peene
Stichkanal Trebel
Stichkanal Müritz
Stichkanal Uecker
Stichkanal Oder
Stichkanal Warta
Stichkanal Lausitzer Neiße
Stichkanal Spree
Stichkanal Elbe
Stichkanal Saale
Stichkanal Mulde
Stichkanal Weser
Stichkanal Ems
Stichkanal Rhein
Stichkanal Main
Stichkanal Donau
Stichkanal Neckar
Stichkanal Mosel
Stichkanal Saar
Stichkanal Lahn

Tab. 87: Anhang zu Abb. 84

Graphisches Symbol auf der Karte	Klasse der Binnen-wasser-straße	MOTORSCHIFFE UND SCHLEPPKÄHNE Typ des Schiffes: Allgemeine Merkmale					SCHUBVERBÄNDE Art des Schubverbandes: Allgemeine Merkmale					Brücken-durchfahrts-höhe
		Bezeichnung	Länge L (m)	Breite B (m)	Tiefgang d (m)	Tonnage T (t)	Formation	Länge L (m)	Breite B (m)	Tiefgang d (m)	Tonnage T (t)	
	I	Penische Westlich der Elbe	38,5	5,05	1,8-2,2	250-400						4,0
		Gross Finow Östlich der Elbe	41	4,7	1,4	180						3,0
	II	Kempenaar Westlich der Elbe	50-55	6,6	2,5	400-650						4,0-5,0
		BM-500 Östlich der Elbe	57	7,5-9,0	1,6	500-630						3,0
	III	Gustav Koenigs Westlich der Elbe	67-80	8,2	2,5	650-1000						4,0-5,0
		Östlich der Elbe	67-70	8,2-9,0	1,6-2,0	470-700		118-132	8,2-9,0	1,6-2,0	1000-1200	4,0
	IV	Johann Welker	80-85	9,5	2,5	1000-1500		85	9,5	2,5-2,8	1250-1450	5,25 od. 7,0
	Va	Große Rheinschiffe	95-110	11,4	2,5-2,8	1500-3000		95-110	11,4	2,5-4,5	1600-3000	5,25 od. 7,00 od. 9,1
	Vb							172-185	11,4	2,5-4,5	3200-6000	
	VIa							95-110	22,8	2,5-4,5	3200-6000	7,0 od. 9,1
	VIb		140	15	3,9			185-195	22,8	2,5-4,5	6400-12000	
	VIc							270-280 195-200	22,8 33,0-34,2	2,5-4,5	9600-18000	9,1

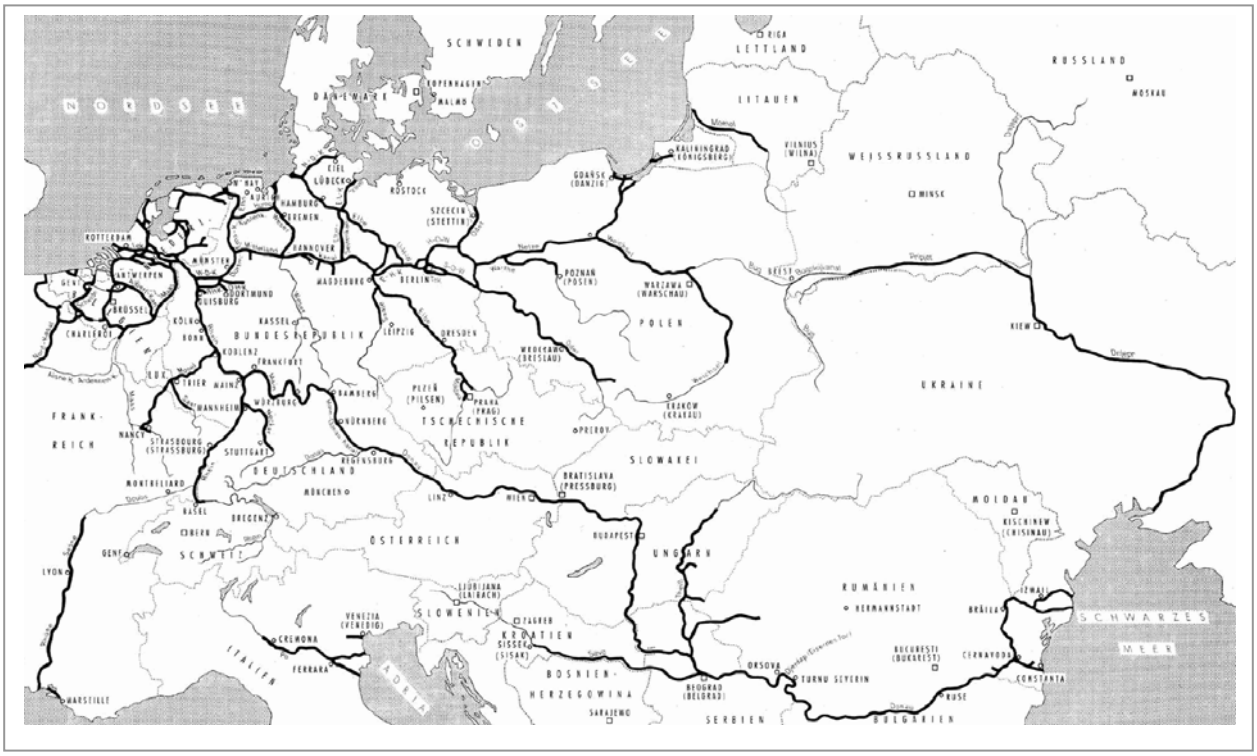


Abb. 85 : Übersichtskarte europäischer Wasserstraßen[282]

Für die Verladung und den Transport durch die Binnenschifffahrt gelten die Internationalen Verlade- und Transportbedingungen für die Binnenschifffahrt (IVTB) des Vereins für europäische Binnenschifffahrt und Wasserstraßen e.V. (VBW)[283]

[282] http://www.vbw-ev.de/service/w170a.gif, aufgerufen am 29.04.2008.
[283] http://www.vbw-ev.de/service/ivtb2.pdf.

Beladung und Umschlag

Die Verladung von Betonfertigteile, ob gebündelt oder einzeln angefasst, erfolgt wie beim Bahntransport nach Vorgaben des Beförderers unter Beachtung konstruktiver Besonderheiten des Schiffes.

Der Umschlag der Güter wird in Binnenhäfen durchgeführt, welche i. d. R. über Gleisanschluss und Fördertechnik verfügen. Zusätzlich können bspw. auf dem Wasserstraßensystem der Elbe die so genannten *temporären Umschlaganlagen*[284] genutzt werden. Gerade für die zu transportierenden Betonfertigteile bieten sich die temporären Umschlaganlagen an, da dadurch mehr (Rückbau-)Standorte an das Wasserstraßennetz angeschlossen sind.

Abb. 86 : Temporäre Umschlaganlagen WSA Dresden[285]

Im Freistaat Sachsen befinden sich im Einflussbereich des WSA Dresden insgesamt 44 temporäre Umschlaganlagen an der Elbe im Bereich zwischen der Einmündung der Saale und des Grenzübergangs der Elbe nach Tschechien, in der Nähe von Bad Schandau. Diese 44 temporären Umschlaganlagen im Bereich der WSA Dresden erstrecken sich über eine Distanz von ca. 277 km Flusslauf (Elbe km 10,2 bis Elbe km 287,4).

Für die Nutzung dieser temporären Umschlaganlagen ist eine Reihe von Voraussetzungen zu erfüllen. Vorrangig liegen diese in der Einholung der gesetzlich vorgeschriebenen öffentlich-rechtlichen Genehmigungen und im Weiteren in der Erfüllung privatrechtlicher Anforderungen wie z.B. Nutzungsver-

[284] Die temporären Umschlaganlagen sind ein zusätzliches Angebot für die Binnenschifffahrt und ergänzen die bereits vorhandenen öffentlichen Binnenhäfen bzw. privaten Werkshäfen.
[285] Katalog Temporäre Umschlagmöglichkeiten an Bundeswasserstraßen zwischen Elbe und Oder, Stand: Juli 1999.

träge oder dem Abschluss von Umschlagverträgen. Eine Prüfung der Rahmenbedingungen für einzelne temporäre Umschlaganlagen ist für den Fall, dass es zu einem Transport über den Weg der Binnenwasserstraßen kommt, vorzunehmen.

Transporthilfsmittel

Für die Beförderung von Betonfertigteilen auf Binnenwasserstraßen können alle beschriebenen Transporthilfsmittel eingesetzt werden. Insbesondere standardisierte 20' und 40' Container bieten im Binnenschiffsverkehr eine nahezu optimale Lösung im Hinblick auf Umschlagabläufe und Frachtraumverfügbarkeit an.

Kompatibilität

Das Transportmittel Binnenschiff kann in beliebige Transportketten eingesetzt werden, vorausgesetzt die Knotenpunkte dieser Transportketten haben einen Anschluss mit anderen Transportmitteln.

8.2.4 Transportmittel Seeschiff / Fähre

Einsatzbereich

Der Transport von Betonfertigteilen auf Hoher See kommt nur in Frage, wenn die Wiederverwendung in Ostseeanrainerstaaten durchgeführt wird. Es bestehen feste Fährverbindungen zwischen Hamburg, Lübeck, Saßnitz und Baltijsk, Klaipeda, St. Petersburg. Abgesehen vom Fährverkehr können mit gecharterten Schiffen zusätzlich die Häfen Kiel, Lübeck, Rostock, Greifswald, Stettin und Kaliningrad angefahren werden. Über den Fährhafen Saßnitz können u. a. RoRo-Bahntransporte abgewickelt werden, Lübeck, Rostock und Kiel sind für LoLo-[286] und Containerverkehr geeignet. Anzumerken ist, dass die Fährverbindungen mit Russland zurzeit sehr ausgelastet sind, was unter Umständen längere Transportabläufe nach sich ziehen kann.

Theoretisch besteht die Möglichkeit über Donau und Schwarzes Meer weitere Standorte für die Wiederverwendung gebrauchter Betonfertigteile zu erschließen. Diese Variante wurde aber im Rahmen dieses Teilberichtes nicht untersucht.

Schiffs- und Fährtypen

Zwischen Saßnitz und St. Petersburg verkehren die Fährschiffe MS „Translubeca" und MS „Finlandia" mit einer Ladekapazität von 1.800 Lademeter bzw. ca. 130 Trailer und 2.000 Lademeter bzw. ca. 145 Trailer. Bei größeren Transportvolumen können Stückgutschiffe und Massengutfrachter unterschiedlicher Bauart gechartert und individuell entsprechend der Nachfrage abgestimmt werden.

Beladung, Umschlag und Transporthilfsmittel

Im RoRo-Verfahren transportierte Betonfertigteile müssen zuvor auf eine bewegliche Ladeeinheit verladen werden; auf Güterwagen beim RoRo-Bahntransport oder auf ein standardisierten Rolltrailer,

[286] LoLo-Verfahren (von engl. *Lift on Lift off*) Die Ladung wird mit Hilfe eigenen oder fremden Hebezeugen verstaut oder gelöscht. Fast alle Frachtschiffe werden durch dieses Verfahren be- und entladen. [Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/LoLo-Verfahren, aufgerufen am 29.04.2008].

wenn die Betonelemente per LKW weiter transportiert werden (Nachlauf). Im LoLo-Verfahren erfolgt das Verladen von Betonelementen nach Vorgaben des Beförderers und muss in jedem Einzelfall individuell angepasst werden. In Open-Top-Containern verladene Wandelemente zum Beispiel haben eine Lademaßüberschreitung und können somit nur auf das oberste Deck geladen werden. Rolltrailer mit Wand- oder Deckenplatten hingegen können an unterschiedlichen Stellen verladen werden, so dass die Last auf Deck gleichmäßig verteilt wird.

Der Umschlag von einzelnen Betonelementen oder ganzen Ladeeinheiten wird im Hafen mittels vorhandener Verladetechnik durchgeführt. Die Infrastruktur der Häfen erlaubt den Einsatz aller beschriebenen Transporthilfsmittel.

Kompatibilität

Das Transportmittel Seeschiff als Teil einer Logistikkette ist mit allen beschriebenen Transportmitteln kompatibel. Ausnahmen machen lediglich Transporte über die Häfen Rostock und Saßnitz, welche keine Anbindung an Binnenwasserstraßen haben.

8.3 Transporthilfsmittel

8.3.1 Zerlegbare Bündelrahmen

Der zerlegbare demontierbare Bündelrahmen ist eine Empfehlung der Fachgruppe Bauliches Recycling, die speziell für den effizienteren und sicheren Transport von mehreren Deckenplatten dient. Damit wird die Bildung von Paketen aus vier bis acht übereinander gestapelten Deckenelementen ermöglicht und sichert gleichzeitig ein Verrutschen der Decken in Querrichtung. Das Paket kann an den Tragösen der Bündelrahmen mit einer Traverse (in Abb. 87 nur als 4-Strang-Gehänge dargestellt) angeschlagen werden. Nach Entladen der Deckenplatten kann der Rahmen für den Platz sparenden Rücktransport leicht zerlegt werden.

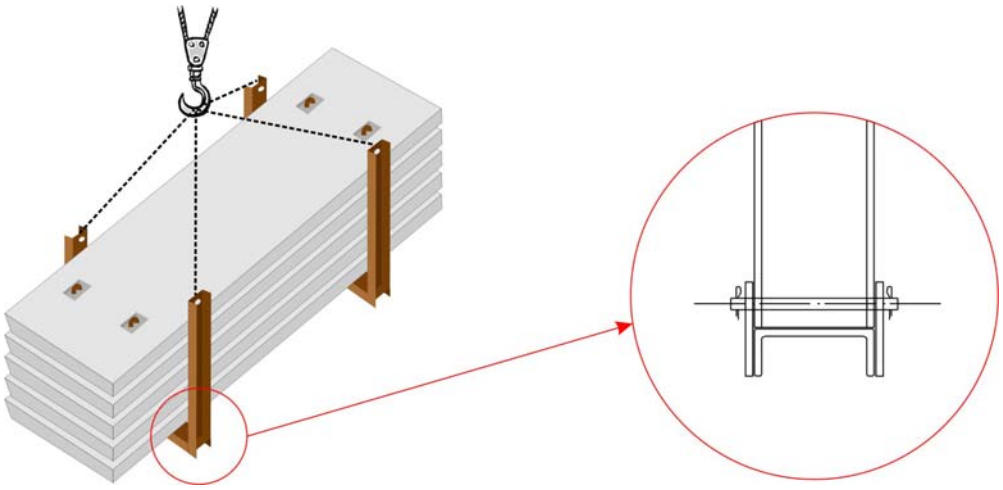


Abb. 87 : Zerlegbare Bündelrahmen

Ein Bündelrahmen besteht aus drei U-Trägern (Stahl), welche mit einem Stahlbolzen (Ø 16 mm) miteinander verbunden sind. Die Verbindungsstellen und Tragösen sind mit zusätzlichen Stahlblechen

verstärkt. Der Rahmen wird 0,3 bis 0,5 m vom Stapelende auf beiden Seiten positioniert und mit Spanngurten festgezurrt.

Diese Lösung bietet deutliche Vorteile gegenüber Rollpaletten u. ä.: geringer Materialeinsatz, einfache Fertigung und geringes Gewicht sparen Kosten bei der Beschaffung und beim Transport. Ebenfalls können Tararetourenkosten gesenkt werden. Der Bündelrahmen kann allerdings nur für den Transport von 1,8 m breiten Deckenplatten eingesetzt werden, da die meisten Transportunternehmen eine (Dauer-) Sondergenehmigung nur für die Ladungsbreite bis 3 m haben und der überwiegende Anteil der Deckenplatten der WBS 70/11 Typenserie 2,98 m breit sind.

8.3.2 A-Bock

Ein A-förmiges Ladegerüst aus Stahl, auch A-Bock genannt, ist eine altbewährte und universelle Lösung für den Transport und Lagerung von Wandelementen.

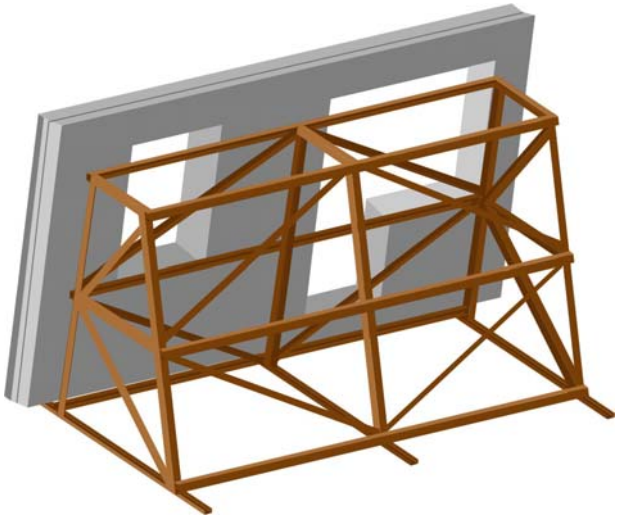


Abb. 88 : A-Bock

Mit Holz verkleidete Aufstands- und Anlegeflächen bilden einen rechten Winkel und sind um 10° - 12° zur A-Bock Mitte geneigt. Für bequemes und sicheres Anschlagen der Wandelemente sind die A-Böcke mit begehbaren Plattformen und einer fest angeschweißten Leiter ausgestattet. Es gibt unterschiedliche Ausführungen von A-Böcken, die sich vor allem durch ihr Eigengewicht unterscheiden. Der VEB Baumechanik Cottbus stellte eher solidere Konstruktionen mit einer Eigenlast von 1,25 t her, die A-Böcke russischer Produktion dagegen wiegen im Schnitt 0,9 bis 1,1 t. Die Abmessungen variieren zwischen 2,0 und 2,5 m in der Breite und Höhe und 3,0 bis 5,5 m in der Länge.

Die A-Böcke waren in der DDR-Zeit Eigentum der Wohnungsbaukombinate (WBK) und Betonwerke. Heutzutage sind vereinzelt bei einigen Speditionsunternehmen oder auf zum Teil verlassenen Betonwerksgeländen solche A-Böcke zu finden. Weniger problematisch ist dagegen die Verfügbarkeit oder Beschaffung von A-Böcken in Russland und anderen Ländern, wo die industrielle Bauweise im Wohnungsbau weiterhin einen hohen Stellenwert hat im Vergleich zum monolithischen Bauen.

8.3.3 Paletten

Die Paletten für Wand- und Deckenelemente unterschiedlicher Bauart wurden in der DDR speziell für den Transport von Betonfertigteilen zu den Baustellen konzipiert und eingesetzt. Der gängigste Typ von solchen Paletten, die so genannte EQ-Palette – Einheitsquerrolltechnik Palette von Typ U 6000 und U 8000 (hergestellt in VEB Baumechanik Hennigsdorf) wurde in allen ehemaligen WBK der Republik eingesetzt. Mit einem Eigengewicht von 6,9 t hatten sie die Abmessungen von 7,75 (9,78) x 2,92 m und eine maximale Ladehöhe von 3,10 (2,99[5]) m[287]. Für den Transport dieser Paletten wurden

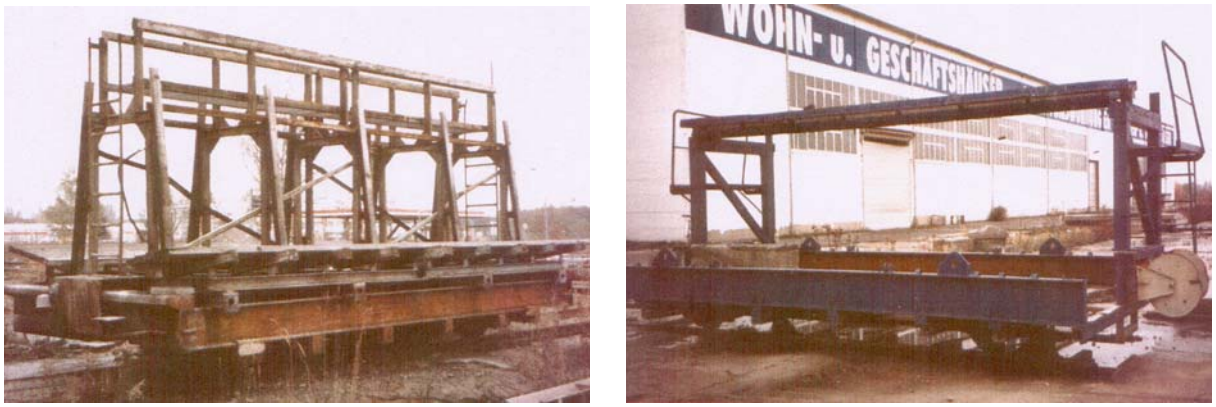


Abb. 89 : Ausfahrpaletten im Betonwerk Hoyerswerda[288]

spezielle Tiefladeanhänger, z. B. vom Typ SL 40 eingesetzt. Diese Anhänger hatten eine maximale Nutzlast von 40 t und konnten bei günstiger Verladung bis zu 10 Wandelemente gleichzeitig befördern. Einige Paletten verfügten über 4 Radsätze, was einen schnellen Umschlag über Rampen und Übergangsbrücken ermöglichte. Zudem wurde der Umschlag auf LKW oder Güterwagen in Betonwerken über spezielle Palettenabsetzanlagen abgewickelt.

Über die Verfügbarkeit dieser Paletten kann heute keine genaue Aussage gemacht werden. Einige davon wurden z. B. auf dem Gelände des Betonwerks Hoyerswerda vorgefunden (s. Abb. 89).

8.3.4 Container

Die standardisierten Container sind die meist verbreiteten Ladungsträger im kombinierten Ladungsverkehr (KLV). Die Infrastruktur von Binnen- und Seehäfen, vielen Umschlagbahnhöfen der Bahn sowie die Fahrzeugflotte zahlreicher Speditionsunternehmen ist auf den Transport, Umschlag und Lagerung von Container zugeschnitten. Sie können mehrfach übereinander gestapelt werden, haben einheitliche Eckbeschläge für schnelles und sicheres Befestigen untereinander oder auf einem Fahrzeug, Gabelstaplertaschen und Greifkanten für Flurfördertechnik und Krane.

[287] Ludewig, S.: Montagebau, Berlin, 1974, S. 345
[288] Kunde, D.; Lätsch, E.: Rückbau industrieller Bausubstanz, Januar 2005.

Abb. 90 : 40’ Open Top-Container (li), 20’ (mi) und 40’ (re) Flats[289]

Für den Transport von Betonfertigteilen eignen sich Container, die von oben (und nicht durch die Türen) beladen werden können: Open Top-Container und Flats mit 20’ und 40’ Länge. Bei einem Open Top-Container besteht das Dach aus abnehmbaren Spriegeln und einer abnehmbaren Plane. Der obere Türquerträger kann ausgeschwenkt werden. Dies ermöglicht auch ein bequemes „Einführen“ von Wandelementen mit dem Kran durch die Türöffnung.

Tab. 88: Container und Abmessungen[290]

Open Top-Container aus Stahl: 20' lang und 8'6" hoch, mit gesickten Wänden, abnehmbarer Plane und Holzboden							
Innenabmessungen				**Gewichte**			**Volumen**
Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe (Mitte) [mm]	Höhe (Seite) [mm]	Zul. Gesamtgewicht [kg]	Eigengewicht [kg]	Max. Zuladung [kg]	[m³]
5888	2345	2365	2315	30480	2250	28230	32,0
5897	2350	2377	2347	30480	2350	28130	32,5
Open Top-Container aus Stahl: 40' lang und 8'6" hoch, mit gesickten Wänden, abnehmbarer Plane und Holzboden							
Innenabmessungen				**Gewichte**			**Volumen**
Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe (Mitte) [mm]	Höhe (Seite) [mm]	Zul. Gesamtgewicht [kg]	Eigengewicht [kg]	Max. Zuladung [kg]	[m³]
12029	2342	2376	2326	30480	3810	26670	65,5
12022	2345	2365	2315	30480	3740	26740	65,3
12030	2350	2377	2347	30480	3850	26630	66,4

Flat: Stahlrahmen mit festen Stirnwänden und Weichholzboden, 20' lang und 8'6" hoch								
Innenabmessungen						**Gewichte**		
Länge des Bodens [mm]	Länge zwischen den Eckpfosten [mm]	Breite des Bodens [mm]	Breite zwischen den Rungen [mm]	Höhe [mm]	Höhe des Bodens [mm]	Zul. Ges. Gew. [kg]	Eigengewicht [kg]	Max. Zuladung [kg]
5980	5698	2230	2245	2255	336	24000	2500	21500
5962	5672	2242	2242	2261	330	30000	2200	27800

[289] http://www.tis-gdv.de/tis/containe/inhalt2.htm; aufgerufen am 20.04.2005.
[290] http://www.tis-gdv.de/tis/container/inhalt1.htm; aufgerufen 20.04.2005.

Flat: Stahlrahmen mit festen Stirnwänden und Weichholzboden, 40' lang und 8'6" hoch								
Innenabmessungen						Gewichte		
Länge des Bodens [mm]	Länge zwischen den Eckpfosten [mm]	Breite des Bodens [mm]	Breite zwischen den Rungen [mm]	Höhe [mm]	Höhe des Bodens [mm]	Zul. Ges. Gew. [kg]	Eigengewicht [kg]	Max. Zuladung [kg]
12010	11832	2228	2228	1981	610	45000	4200	40800
12086	11826	2224	2224	1981	610	45000	4200	40800
12010	11826	2244	2204	1981	610	45000	4200	40800
Flat/Plattform: Stahlrahmen mit klappbaren Stirnwänden und Weichholzboden, 20' lang und 8'6" hoch,								
Innenabmessungen						Gewichte		
Länge des Bodens [mm]	Länge zwischen den Eckpfosten [mm]	Breite des Bodens [mm]	Breite zwischen den Rungen [mm]	Höhe [mm]	Höhe des Bodens [mm]	Zul. Ges. Gew. [kg]	Eigengewicht [kg]	Max. Zuladung [kg]
6038	5638	2208	2438	2235	370	30480	2520	27960
6038	5612	2210	2438	2213	370	34000	2740	31260

In 20’ Open Top-Container können von der Länge des Laderaums her allerdings nur Innenwandelemente transportiert werden. Beim Transport beladener Container ist eine Lademaßüberschreitung von ca. 26 cm nach oben (entspr. Elementehöhe von 2,63[5291]) m zu beachten.

Flats bestehen aus einer hochbelastbaren Bodenkonstruktion, die sich aus einem Stahlrahmen und einem Weichholzboden zusammensetzt, und den zwei entweder fest installierten oder klappbaren Stirnwänden. Die Stabilität der Stirnwände erlaubt es, Ladungssicherungsmittel anzuschlagen und mehrere Flats übereinander zu stapeln. Sie werden als 20'- und 40'-Flats angeboten. Für den Transport bestimmter Ladungen können die Flats mit Rungen versehen werden.[292] Die Flatcontainer und -plattformen eignen sich für den Transport von 1,8 m breiten Deckenelementen.

[291] vgl. Elementekataloge P2 und WBS 70, Hrsg. A. Mettke, 2005 bzw. 2007.
[292] http://www.tis-gdv.de/tis/containe/arten/flat/flat.htm; Aufgerufen am 20.04.2005.

8.3.5 Rolltrailer

Die Rolltrailer, nach Markenname auch Mafi genannt, ist ein Spezialtrailer für die RoRo-Beladung von Schiffen. Rolltrailer haben eine tiefe Ladefläche, einen kleinen Radsatz hinten und eine Aufnahmevorrichtung für Zugmaschinen vorne.

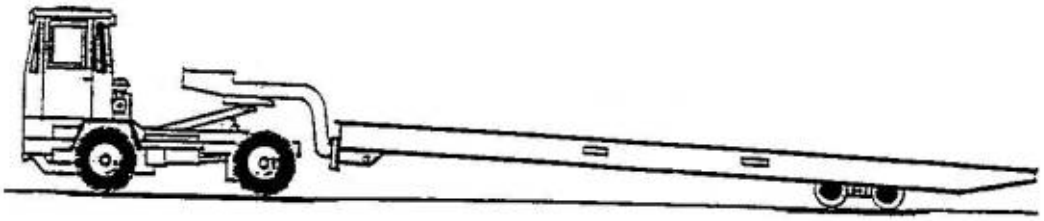
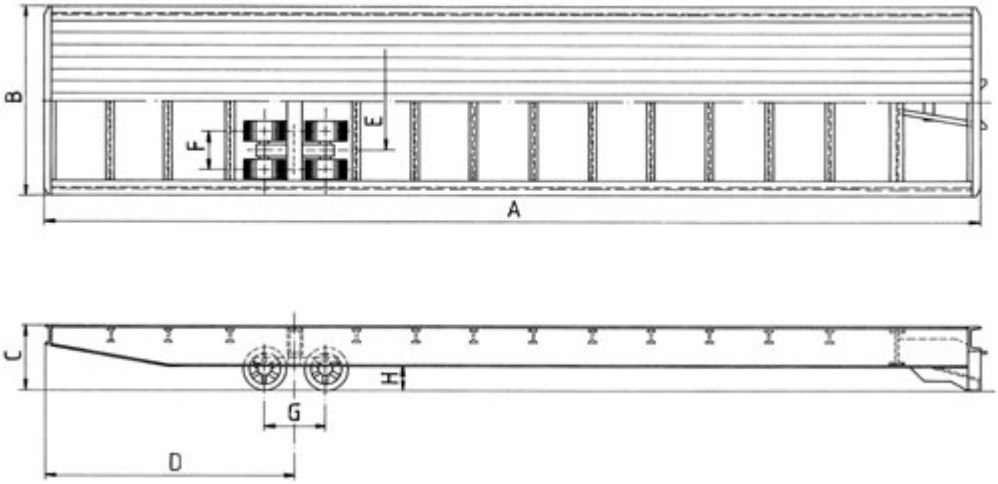


Abb. 91 : RoRo-Zugmaschine MAFI mit einem Rolltrailer[293]



Abmessungen:

A: 12.300 mm,
B: 2.490 mm,
C: 820 mm,
D: 3.500 mm,
E: 1.090 mm,
F: 600 mm,
G: 750 mm,
H: 320 mm.

Abb. 92 : Rolltrailer mit 70 t max. Zuladung[294]

Die Nutzlast der Rolltrailer ist je nach Bauart unterschiedlich, von 40 bis 120 t. Die Rolltrailer werden im RoRo-Fährverkehr zwischen Saßnitz und St. Petersburg eingesetzt und können mit allen beschriebenen Betonfertigteilen und Transporthilfsmitteln beladen werden. Eine eventuelle Lademaßüberschreitung kann zugelassen werden, ist aber i. d. R. mit höheren Frachttarifen verbunden.

[293] Ivanov, E.; Vermarktung gebrauchter Stahlbetonelemente im Raum St. Petersburg, Studienarbeit, BTU Cottbus, 2007.
[294] ebenda.

8.4 Kombinationsmöglichkeiten

Die beschriebenen Transportmittel und -hilfsmittel können je nach Aufgabenstellung unter Berücksichtigung ihrer Kompatibilitätsaspekte beliebig kombiniert werden, um eine optimale transporttechnische Lösung zu erarbeiten.

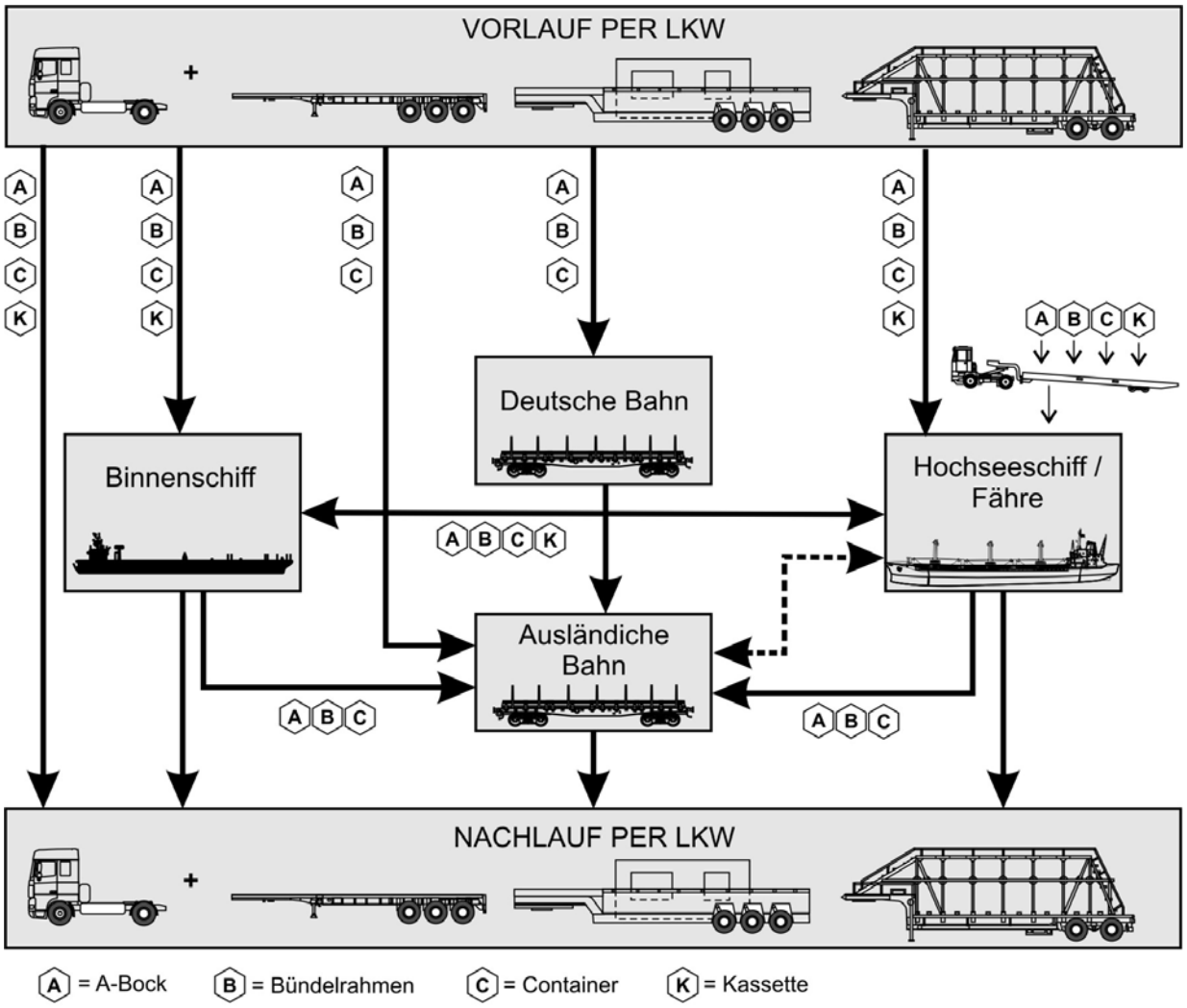


Abb. 93 : Überblick über die geeigneten Kombinationsmöglichkeiten für den Transport gebrauchter Betonfertigteile

Ein Einsatz geeigneter Transporthilfsmittel bietet viele Vorteile: erhöhte Transportsicherheit, Verkürzung der Umschlagzeiten und als Folge – effizientere Gestaltung des gesamten Transportablaufs. Allerdings ist die Beschaffung einiger Transporthilfsmittel mit zusätzlichen Kosten verbunden. Die Verfügbarkeit von A-Bockgestellen oder Rollpaletten ist, wie bereits erwähnt, eher selten gegeben. Die Herstellung eines neuen A-Bocks kann bei aktuellen Stahlpreisen von ca. 1 €/kg bis zu 4.000 € kosten.[295] Aus dieser Hinsicht kann die Beschaffung einiger Transporthilfsmittel für relativ kleine Transportumfänge unter Umständen letztendlich sogar teurer sein, als ein zusätzlicher Aufwand für den Umschlag nicht gebündelter Betonfertigteilen.

[295] Lüdtke, M.; „Kostenuntersuchung zum Einsatz von Altbetonteilen anhand eines Referenzobjektes“, Diplomarbeit, BTU Cottbus, November 2007.

Die Kosten des jeweiligen Transportmittels sowie für einige Umschlagvorgänge sind im Abschn.10.5 beschrieben, ermittelt und verglichen.

8.5 Anforderungen und Hinweise zu den TUL-Prozessen

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.

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. 94). 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[296]. 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. 95). Für 3 m breite Deckenplatten ergibt sich somit eine Maximalanzahl von 16 – 18 Bauteilen inkl. Stapelhölzer).

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

Bei längerfristigen Zwischenlagerungen entweder unweit vom Demontageobjekt oder in Bauelementebörsen wie derzeit am Standort in Mellingen (Thüringen) wird empfohlen, die Altbetonbauteile gegen Witterungseinflüsse (z.B. mittels Abdeckfolien) zu schützen.

Abb. 94 : Zwischenlagerung und Transport von Deckenplatten

Die Stapelhölzer zwischen den Deckenelementen sind in Auflagernähe (s. Abschn. 8.2.1) anzuordnen, um Rissbildungen oder gar Bauteilbrüche durch unvorhersehbare (falsche) Lasteinträge zu vermeiden. Abb. 95 (re.) zeigt die Auswirkungen einer unsachgemäßen Stapelung.

Abb. 95 : Anordnung der Stapelhölzer bei Deckenplattenstapeln (li., mi.); Bauteilbruch durch unsachgemäße Anordnung der Stapelhölzer (re.)

Wand- und Drempelelemente werden in Einbaulage stehend – wie bereits mehrfach beschrieben - i.d.R. an ein Stapelgestell (z.B. A-Bock[297]; s. Abb. 96) 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 gesichert werden. Außerdem sollten sie mittels Flachstählen (vgl. Abschn. 7.2) verbunden werden, um ein Auskargen des Türschaftes und somit Reißen dieser zu unterbinden.

Da nicht immer A-Böcke verfügbar waren, dienten Deckenplattenstapel zur Zwischenlagerung/Anlehnung von Wandelementen (vgl. Abb. 96 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.

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

Abb. 96 : A-Bock, Sicherung der Transportladung, Sicherung der Türschäfte und Zwischenlagerung von Außenwandelementen (v.l.n.r.)

8.6 Vision - Transportlogistik

Der Transport über den Luftweg wurde am Anfang dieses Abschnitts ausgeschlossen, soll aber hier kurz aufgegriffen werden. Grundsätzliche Probleme für den Transport der Betonelemente stellen vor allem die notwendigen Umschlagarbeiten dar. Hierbei können die meisten Beschädigungen an den Betonplatten durch nicht sachgemäßes Anschlagen, Umschlagen und Zwischenlagern entstehen. Diese können nur durch ausführliche Schulungen des Personals und unbedingte Sorgfalt bei der Ausführung der TUL-Prozesse vermieden werden.

Für die einfachste Variante des Transports sind die Altbetonplatten mindestens 4 Umschlagprozessen ausgesetzt. Diese umfassen den Demontageprozess selbst, das Beladen, das Entladen sowie den Remontagevorgang. Werden zusätzlich noch andere Transportmittel, wie Bahn oder Schiff, eingesetzt oder die Elemente in einem Zwischenlager vorgehalten kommen weitere TUL-Vorgänge hinzu.

Eine Lösung der Umschlagproblematik bietet die visionäre Idee der CL CargoLifter GmbH & Co Kommanditgesellschaft auf Aktien, welche am 21.6.2005 als nach Nachfolger der CargoLifter AG neu gegründet wurde[298]. Auf Basis der „Leichter-als-Luft-Technologie“ sollen hier Luftschiffe entwickelt werden, welche über einen leistungsfähigen Schwerlastkran am Kiel große und schwere Güter durch das Traggas Helium heben, laden und über weite Strecken transportieren können ohne zu landen. Erforderlich ist nur die Bereitstellung von Ballastwasser und am Boden befindliche Haltepunkte, welche das Luftschiff am „Landeplatz“ in ca. 100 m über den Erdboden halten.

[298] http://www.cargolifter.de, aufgerufen am 19.07.2007.

Abb. 97 : CargoLifter CL 160 (Computersimulation)[299]

Insbesondere ist die geplante Entwicklung des CL 160 zu erwähnen, welcher dann über 160 t Last übernehmen kann. Dies entspricht der Masse Bauteile, welche für die Errichtung eines Zwei-Familienhauses benötigt werden

Gleichzeitig kann dieses Luftschiff auch für Kranarbeiten eingesetzt werden. Somit könnte in Zukunft die Demontage des Spendergebäudes durch den Kran des Luftschiffes erfolgen. Die Bauteile für eine Wiederverwendung werden direkt auf die Ladefläche des CL 160 verbracht und nach Beendigung der Rückbaumaßnahme an den Standort des Wiederneubaus transportiert. Dabei sind keine weiteren Umschlagprozeduren erforderlich und das Luftschiff erreicht auch über den Landweg schwer zugängliche Gebiete ohne Probleme, da beispielsweise das Rangieren in engen Zufahrten oder Beeinträchtigungen durch Last- oder Übergrößenbeschränkungen entfallen. Am Remontageort kann der CL 160 wiederum als Montagekran eingesetzt werden. Insgesamt sind so nur noch zwei TUL-Vorgänge für den Transport der sekundären Bauteile erforderlich, welche zudem noch in großen Mengen befördert werden können.

[299] http://www.cargolifter.de, aufgerufen am 19.07.2007.

9 Grundsätzliches zur Wiederverwendung von Betonelementen

9.1 Überblick zu sekundären Einsatzbereichen von Betonelementen

Rückgebaute/demontierte Betonelemente lassen sich in Abhängigkeit ihrer Gebrauchseigenschaften und unter Prognose ihrer Restnutzungsdauer auf vielfältige Art und Weise nachnutzen (s. Abb. 98). Es handelt sich hierbei um die höchstwertige Recyclingform: um das Produktrecycling[300].

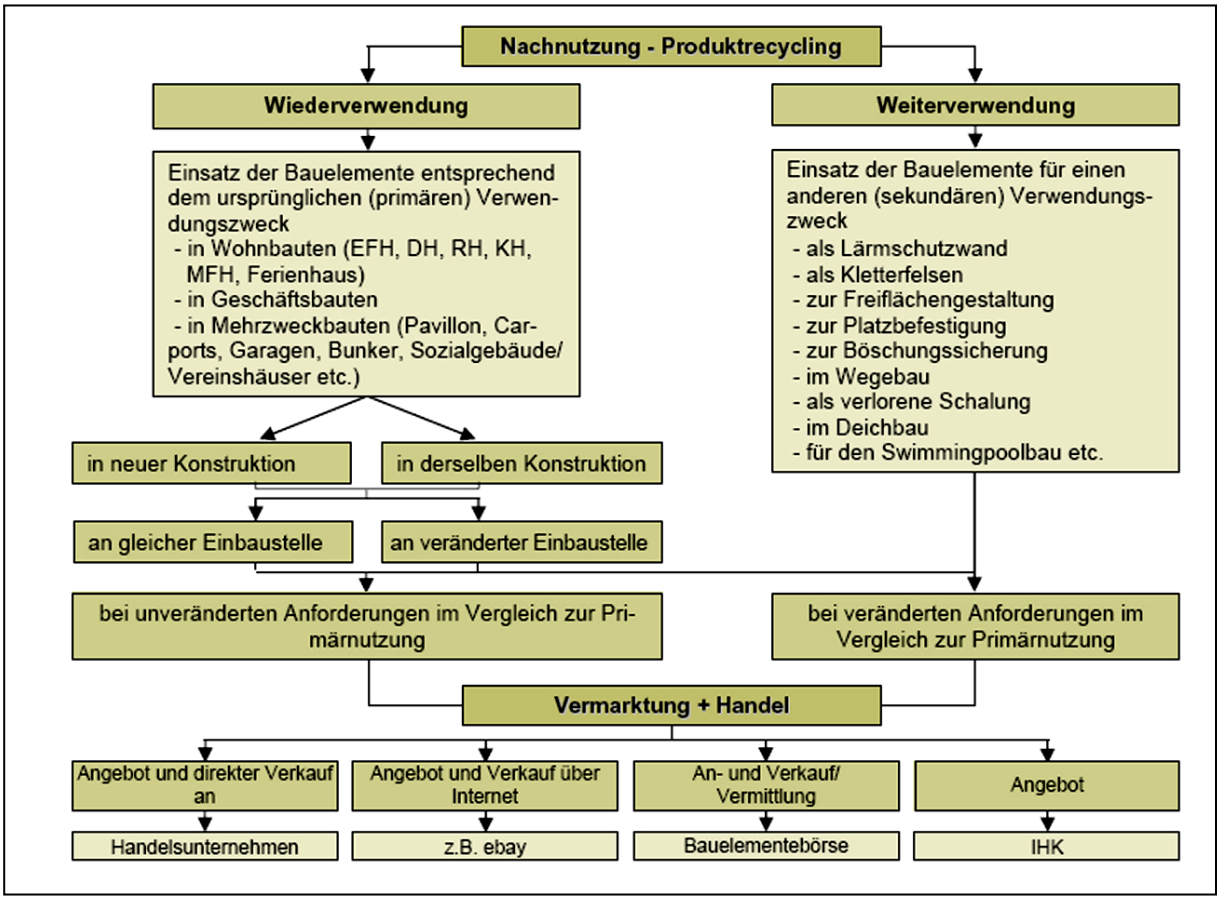


Abb. 98 : Mögliche Einsatzbereiche zur Nachnutzung von gebrauchten Betonbauteilen [METTKE]

In den folgenden Abschnitten wird vorrangig auf die Wiederverwendung von Altbetonelementen im Wohnungsbau eingegangen. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Forschungsvorhabens „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“ (Förderkennzeichen: 0339972) begleitete die Fachgruppe Bauliches Recycling mehrere Baumaßnahmen an verschiedenen Standorten in den neuen Bundesländern. Die erzielten Ergebnisse werden hier auszugsweise wiedergegeben.

9.2 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[301] hauptsächlich auf die logistischen Probleme der Bauteilwiederverwendung wie Anfallort, Antransport sowie für die Baustellenlogistik. Es kann

[300] Definition unter 3.1 Generelles, Begriffe.
[301] Honorarordnung für Architekten und Ingenieure.

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.

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

9.2.1 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 Abschn. 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[302]

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

[302] nach DIN 1045-1:2001-07 Abschn. 4.

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 oder Stahleinbauteile 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.

9.2.2 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. In der Regel ist für den Bauprozess ein Gerüst zustellen – zumindest für Arbeiten an der Fassade.

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,
- ggf. Montagestützen zum Sichern (Abstützen) von Deckenplatten,
- Schalungsmaterial zum Fugenverschluss,
- Leiter, Schaufeln, Kellen, Wasserwaage, Hämmer, Brechstange etc.

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

9.2.3 Abwicklung der TUL-Prozesse

Wird ein Zwischenlager für die Altbetonelemente in Vorbereitung des Remontageprozesses erforderlich, so ist es so einzurichten, dass die Bauteile in der technologisch vorgegebenen Reihenfolge der Remontage entnommen werden können. Zudem ist 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 Betonelemente sollte daher über die vorhandenen originalen Tragösen erfolgen, so weit diese noch vorhanden sind 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.ä.) zu prüfen. Sofern dies zutrifft, sind die Bauteile zu kennzeichnen, Aufarbeitungsmaßnahmen zu planen oder die Betonelemente sind bei einer Einstufung größer BZS 3 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 Vierstranggehänge und Wandelemente mit einem Zweistranggehänge 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 gesondert gekennzeichnet wurden. Eine Sichtkontrolle ist für den Anschläger 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.[303]

9.3 Remontagetechnologie

Notwendige Reprofilierungs- und/oder Aufarbeitungsmaßnahmen an Betonelementen können entweder im Vorfeld der Remontage oder im eingebauten Zustand ausgeführt werden. Üblich ist bislang die zweit genannte Möglichkeit, wenn es um die Sekundärnutzung der Altbetonelemente im Hausbau geht. Die Aufarbeitung von Abplatzungen und Ausbrüchen im Fugenbereich kann bspw. im eingebauten Zustand im Zuge des Fugenverschlusses erfolgen.

[303] Mettke, A.; Thomas, C.: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, Cottbus, 1999, S. 61, und Rahmentechnologie Rückbau-/Demontagevorhaben Plattenbauten (Hrsg. A. Mettke), Cottbus, 2004, S. 62 f.

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.[304] Bei der Nassmontage wurden die Auflagerflächen mit einer Mörtelschicht (Betongüteklasse B 160 – B 225[305]) versehen (Entsprechend der DIN EN 206-1:2001-07 bedeutet dies mindestens die Betonfestigkeitsklasse C 16/20).

Tab. 89: Montagefolge der Nass- und Trockenmontage bei Wandkonstruktion (TGL 22720/02)[306]

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. Auf Grund der unterschiedlichen Elementehöhen und der konstruktiven Ausbildung der Außenwände sowie infolge der Einhaltung lichter Raumhöhen kann es erforderlich werden, einen Sockel aus Mauerwerk oder Ortbeton als Aufstellfläche zu schaffen.

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.

Bei ausschließlichem Einsatz von Altbetonbauteilen aus dem Plattenbau kann der Ringanker über die Verschweißung der bereits vorhandenen Ringankerbewehrung in den Bauteilen geschlossen werden. Dabei müssen die Enden der Verbindungsstähle freigelegt und gesäubert sein. 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

[304] Ludewig, S.: Montagebau, Berlin, 1972, S. 484.
[305] ebenda, S. 484.
[306] ebenda, S. 485.

sichergestellt werden. Es ist zu beachten, dass über die Bauteilverbindung die Übertragung von Druck-, Zug- und Schubkräften und somit das Tragverhalten des Tragwerks gewährleistet sein muss. Folgende Verankerungen werden gemäß DIN 1045-1:2001-07 für die Berücksichtigung außergewöhnlicher Ereignisse gefordert[307]:

- 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[308] erstellt. Hinsichtlich der Wiederverwendung von Altbetonfertigteilen wurde diese durch NAGORA[309] und später durch das IFF Weimar[310] angepasst und überarbeitet. Daraus und aus den Erfahrungen der FG Bauliches Recycling durch die wissenschaftliche Begleitung verschiedener Remontageprojekte resultieren die nachfolgend aufgeführten Vorschläge für Remontageanleitungen wandartiger Fertigteile sowie für Decken- und Dachplatten.

[307] 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..
[308] Muster-Montageanweisung für den Betonfertigteilbau, FDB Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau e.V., 3. korrigierte und überarbeitete Auflage, April 1998.
[309] 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.
[310] 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.

9.3.1 Vorschlag einer Remontageanleitung für Wandbauteile

Tab. 90: Vorschlag einer Remontageanleitung für 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**
	▪ Horizontale und vertikale Ausrichtung des Elementes über Montagestreben ▪ Wetterschale der Außenwandbauteile dürfen nicht belastet werden ▪ 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. Sicherungseisen für Schaft 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

9.3.2 Vorschlag einer Remontageanleitung für Deckenelemente

Tab. 91: Vorschlag einer Remontageanleitung für 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**
	▪ 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.

9.4 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. 9.1ff. 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 folgendem Grund weitestgehend vermieden werden:

Erhöhung der Baukosten[311] durch

- Schneidarbeiten,
- TUL-Prozesse,
- Schaffung alternativer Anschlagpunkte.

Der Architekt/Planer ist daher aufgefordert, die demontierten Betonfertigteile bestmöglich in ihrer originären Form und Gestalt wieder einzusetzen. Alle zusätzlichen Ergänzungen wie Maurerarbeiten oder die Herstellung von Ortbeton schränken den effizienten Montageablauf etwas ein. Das Gebäude sollte demnach so konzipiert werden, dass weitestgehend die verfügbaren Betonfertigteile mit möglichst geringen Ergänzungen verwendet werden können. D.h. die Vorteile des industriellen Bauens sollen weitest gehend beibehalten werden. Maßnahmen wie beispielsweise die Vergrößerung oder Verkleinerung von Fenster- und Türöffnungen können nach der Montage erfolgen und behindern nicht den Bauablauf.

Die Verfügbarkeit des gewünschten Elementesortiments sollte vorzugsweise direkt auf der Demontagebaustelle im eingebauten Zustand geprüft werden. Die benötigten Betonfertigteile sind zu begutachten (s. Abschn. 6), dass heißt ihre Wiederverwendungseignung ist festzustellen. Als vorteilhaft hat sich erwiesen, sie gemäß ihrer Nachnutzung zu kennzeichnen. Der direkte Kontakt und eine zeitnahe Absprache mit dem Bauherrn und 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 krangeführten 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. Es sei denn, alle wiederverwendbaren Betonelemente werden zwischengelagert. Der Abtransport der Bauelemente ist mit der Rückbaufirma abzustimmen, damit alle benötigten Elemente zum Tag des Transportes verfügbar sind. Es hat sich bewährt, eine 3. Entscheidungsstufe der Wiederverwendung einzuplanen. Dass heißt, vor dem Abtransport sind die auf der Demontagebaustelle zwischengelagerten Elemente vor Ort iterativ hinsichtlich evtl. Beschädigungen, Abplatzungen u.ä. in Augenschein zu nehmen. Die Anzahl bzw. das Sortiment sind zu überprüfen. So kann noch rechtzeitig reagiert werden, falls Elemente zu stark beschädigt sind und/oder noch fehlen. Eine visuelle Überprüfung der Altbetonelemente erfolgt ebenfalls vor dem Einbau der Bauteile auf der Remontagebaustelle durch die ausführende Firma und den Prüfstatiker.

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. Eine

[311] vgl. Abschn. 10.4.

Inaugenscheinnahme der Ösen hinsichtlich ihrer Nachnutzbarkeit ist unabdingbar. Dabei ist auch die Verwendung von alternativen Anschlagspunkten zu berücksichtigen. Diese stellen zum Teil erhöhte Anforderungen an die Zugänglichkeit der einzelnen Bauteile. Notwendige Reprofilierungs- und/ oder Aufarbeitungsmaßnahmen können ebenfalls bereits im Vorfeld der Remontage ausgeführt werden. In Abhängigkeit der Art und des Umfangs der Maßnahmen ist zu entscheiden, ob im eingebauten oder vorab die Leistung zu erbringen ist. Die Aufarbeitung von Abplatzungen im Fugenbereich kann bspw. im eingebauten Zustand im Zuge des Fugenverschlusses erfolgen. Dazu sind meist Schalarbeiten erforderlich.

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 mit zur Nachhaltigkeit beiträgt. Eine Vielzahl von Architekten und Ingenieuren stellen sich dieser Herausforderung in diesem anspruchsvollen Tätigkeitsfeld.

10 Ökonomische Bewertung

Da sich ein großes Entwicklungspotenzial auf dem osteuropäischen Wohnungsbausektor abzeichnet, kann von einer beständigen Nachfrage nach preiswertem Wohnraum ausgegangen werden. 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 ggf. 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[312]:

$$K_{WV} = K_{Bereit} + K_{Prüf} + K_{Auf} + K_{TUL} + K_{Re}$$

Unter monetärem Gesichtspunkt wird derzeit und auch noch in naher Zukunft 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 oder Bauträger 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 Hausbauprojektes interessiert dabei, wie und zu welchen Kosten das Alt-

[312] vgl. Mettke, A.: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, Cottbus, 1995, S. 143ff.

betonelement bereitgestellt wird. Daneben steht die Frage der Gebrauchstauglichkeit (Qualität) im Vergleich zu neuen Bauteilen.

Anders herum betrachtet hat der potenzielle Anbieter (i.d.R. das Rückbauunternehmen) in Deutschland kein Interesse an der Bereitstellung gebrauchsfähiger Altbetonbauteile, wenn er nicht daraus wirtschaftliche Vorteile ziehen könnte oder zumindest den Mehraufwand für das sorgfältige Ausbauen honoriert bekommt. Für ihn sind die Gewinnung und das Angebot von sekundären Bauteilen nur wirtschaftlich, wenn daraus der Mehraufwand mindestens kompensiert wird oder sogar ausreichend hohe Einnahmen oder Kostenersparnisse für die Entsorgung resultieren. D.h. die Annahmegebühren an der RC-Anlage können um eine Wiederverwendungsmenge x verringert werden.

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.

10.1 Kosten - Demontage

Im Prinzip 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 krangeführte 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 geshreddert und zu handelsüblichen RC-Material aufbereitet.

Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass die Kosten für den krangeführten 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. An einem Standort (Templin) betrugen die Rückbaukosten mittels Kran knapp 32 €/m² Wfl.. Für die weiteren Vergleichsrechnungen wurde im vorliegenden Bericht von einem abstrakten Mittelwert von 67 €/m² Wfl. ausgegangen. Die Kosten für einen konventionellen Abbruch bewegen sich derzeit zwischen ca. 20 und 50 €/m² Wfl. und teilweise darunter. Die Höhe der Kosten hängt in jedem Fall von womöglich angetroffenen Schadstoffen und deren Entsorgung ab. Außerdem natürlich vom Lohngefüge der eingesetzten Arbeitskräfte.

Anhand einer Auswahl rückgebauter Objekte werden in nachstehender Tabelle die erfassten Rückbaukosten und deren Entwicklung (in Abhängigkeit des Realisierungsjahres) dargestellt:

Tab. 92: Ermittelte Rückbaukosten je Quadratmeter Rückbaufläche an untersuchten Fallbeispielen

Rückbau-jahr	Ort	Bauart	Straße	Kosten je m² Wohnfläche
1997	standortunabhän-gig ermittelt	P2	Standardgebäude[313]	**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[314]	**78 €/m²**
2003	Dresden	WBS 70	Schlehenstraße	**76 €/m²**
2002 - 04	Templin	WBS 70	Gebiet Lychener Straße	**32 €/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**

Die hier aufgezeigten Rückbaukosten können lediglich als Orientierung dienen, da nicht der Schadstoffumfang, die Größe des Vorhabens, Art der Rückbaumaßnahme, Zugänglichkeit etc. gesondert ausgewiesen werden. Grafisch lässt sich dies wie folgt darstellen:

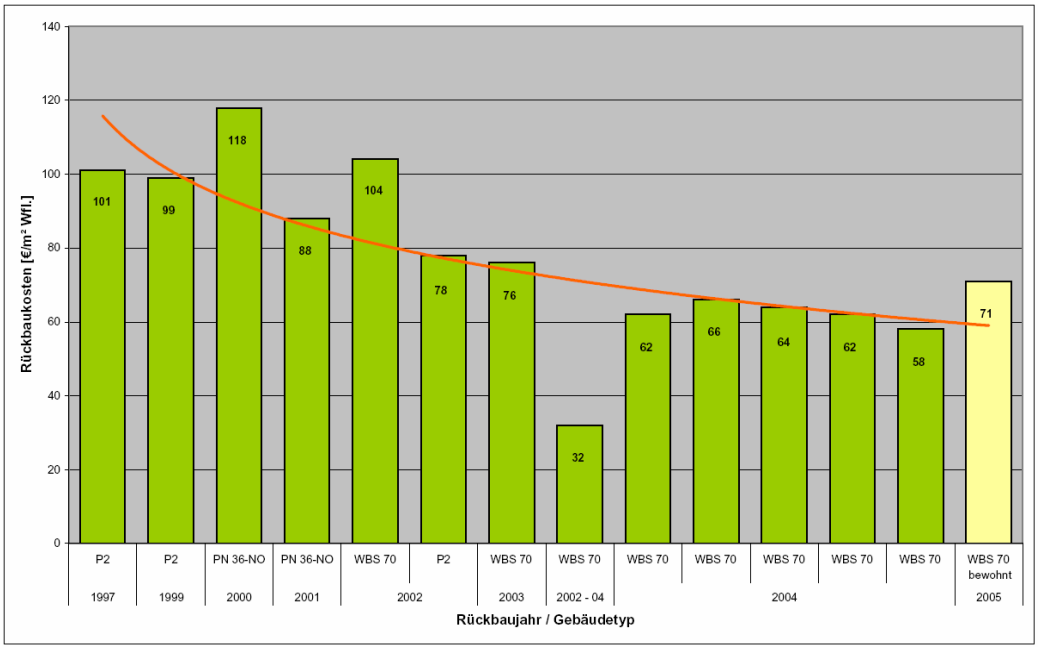


Abb. 99 : Entwicklung der Rückbaukosten

[313] Mettke, A.; Thomas, C.: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, Cottbus, 1999, S.87 (entspr. Szenario d_2).
[314] Unruh, H.-P.; Nagora, A.: Rückbau von Plattenbauten, Cottbus, 2002, S. 191.

Anhand eines durch die FG Bauliches Recycling wissenschaftlich begleiteten Fallbeispiels werden nachfolgend die Rückbau- den Abbruchkosten gegenüber gestellt. 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 Tab. 93 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. 93: 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[315]	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:

[315] nach: Mettke, A. (Hrsg.): Elementekatalog – Elementesortiment des Typs WBS 70, Cottbus, 2007.

Tab. 94: 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[316]	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**		

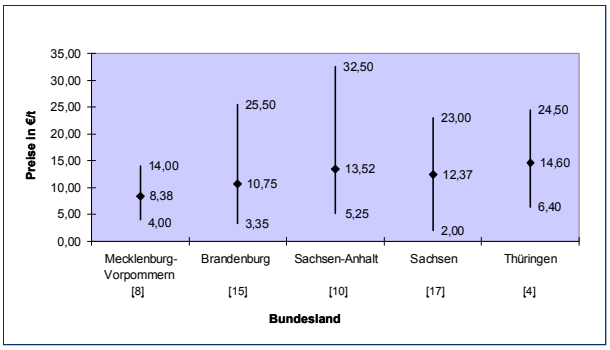
Die mittleren Kosten für den Abbruch betragen somit 4 €/m² Bauteil. Diese sowie die o.a. Rückbaukosten beinhalten auch die stoffliche Verwertung/Aufbereitung der nicht zur Wiederverwendung vorgesehenen und/oder nicht wiederverwendbaren Bauteilmassen.

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. Anfangs wurden diese zu null, gegenwärtig für die Zahlung eines geringen obligatorischen Betrags (etwa 20 – 50 €/Element für den Mehraufwand des Abstemmens der Estrichschicht von der Rohdecke) 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 30 €/Element angenommen.

[316] nach: Mettke, A. (Hrsg.): Elementekatalog – Elementesortiment des Typs WBS 70, Cottbus, 2007.

10.2 Kosten – Stoffliche Aufbereitung

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 %).



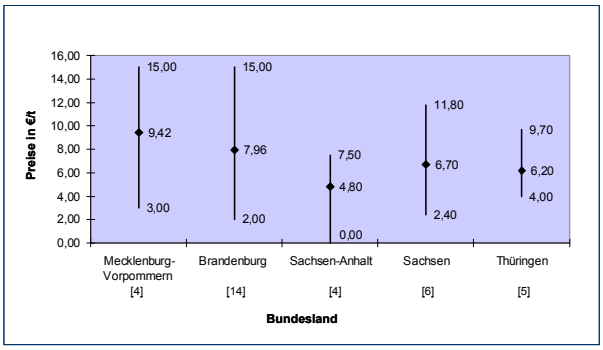


Abb. 100 : Annahmepreise für Stahlbetonbruch (Kantenlänge > 60 cm)[317] und für Bauschutt[318]

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 unbelasteten Betonbruch > 600 mm Kantenlänge von ca. 5 €/t bis 25 €/t für recyclingfähiges Betonmaterial mit Armierung (im Jahr 2007) aus.[319] Bei einer durchschnittlichen Bauteilmasse von ca. 0,34 t/m² Bauteilfläche ergibt sich eine Kostensumme von 1,70 €/m² bis 8,50 €/m² Bauteil.

10.3 Kosten – Bauzustandsuntersuchung der Elemente

Die Kosten für die erforderlichen Bauteiluntersuchungen wurden nach Recherchen der FG Bauliches Recycling in Deutschland (s. Tab. 95) mit ca. 200 €/Bauteil (sehr hoch)[320] 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. Derzeit ist der Untersuchungsumfang abhängig von den festgeschriebenen Anforderungen des Prüfingenieurs bzw. der jeweiligen Baugenehmigung. Daher können diese Kostenangaben nicht verallgemeinert werden.

[317] Doll, M.: Marktanalyse der An- und Verkaufspreise von RC-Materialien im Vergleich zu Primärrohstoffen in den neuen Bundesländern, Studienarbeit, BTU Cottbus, 2003, S. 83.
[318] ebenda.
[319] Mettke, A. (Hrsg.): Rahmentechnologie Rückbau-/Demontagevorhaben Plattenbauten – am Beispiel der Typenserie P2, BTU Cottbus, 2004 und aktuelle Recherchen der FG Bauliches Recycling, 2007.
[320] Eigene Recherche durch FG Bauliches Recycling, 2005.

Tab. 95: Ergebnisse der Preisrecherche zu Bauzustandsuntersuchungen Febr. 2005

Angebots-Nr.	Angebotsbeschreibung	Angebotspreis
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; Prüfbericht	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. Prüfbericht	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[321]. Die Prüfkosten wurden dabei mit 1.500 € für das Gesamtbauwerk angesetzt. Dies entspricht einem Anteil von 3,8 % an den Gesamtrohbaukosten. 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.

Es ist davon auszugehen, dass die Prüfkosten in den osteuropäischen Ländern auf Grund der zu meist deutlich niedrigeren Personalkosten geringer ausfallen, der Anteil an den Gesamtrohbaukosten ca. 4 % jedoch ungefähr gleich ist. Bei zunehmenden Bauvolumen wird dieser Kostenanteil wahrscheinlich reduziert.

[321] Mettke, A.; Asmus, S.: Entwurfsplanung – Bau eines Bürogebäudes unter Verwendung gebrauchter P2-Betonfertigteile in Boxberg, Cottbus, Jan. 2006.

10.4 Kosten –Aufarbeitung / Instandsetzung der Elemente

Auszuführende Aufarbeitungsmaßnahmen (nur Element; keine bauphysikalische Verbesserung) betreffen hauptsächlich die Reprofilierung von Abplatzungen an Kanten und Ecken, das Schließen von Öffnungen (meist Bohrlöcher) 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.

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[322]. 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 in Deutschland 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:

[322] Mettke, A.; Heyn, S.: Rückbau eines Schulgebäudes des Schultyps „Dresden“ in Gröditz, Wainsdorfer Straße, 1. Mittelschule und Zwischenbericht – Freizeitpark Gröditz 1. Bauabschnitt, Cottbus, 2005.

Tab. 96: Aufarbeitungskosten nach Baukostenkatalog 2006[323]

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

ASAM gibt für die Aufarbeitung der Altbetonbauteile in Vorbereitung der Remontage folgende Kosten an:[324]

- 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.

[323] BKI Baukostenkatalog 2006, Teil 2 Statistische Kostenwerte für Bauelemente, Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern, Stuttgart 2006.
[324] Asam, C.: Zukunftsorientierter Umgang mit Plattenbaustrukturen: Untersuchung der Wiederverwendungsmöglichkeiten von demontierten Fertigteilelementen aus Wohnungsbautypen der ehemaligen DDR für den Einsatz im Wohnungsbau, IEMB, 2005.

Aufgrund der gegenüber Deutschland niedrigeren Personalkosten in den osteuropäischen Ländern ist auch hierbei zu erwarten, dass eine Ausführung der Bauteilaufbereitung am Wiedereinsatz wirtschaftlich günstiger ausfällt.

10.5 Kosten – Transport

Im Zuge der Kostenrecherche für Bauteiltransporte ins osteuropäische Ausland wurden Transportvarianten mit dem LKW, der Bahn und über den Seeweg untersucht. Der Transport soll preisgünstig, effizient und sicher durchgeführt werden. Die Kosten für die Überführung der Betonelemente müssen deutlich unter den Neupreisen für vergleichbare Elemente liegen. Hier gilt es, eine optimale Transportvariante zu ermitteln. Am Beispiel eines Transportes nach St. Petersbug werden mehrere Möglichkeiten für den Transport der Betonelemente herausgearbeitet[325] (s. auch Abschn. 8). Fett hervorgehoben ist das jeweilige Kerntransportmittel:

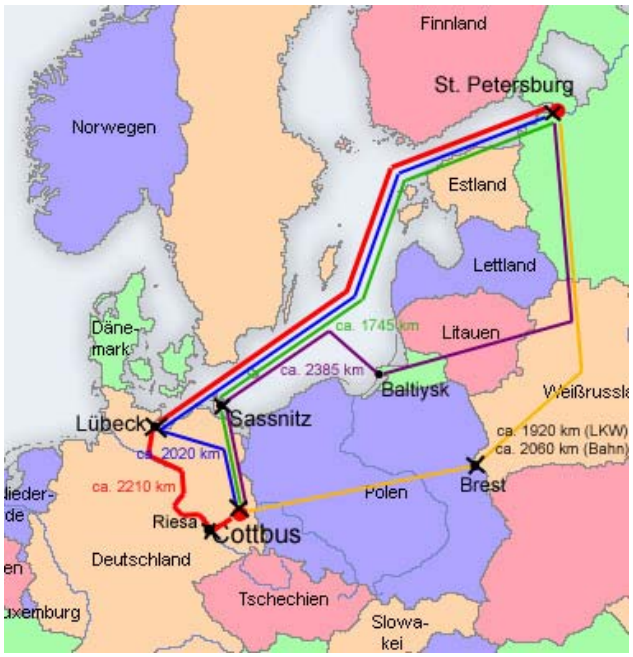
a) Kombination LKW – **Bahn** – LKW (ausschließlich Landtransport),
b) Kombination Bahn – **RoRo-Fähre**[326] – LKW (Land – Seeweg – Landtransport),
c) Kombination LKW – Bahn – **RoRo-Fähre** – **Bahn** – LKW (Land – Seeweg – Landtransport),
d) **LKW** (ausschließlich Landtransport),
e) Kombination LKW – **Containerschiff** – LKW (Land – Seeweg – Landtransport),
f) Kombination LKW – **Binnenschiff – Containerschiff** - LKW (Land – Seeweg – Landtransport).

Die Transportvarianten und –wege für einen Transport von Alt-/RC-Betonbauteile nach St. Petersburg sind auf nachstehenden Abb. 101 und 102 skizziert.

Anmerkung:

In den nachstehenden Abschnitten variieren die Spenderstandorte. Dies begründet sich in der jeweils aktuellen Situation der wissenschaftlichen Begleitung des Rückbaus und des Untersuchungszeitpunktes. Die zusammenfassende Aussage der voraussichtlichen Kosten wird jedoch nicht beeinflusst.

[325] Ivanov, E.: Vermarktung gebrauchter Stahlbetonelemente im Raum St. Petersburg, Studienarbeit, BTU Cottbus, 2007, S. 8.
[326] Beim RoRo-Verfahren (roll on – roll off) handelt es sich um den Transport von Gütern, die bereits auf Fahrzeuge verladen sind, z.B. Sattelzuganhänger, Güterwaggon. Die RoRo-Fähren sind mit entsprechenden Vorrichtungen wie Bahnschienen ausgestattet. Hier in Variante b) sind die Rolltrailer (auch als „Mafis“ bezeichnet) angesetzt worden.



Varianten a) und d)
(„trockene Grenze“) – Transport
per Bahn oder LKW

Variante b)
Transport per RoRo-Fähre
auf Trailer

Variante c)
Transport per RoRo-Fähre und Bahn

Variante e)
Transport per Containerschiff/Fähre
in Containern

Variante f)
Transport per Binnenschiff
und Containerschiff/Fähre
in Containern

Abb. 101 : Transportwege und –varianten für einen Bauteiltransport nach St. Petersburg[327]

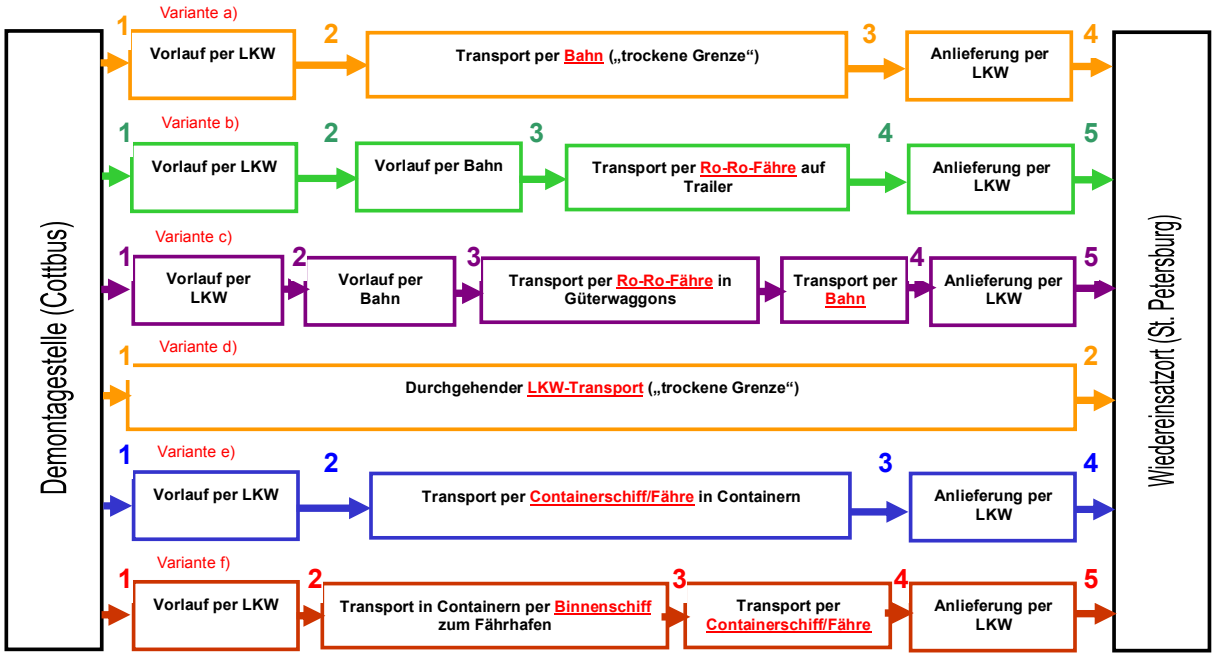


Abb. 102 : Darstellung möglicher Transportvarianten für einen Bauteiltransport nach St. Petersburg[328]

Im Folgenden werden die Kosten für notwendige Be- und Entladearbeiten, Umschlagprozesse sowie der verschiedenen Transportmittel und deren Kombinationen herausgearbeitet.

[327] Ivanov, E.: Vermarktung gebrauchter Stahlbetonelemente im Raum St. Petersburg, Studienarbeit, BTU Cottbus, 2007, S. 8.
[328] ebenda.

10.5.1 Kosten - Bauteilumschlag

Durch die FG Bauliches Recycling wurden Kostendaten für das Be- und Entladen von LKW-Transporten anhand eines Fallbeispiels[329] nachkalkuliert. Transportiert wurden dabei 159 Altbetonfertigteile der WBS 70 mit einer Gesamtmasse von ca. 500 t und einer Gesamtbauteilfläche von 1.846 m² 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 fachgerecht auf A-Böcken. Die Deckenplatten wurden fachgerecht liegend transportiert. Die Anzahl der Transportumläufe betrug 28.

Tab. 97: Ergebnisse der Nachkalkulation der Be- und Entladevorgänge am Fallbeispiel

Beladen			
Kranauf- und Abbau	jeweils	00:20:40	0:41:20
Kranspiele		je Bauteil	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	100% Gesamtdauer Kraneinsatz		23:45:48
	entspricht ca. 3 Arbeitstagen a 8 h	in Stunden	**24,00**
Kosten Kraneinsatz	je Stunde		100,00 €
	Gesamt		2.400,00 €
Kosten Arbeitskräfte	2 Fachkräfte	300 €/d	
	3 Arbeitstage		
	Gesamt		1.800,00 €
Gesamtkosten			4.200,00 €
	Je Tonne		**8,40 €**
	Je Quadratmeter		**2,28 €**

Entladen			
Kranauf- und Abbau	jeweils	00:20:40	0:41:20
Kranspiele		je Bauteil	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	100% Gesamtdauer Kraneinsatz		14:51:23
	entspricht ca. 2 Arbeitstagen a 8 h	in Stunden	**16,00**
Kosten Kraneinsatz	je Stunde		100,00 €
	Gesamt		1.600,00 €
Kosten Arbeitskräfte	2 Fachkräfte	300 €/d	
	2 Arbeitstage		
	Gesamt		1.200,00 €
Gesamtkosten			2.800,00 €
	Je Tonne		**5,60 €**
	Je Quadratmeter		**1,52 €**

Die Kalkulation beruht auf den vor Ort ermittelten Zeitdaten. Der Beladevorgang kostete somit 8,40 €/t Bauteil, der Entladevorgang 5,60 €/t Bauteil bzw. 2,28 €/m² Bauteil, der Entladevorgang 1,52 €/m² Bauteil.

In einer weiteren Analyse der Kosten des Bauteiltransportes nach St. Petersburg wurden für den Bauteilumschlag folgende Kosten ermittelt. Angesetzt wurden die Daten für den Transport von 26 Bauteilen (8 Deckenplatten, 6 Innenwandplatten, 12 Außenwandplatten) der WBS 70/11, welche für den Bau des Einfamilienhauses „EFH Plauen“ (s. Abschn. 12.1) benötigt wurden.

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

Tab. 98: Ergebnisse der Nachkalkulation der Be- und Entladevorgänge am Fallbeispiel

	Tarif min.	Tarif max.	Kostenpunkt pro Element
Kraneinsatz pro Stunde	85,00 €	80,00 €	
Hakenversicherung	3 %	4 %	
An-/Abfahrtspauschale	85,00 €	120,00 €	
Tarif Kraneinsatz gesamt pro Stunde	103,90 €	106,28 €	
Be-/Entladezeit pro Element	0,2 Std.	0,2 Std.	
Umschlagkosten pro Element			**20,78 € - 21,26 €**

Durchschnittlich ergeben sich somit Umschlagkosten von ca. 21 € pro Betonelement. Eine Hochrechnung der Umschlagkosten auf die Bauteilmassen und –flächen der am Beispielgebäude eingesetzten Elemente wird in Tab. 99 dargestellt.

Tab. 99: Ergebnisse der Nachkalkulation der Be- und Entladevorgänge am Fallbeispiel

Sortiment	Abmaße [m]	Fläche(netto) [m²]	Masse [t]	Umschlagkosten	
				je Fläche [€/m²]	je Masse [€/t]
Deckenplatten	6,0 x 3,0 x 0,14	18,0	5,9	1,17	3,56
	6,0 x 1,8 x 0,14	10,8	3,4	1,94	6,18
Innenwand (vollflächig)	5,8 x 2,6 x 0,15	15,3	5,5	1,37	3,82
Innenwand mit Tür	5,8 x 2,6 x 0,15	13,5	4,9	1,56	4,29
Außenwand mit Balkontür	6,0 x 2,9 x 0,26	12,4	5,7	1,69	3,72
Außenwand mit 2 Fenster	6,0 x 2,9 x 0,26	12,9	5,8	1,63	3,62
Außenwand (Giebel)	3,2 x 2,9 x 0,26	8,6	4,0	2,44	5,25

Die durchschnittlichen Kosten für den Bauteilumschlag betragen somit ca. 1,69 €/m² bzw. 4,35 €/t.

10.5.2 Kosten - LKW-Transport

Im Jahr 2006 wurde eine Preisabfrage zu den Transportkosten für sekundäre Bauteile mittels LKW nach Tschechien für die Errichtung der (Wieder-)Neubauvorhaben „Haus Pieper“ (EFH) und „Haus Hose“ MFH) 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.

Für die Planung und Kalkulation der Errichtung eines Swimmingpools aus gebrauchten Betondeckenplatten wurden die Transportkosten für die 23 Elemente mit einer Gesamtmasse von 34 t über eine Transportstrecke von 300 km ermittelt.[330]

[330] Mettke, A., Jahn, U., Asmus, S.: Konzeption zur Herstellung eines Swimmingpools aus gebrauchten Betonplatten der P2-Gebäudeserie, Cottbus, 2004.

Eine weitere aktuelle Recherche zu Transportkosten mit dem LKW erfolgte von LÜDTKE im Rahmen einer Diplomarbeit an der FG Bauliches Recycling[331] 2007. Untersucht wurde hierbei der Transport von Deckenplatten, Innenwänden und Außenwänden mit einer Gesamtmasse von 140 t.

Aus den Untersuchungen zu den Kosten des Transportvorlaufes zu deutschen Seehäfen im Zuge von Bauteillieferungen nach St. Petersburg[332] konnten die Daten für eine Transportstrecke von 350 km mit dem LKW entnommen werden. Ausgegangen wurde hierbei von der maximalen Auslastung von Innenladern für Wandbauteile oder eines Sattellastzuges für den Decken- oder Wandtransport.

Tab. 100: Ergebnisse der Recherchen zu LKW-Transportkosten

Anbieter-Nr.	Angebots-jahr	Elemente-sortiment	Masse	Fläche	Transport-entfernung	Kosten je t und km	Kosten je t und km
			[t]		[km]	[€/t*km]	[€/t*km]
1	2006	DP	36	108	150	0,17	0,06 €
1	2006	IW / AW	47,7	145,5	150	0,13	0,04 €
1	2006	DP	138	414	150	0,13	0,04 €
1	2006	IW / AW	161,2	484,8	150	0,14	0,05 €
2	2006	DP	36	108	150	0,24	0,08 €
2	2006	IW / AW	47,7	145,5	150	0,26	0,08 €
2	2006	DP	138	414	150	0,19	0,06 €
2	2006	IW / AW	161,2	484,8	150	0,27	0,09 €
3	2006	DP	36	108	150	0,21	0,07 €
3	2006	IW / AW	47,7	145,5	150	0,16	0,05 €
3	2006	DP	138	414	150	0,16	0,05 €
3	2006	IW / AW	161,2	484,8	150	0,16	0,05 €
4	2006	DP	36	108	150	0,32	0,11 €
4	2006	IW / AW	47,7	145,5	150	0,24	0,08 €
4	2006	DP	138	414	150	0,25	0,08 €
4	2006	IW / AW	161,2	484,8	150	0,25	0,08 €
5	2004	DP	34	108	300	0,10	0,03 €
6	2007	DP / IW / AW	140	396	25	0,43	0,15 €
6	2007	DP / IW / AW	140	396	100	0,15	0,05 €
6	2007	DP / IW / AW	140	396	250	0,09	0,03 €
7	2007	DP / IW / AW	140	396	100	0,21	0,07 €
7	2007	DP / IW / AW	140	396	250	0,15	0,05 €
8	2007	DP	23,5	72	350	0,09	0,03 €
8	2007	DP	23,8	75,6	350	0,09	0,03 €
8	2007	IW	21,8	61,2	350	0,10	0,04 €
8	2007	IW	19,44	54	350	0,11	0,04 €
8	2007	AW	22,6	49,6	350	0,09	0,04 €
8	2007	AW	23,2	51,6	350	0,09	0,04 €
8	2007	AW	23,8	51,6	350	0,09	0,04 €
8	2007	DP	23,5	72	350	0,12	0,04 €
8	2007	DP	23,8	75,6	350	0,11	0,04 €
8	2007	IW	21,8	61,2	350	0,12	0,04 €
8	2007	IW	19,44	54	350	0,14	0,05 €
8	2007	AW	22,6	49,6	350	0,12	0,05 €
8	2007	AW	23,2	51,6	350	0,12	0,05 €
8	2007	AW	23,8	51,6	350	0,11	0,05 €
9	2007	DP	23,5	72	350	0,12	0,04 €
9	2007	DP	23,8	75,6	350	0,11	0,04 €
9	2007	IW	27,3	76,5	350	0,10	0,04 €
9	2007	IW	29,2	81	350	0,09	0,03 €
9	2007	AW	28,3	62	350	0,10	0,04 €
9	2007	AW	29	64,5	350	0,09	0,04 €
9	2007	AW	27,7	60,2	350	0,10	0,05 €
9	2007	DP	23,5	72	350	0,13	0,04 €
9	2007	DP	23,8	75,6	350	0,13	0,04 €
9	2007	IW	27,3	76,5	350	0,12	0,04 €
9	2007	IW	29,2	81	350	0,11	0,04 €
9	2007	AW	28,3	62	350	0,11	0,05 €
9	2007	AW	29	64,5	350	0,11	0,05 €
9	2007	AW	27,7	60,2	350	0,11	0,05 €
Mittelwert						**0,15**	**0,05**

[331] Lüdtke, M.: Kostenuntersuchungen zum Einsatz von Altbetonbauteilen anhand eines Referenzobjektes, Diplomarbeit, BTU Cottbus, 2007, S. 49 ff..
[332] Ivanov, E.: Vermarktung gebrauchter Stahlbetonelemente im Raum St. Petersburg, Studienarbeit, BTU Cottbus, 2007.

Für den Transport von 1 Tonne Altbetonbauteil mit LKW über 1 km sind bei einer Transportentfernung von 150 km somit Kosten von durchschnittlich 0,20 € ermittelt worden. Hochgerechnet auf die Bauteilfläche für 1 m² ergeben sich Kosten von 7 Cent je Kilometer Transportentfernung. Für einen Transport über 350 km ergeben sich Kosten von 11 Cent je Tonne und Kilometer bzw. 4 Cent pro m² Bauteilfläche und Kilometer. Die Entwicklung der Transportkosten hinsichtlich der Transportentfernung für alle Daten der Tab. 100 wird in folgendem Diagramm dargestellt.

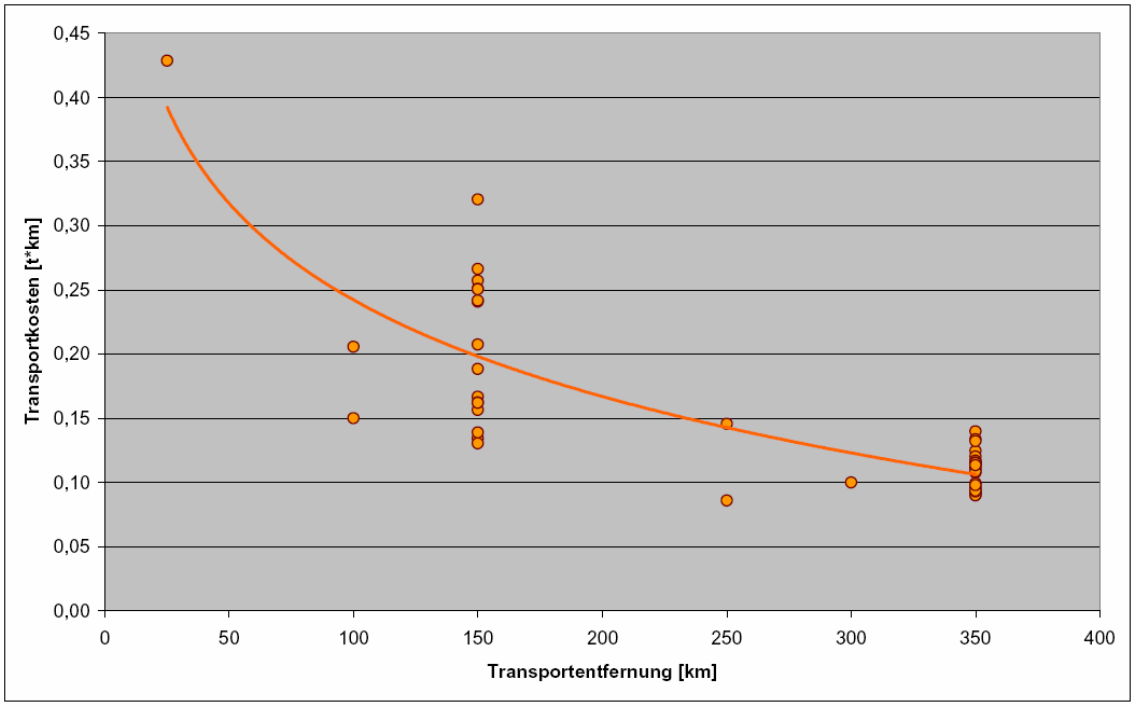


Abb. 103 : Abhängigkeit der LKW-Transportkosten von der Transportentfernung

An diesem Beispiel zeigt sich eine deutliche Senkung der Transportkosten pro Tonne und Kilometer über die zunehmende Entfernung.

Ein Unterschied in der Kostengestaltung für Deckenplatten- und Wandbauteiltransporte bei gleicher Transportentfernung ist nicht erkennbar. Die durchschnittlichen Kosten für den Deckenplattentransport über 150 km liegen bei 0,21 €/t*km, für den Wandelementtransport bei 0,20 €/t*km, bei einer Transportentfernung über 350 km betragen sie 0,12 €/t*km für Deckenplatten und 0,11 €/t*km für Wandbauteile.

Ein wichtiger Einfluss hinsichtlich der Ladung ist die Ausschöpfung des Transportvolumens bzw. der Nutzlast jedes einzelnen Fahrzeugs. Denn nur teilweise beladene LKWs verteuern den Bauteiltransport in Größenordnungen. Eine optimale Auslastung des Transportvolumens der Einzelfahrzeuge ist vor allem bei großen Transportmengen möglich. Folglich reduziert die Umsetzung großer Wiederverwendungsprojekte wie beispielsweise die Errichtung ganzer Wohnsiedlungen die Transport- und somit die Baukosten.

10.5.3 Kosten - Bahn-Transport

Die Kostenangaben zum Bahntransport ohne Vor- und Nachlaufprozesse beruhen zum einen auf Angebotsabfragen von Speditionsfirmen zum Bauteiltransport nach St. Petersburg in 2006 sowie der Recherche verschiedene Transportvarianten aus dem Quartal 2007[333]. Bei letzteren wurden die Daten des Bahntransportes aus den zusammengestellten Kombinationen mit LKW- (Vor- und Nachläufe), Binnenschiff und Seetransporten entnommen. Auf diese Transportkombinationen wird im Abschn. 10.5.6 näher eingegangen, da an dieser Stelle zunächst die einzelnen Transportmittel untersucht werden sollen.

Für den Bahntransport von Deckenplatten werden Plateauwagen mit 70 t Last und für Wandplatten offene Güterwaggons mit 69 t Last eingesetzt. Pro Waggon können

- Deckenplatten (DP): 70 t : 3,5 t/DP = 20 DP;
- Innenwände, vollflächig (IW): 69 t - 3 x 1,2 t/A-Bock : 3,15 t/IW => 20 IW;
- Innenwände mit Türöffnung (IW_T): 69 t - 3 x 1,2 t/A-Bock : 2,63 t/IW_T => 24 IW_T.

verladen werden.

Die Ergebnisse der Kostenrecherche zu Bahntransporten sind in Tab. 101 aufgelistet.

Tab. 101: Ergebnisse der Recherchen zu Bahn-Transportkosten

Start-	Ziel-	Transport-	Angebots-	Tarifsatz		Elemente-	Elemente-	Elemente-	Elemente-	Kosten	Kosten
bahnhof	bahnhof	strecke	summe	je Waggon	je Tonne	sortiment /	Anzahl	masse	fläche	je t und km	je t und m²
		[km]	[€]	[€/Waggon]	[€/t]			[t]	[m²]	[€/t*km]	[€/m²*km]
Cottbus	Brest	800			44,00	DP	20	3,5	10,8	0,06	0,02
		800			44,00	IW	20	3,15	9,4	0,06	0,02
Brest	St. Petersburg	1.230		1.853,00		DP	20	3,5	10,8	0,02	0,01
		1.230		1.853,00		IW	20	3,15	9,4	0,02	0,01
		1.230		1.853,00		IW_T	24	3,15	9,4	0,02	0,01
Cottbus	Sassnitz	445		1.300,00		DP	20	3,5	10,8	0,04	0,01
		445		1.300,00		IW	20	3,15	9,4	0,05	0,02
		445		1.300,00		IW_T	24	3,15	9,4	0,04	0,01
Baltijsk	St. Petersburg	1.385		545,02		DP	20	3,5	10,8	0,01	0,002
		1.385		537,33		IW	20	3,15	9,4	0,01	0,002
		1.385		537,33		IW_T	24	3,15	9,4	0,01	0,002
Cottbus	St. Petersburg	1.700	9.600,00			DP/IW/AW	15	83,4	253,5	0,07	0,02
Cottbus	St. Petersburg	1.700	9.530,00			DP/IW/AW	15	83,4	253,5	0,07	0,02
Cottbus	St. Petersburg	1.700	8.310,00			DP/IW/AW	15	83,4	253,5	0,06	0,02
Mittelwert										**0,04**	**0,01**

Die durchschnittlichen Kosten für den Bahntransport gebrauchter Betonbauteile liegen bei ca. 4 Cent pro Tonne und Kilometer bzw. bei 1 Cent pro m² Bauteilfläche und Kilometer. Eine direkte Abhängigkeit der Transportkosten von der Transportentfernung lässt sich auf Grund der geringen Datenmenge sowie der unterschiedlichen Anbieter nicht nachweisen (s. Abb. 104).

[333] Ivanov, E.: Vermarktung gebrauchter Stahlbetonelemente im Raum St. Petersburg, Studienarbeit, BTU Cottbus, 2007.

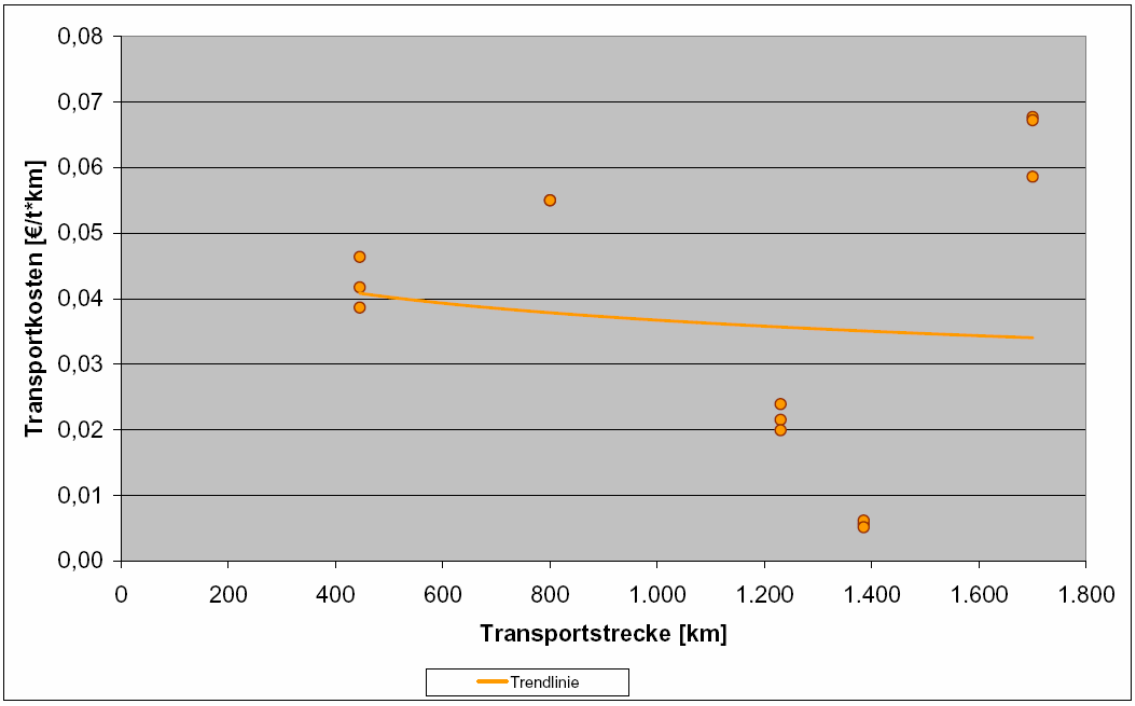


Abb. 104 : Abhängigkeit der Bahn-Transportkosten von der Transportentfernung

10.5.4 Kosten - Binnenschiff-Transport

Eine Angebotsabfrage im Jahr 2006 zur Lieferung von gebrauchten Deckenplatten mit einer Gesamtmasse von 231 t und Wandelementen mit einer Gesamtmasse von 123,5 t (damalige Planung für den Bau eines Einfamilienhauses) über die Elbe von Dresden nach Prag mit einer Transportstrecke von 150 km ergab eine Angebotssumme von 4.520 €. Dies entspricht durchschnittlichen Kosten von 0,09 €/t*km für die reine Transportleistung per Binnenschiff ohne die erforderlichen Vor- und Nachläufe sowie Umschlagprozesse. Der Bauteilumschlag für das Beladen und Löschen der Fracht wurde im Angebot mit 4.380 € bzw. 3.950 € veranschlagt. Insgesamt beläuft sich das Transportangebot mit dem Binnenschiff über 150 km ohne Vor- und Nachlaufprozesse auf 12.850 €. Dies entspricht 0,24 €/t*km.

Eine weitere Angebotsabfrage von 2007[334] erfolgte hinsichtlich des Transportes von gebrauchten Wand- und Deckenelementen von Riesa nach Lübeck. Der Transport ist in Containern anberaumt, wobei je Container

- 8 Deckenplatten (1 DP mit 3,5 t und 10,8 m² Bauteilfläche)
- 8 vollflächige Innenwände (1 IW mit 3,15 t und 9,4 m² Bauteilfläche) oder
- 10 Innenwände mit Türöffnung (1 IW mit 2,63 t und 9,4 m² Bauteilfläche)

verladen werden. Der Umschlag eines Containers auf das Binnenschiff wurde dabei mit 62 € pro Container veranschlagt, der Transport eines Containers über die ca. 560 km lange Binnenschifffahrtsstrecke von Riesa nach Lübeck mit 350 €.

[334] Ivanov, E.: Vermarktung gebrauchter Stahlbetonelemente im Raum St. Petersburg, Studienarbeit, BTU Cottbus, 2007.

Tab. 102: Ergebnisse der Recherchen zu Binnenschiff-Transportkosten

Start-hafen	Ziel-hafen	Transport-strecke [km]	Transport-kosten [€]	mschlagkoste je Cont. [€/Waggon]	Elemente-sortiment /	Elemente-Anzahl	Elemente-masse [t]	Elemente-fläche [m²]	Kosten je t und km [€/t*km]	Kosten je t und m² [€/m²*km]
Dresden	Prag	150	4.520,00		DP/IW/AW		354,5	k.A.	0,09	
Riesa	Lübeck	560	350,00	62,00	DP	8	28	86,4	0,03	0,01
Riesa	Lübeck	560	350,00	62,00	IW	8	25,2	75,2	0,03	0,01
Riesa	Lübeck	560	350,00	62,00	IW_T	10	26,3	75,2	0,03	0,01
Mittelwert									**0,04**	**0,01**

Die durchschnittlichen Kosten für den Transport gebrauchter Bauteile mit dem Binnenschiff werden mit ca. 4 Cent pro Tonne und Kilometer bzw. 1 Cent pro Quadratmeter Bauteilfläche und Kilometer veranschlagt.

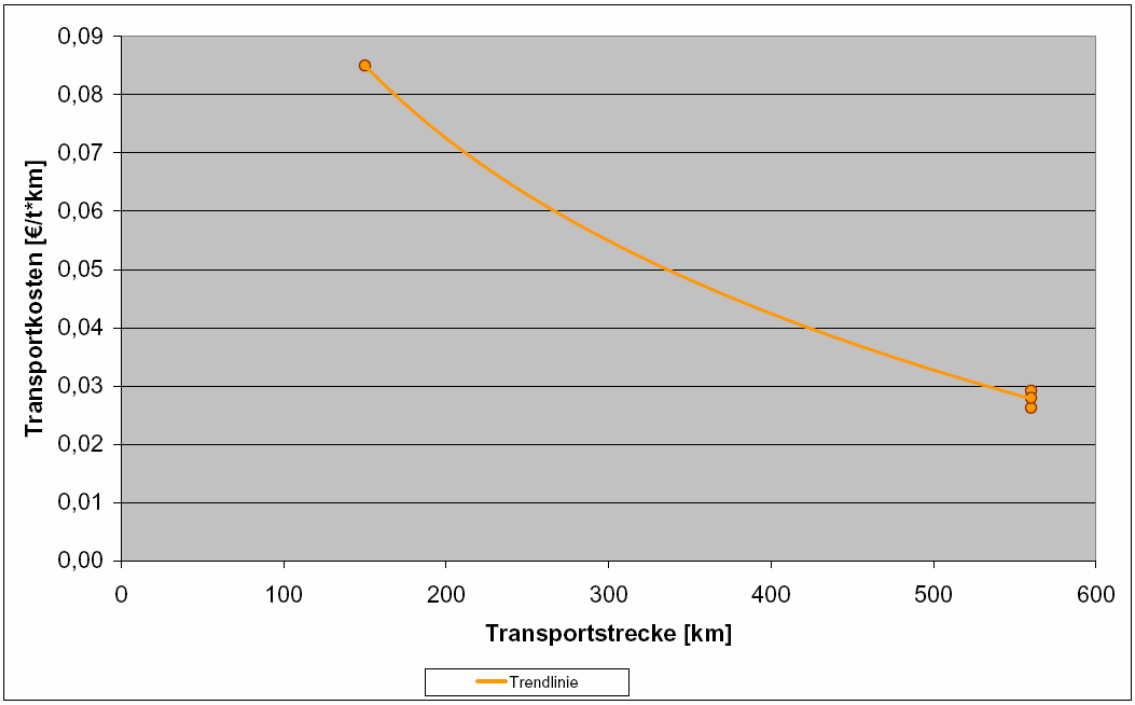


Abb. 105 : Abhängigkeit der Binnenschiff-Transportkosten von der Transportentfernung

10.5.5 Kosten – See-Transport

Eine Möglichkeit des Seetransports besteht in der Überführung der Bauteile per RoRo-Fähre, wobei die Elemente auf dem Sattelzug, dem Waggon oder den Rolltrailern, welche bereits für den Vorlauf genutzt und später für die Nachlaufprozesse eingesetzt werden, verbleiben. Eine Angebotsabfrage erfolgte im I. Quartal 2007 für Seetransporte nach St. Petersbug und Baltijsk.[335]

Die Rolltrailer fassen wie auch die Waggons der Bahn bis 70 t Nutzlast. Das heißt, pro Rolltrailer können…

- Deckenplatten (DP): 70 t : 3,5 t/DP => 20 DP;
- Innenwände, vollflächig (IW): 69 t - 3 x 1,2 t/A-Bock : 3,15 t/IW => 20 IW;
- Innenwände mit Türöffnung (IW_T): 69 t - 3 x 1,2 t/A-Bock : 2,63 t/IW_T => 24 IW_T.

…verladen werden. Die Kosten für den Transport eines Rolltrailers von Saßnitz nach St. Petersburg über 1.320 km Seeweg betragen 1.380 €. Die Kosten für den Transport eines Bahnwaggons von Saßnitz nach Baltijsk über 550 km Seeweg belaufen sich auf 1.600 €.

Eine weitere Möglichkeit ist der Transport der gebrauchten Betonelemente in Containern. Das Fassungsvermögen eines Containers beträgt:

- 8 Deckenplatten (1 DP mit 3,5 t und 10,8 m² Bauteilfläche)
- 8 vollflächige Innenwände (1 IW mit 3,15 t und 9,4 m² Bauteilfläche) oder
- 10 Innenwände mit Türöffnung (1 IW mit 2,63 t und 9,4 m² Bauteilfläche).

Die Kosten für den Seetransport eines Containers auf einem Containerfrachter belaufen sich auf 828 € für den 1.550 km langen Seeweg von Lübeck nach St. Petersburg.

Tab. 103: Ergebnisse der Recherchen zu See-Transportkosten

Start-hafen	Ziel-hafen	Transport-strecke	Transportkosten je Einheit	Elemente-sortiment /	Elemente-Anzahl	Elemente-masse	Elemente-fläche	Kosten je t und km	Kosten je t und m²
		[km]	[€/Einheit]		je Einheit	[t]	[m²]	[€/t*km]	[€/m²*km]
Sassnitz	St. Petersburg	1.320	1.380,00	DP	20	3,5	10,8	0,01	0,005
		1.320	1.380,00	IW	20	3,15	9,4	0,02	0,006
		1.320	1.380,00	IW_T	24	3,15	9,4	0,01	0,005
Sassnitz	Baltijsk	550	1.600,00	DP	20	3,5	10,8	0,04	0,013
		550	1.600,00	IW	20	3,15	9,4	0,05	0,015
		550	1.600,00	IW_T	24	3,15	9,4	0,04	0,013
Lübeck	St. Petersburg	1.550	828,00	DP	8	3,5	10,8	0,02	0,006
		1.550	828,00	IW	8	3,15	9,4	0,02	0,007
		1.550	828,00	IW_T	10	3,15	9,4	0,02	0,006
Mittelwert								**0,03**	**0,01**

Die durchschnittlichen Kosten für den Transport gebrauchter Bauteile über den Seeweg betragen ca. 3 Cent pro Tonne und Kilometer bzw. 1 Cent pro Quadratmeter Bauteilfläche und Kilometer.

[335] Ivanov, E.: Vermarktung gebrauchter Stahlbetonelemente im Raum St. Petersburg, Studienarbeit, BTU Cottbus, 2007.

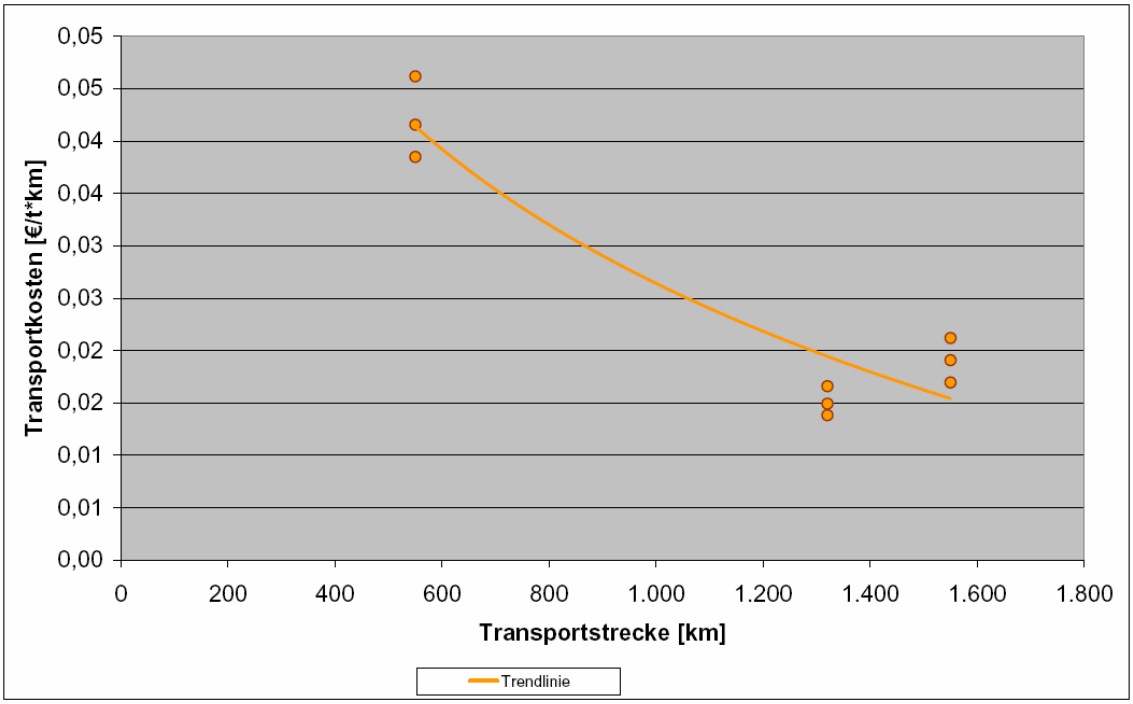


Abb. 106 : Abhängigkeit der See-Transportkosten von der Transportentfernung

10.5.6 Vergleich der Einzelkosten der Transportmittel

Die Abb. 107 präsentiert eine Gegenüberstellung der ermittelten durchschnittlichen Einzelkosten der Transportmittel ohne Berücksichtigung und Vor- und Nachlaufprozessen.

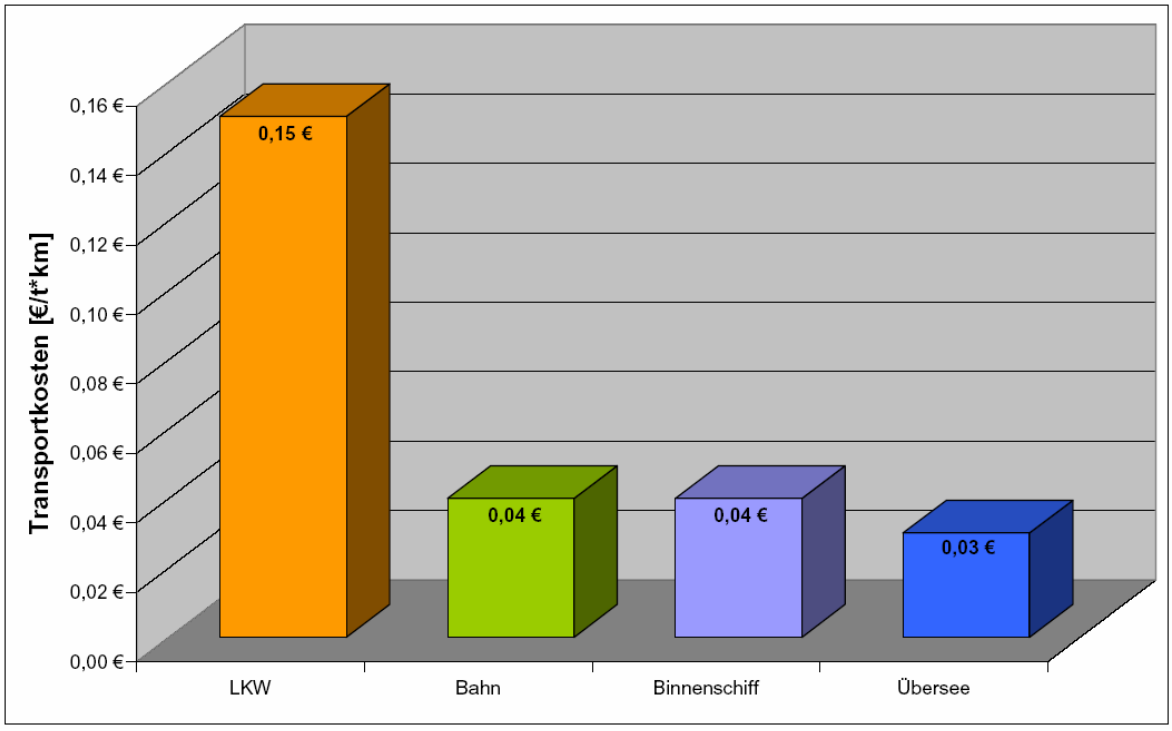


Abb. 107 : Abhängigkeit der Transportkosten von den Transportmitteln mit Bauteilumschlag

Deutlich zeigt sich hierbei der Kostenvorteil von Übersee-, Bahn und Binnenschifftransporten gegenüber LKW-Transporten über große Entfernungen. Die Kosten für den Bauteiltransport mit dem LKW liegen dabei um das 4- bis 5-fache über den Kosten der anderen Transportmittel. Dabei gilt aber anzumerken, dass der LKW-Transport vor allem in Vor- und Nachlaufprozess dieser Transportvarianten nicht auszuschließen ist, da De- und Remontagebaustellen von Wohngebäuden nicht im Bahnhofs- oder Hafenbereichen zu erwarten sind. Daher werden im folgenden Abschnitt verschiedene Transportmittelkombinationen beispielhaft an einem Bauteiltransport von Cottbus nach St. Petersburg erörtert.

10.5.7 Transportmittelkombinationen[336]

Für den beispielhaften Bauteiltransport gebrauchter Betonelemente von Cottbus nach St. Petersburg kommen folgende Transportmittelkombinationen in Frage:

g) Kombination LKW – **Bahn** – LKW (ausschließlich Landtransport),
h) Kombination Bahn – **RoRo-Fähre** – LKW (Land – Seeweg – Landtransport),
i) Kombination LKW – Bahn – **RoRo-Fähre** – **Bahn** – LKW (Land – Seeweg – Landtransport),
j) **LKW** (ausschließlich Landtransport),
k) Kombination LKW – **Containerschiff** – LKW (Land – Seeweg – Landtransport),
l) Kombination LKW – **Binnenschiff – Containerschiff** - LKW (Land – Seeweg – Landtransport).

Annahme:
Transportiert werden sollen dabei für die Errichtung einer Wohnsiedlung mit Ein- und Mehrfamilienhäusern 1.270 Alt-/ RC-Betonbauteile mit einer Gesamtmasse von 3.950 t und 12.500 m² Bauteilfläche.

Tab. 104: Elementesortiment für den Transport nach St. Petersburg

Sortiment	Nachstehend bezeichnet als:	Konstruktionslänge	Kostruktionsbreite/-höhe	Konstruktionshöhe/-dicke	Masse	Volumen	Anzahl	Masse gesamt
		[m]	[m]	[m]	[t]	[m³]	[Stck.]	[t]
Deckenplatte Elemente-Nr. 22001, 22006	DP	5,97	1,785	0,14	3,54	1,5	470	1.663,8
Innenwand Elemente-Nr. 51501	IW	3,58	2,635	0,15	3,15	1,4	320	1.008
Innenwand mit Tür Elemente-Nr. 51504	IW_T	3,58	2,635	0,15	2,63	1	480	1.262,4
Gesamt:							**1.270**	**3.934,2**

Im Folgenden werden die Zusammensetzungen der verschiedenen Transportvarianten dargestellt:

[336] Ivanov, E.: Vermarktung gebrauchter Stahlbetonelemente im Raum St. Petersburg, Studienarbeit, BTU Cottbus, 2007.

10.5.7.1 Variante a): Kombination LKW – Bahn – LKW

1. Vorlauf zum Bahnhof

Der Transportweg von der Demontagestelle zum Umschlagbahnhof Cottbus beträgt bis zu 7 km. Hier gilt ein Pauschaltarifsatz für LKW Einsatz im Nahbereich von 400 €[337] am Tag. Angesetzt wird eine Rundlaufzeit von 1 Stunde (mit Be- und Entladen), 8 Rundläufe pro Tag.

400 €/Tag: 8 Fahrten/Tag = 50 €/Fahrt.

Maximal erlaubte Zuladung eines Sattelaufliegers ist 24 t. Pro Fahrt können befördert werden:

- Deckenplatten DP: 24 t : 3,5 t/DP = 6,85 => 6 Deckenplatten;
- Innenwände IW: (24 t - 1,2 t/A-Bock) : 3,15 t/IW = 7,24 => 6 Innenwandplatten (je 3 IW von jeder Seite des A-Bocks);
- Innenwände mit Tür IW_T: (24 t - 1,2 t/A-Bock): 2,63 t/IW_T = 8,67 => 8 Innenwandplatten (je 4 IW_T von jeder Seite des A-Bocks).

Kosten:

- Deckenplatten DP: 470 Stck.: 6 Stck. =79 Fahrten; 79 Fahrten x 50 €/Fahrt = 3.950 €;
- Innenwände IW: 320 Stck.: 6 Stck. = 54 Fahrten; 54 Fahrten x 50 €/Fahrt = 2.700 €;
- Innenwände IW_T: 480 Stck.: 8 Stck. = 60 Fahrten; 60 Fahrten x 50 €/Fahrt = 3.000 €; insgesamt: **9.650 €**

Pro Betonelement:

- Deckenplatte DP: 50 €/Fahrt : 6 Stck. = 8,33 €;
- Innenwand IW: 50 €/Fahrt : 6 Stck. = 8,33 €;
- Innenwand IW_T: 50 €/Fahrt : 8 Stck. = 6,25 €;

2. Bahntransport Cottbus – Brest

Für den Transport von Deckenplatten werden Plateauwagen mit 70 t Last und für Wandplatten offene Güterwaggons mit 69 t Last angesetzt. Pro Waggon werden beladen:

- Deckenplatten DP: 70 t: 3,5 t/DP => 20 DP;
- Innenwände IW: 69 t - 3 x 1,2 t/A-Bock: 3,15 t/IW => 20 IW;
- Innenwände IW_T: 69 t - 3 x 1,2 t/A-Bock: 2,63 t/IW_T => 24 IW_T.

Für den Transport werden benötigt:

- für DP: 470 Stck.: 20 Stck./Waggon => 24 Waggons;
- für IW: 320 Stck.: 20 Stck./Waggon => 16 Waggons;
- für IW_T: 480 Stck.: 24 Stck./Waggon => 20 Waggons;

insgesamt: 24 Plateauwagen (DP) + 16 offenen Waggons (IW) + 20 Waggons (IW_T) = 60 Waggons.

[337] Quelle: Fa. Spedition Wormser, Hainichen.

Der Transportweg vom Umschlagbahnhof Cottbus bis Bahnhof Brest beträgt ca. 800 km Eisenbahnstrecke. Der pauschale Tarifsatz für diese Strecke beträgt 44 €/t[338]. Für den Transport von 1.270 BE:

44 €/t x 3.934,2 t (Gesamtgewicht aller BE) ≈ **173.105 €**

Pro Betonelement:

- Deckenplatten DP: 44 €/t x 3,5 t = 155,76 €;
- Innenwände IW: 44 €/t x 3,15 t = 138,60 €;
- Innenwände IW_T: 44 €/t x 2,63 t = 115,72 €.

3. Bahntransport Brest – St. Petersburg

Der Transportweg vom Umschlagbahnhof Cottbus bis Bahnhof Brest beträgt ca. 1.230 km Eisenbahnstrecke. Der Tarifsatz für diese Strecke: 1.853 €/Waggon[339].

Kosten: 60 Waggons x 1.853 €/Waggon = **111.180 €.**

Pro Betonelement:

- Deckenplatten DP: 1.853 €/Waggon: 20 Stck./Waggon = 92,65 €;
- Innenwände IW: 1.853 €/Waggon: 20 Stck./Waggon = 92,65 €;
- Innenwände IW_T: 1.853 €/Waggon: 24 Stck./Waggon = 77,21 €.

4. Nachlauf zur Baustelle

Für den Transportweg vom Hafen St. Petersburg zum Wiedereinsatzort wurde eine Entfernung von 30 km angenommen. Durchschnittlicher Tarifsatz für diese Entfernung: 5 €/t[340].

Nachlaufkosten = 3.934,2 t (Gesamtgewicht aller BE) x 5 €/t ≈ **19.670 €**.

Pro Betonelement:

- Deckenplatten DP: 5 €/t x 3,5 t = 17,70 €;
- Innenwände IW: 5 €/t x 3,15 t = 15,75 €;
- Innenwände IW_T: 5 €/t x 2,63 t = 13,15 €.

6. Gesamtkosten für die Transportvariante.

Gesamttransportkosten = Vorlauf zum Bahnhof + Trapo Cottbus-Brest + Trapo Brest-St. Petersburg + Nachlauf zur Baustelle =

9.650 € + 173.105 € + 111.180 € + 19.670 € ≈ **313.600 €.**

Pro Deckenplatte DP: 8,33 € + 155,67 € + 92,65 € + 17,70 € ≈ 274€.

Pro Innenwand IW: 8,33 € + 138,60 € + 92,65 € + 15,75 € ≈ 255€.

Pro Innenwand IW_T: 6,25 € + 115,72 € + 77,21 € + 13,15 € ≈ 212€.

Dies entspricht bei einer Gesamttransportstrecke von ca. 2.060 km Transportkosten von ca. 0,039 €/t bzw. 0,012 €/m² Bauteilfläche.

[338] Fa. Transe Berlin, Ansprechpartner Hr. Rössler.
[339] Angaben laut Kalkulationssoftware RailTarif, Stand 31.01.07.
[340] Quelle: „StrojZena“, offizielle Ausgabe Nr. 6, 2004.

10.5.7.2 Variante b): Kombination LKW – Bahn – RoRo-Fähre – LKW (auf Rolltrailer)

1. Vorlauf zum Bahnhof

Der Transportweg von der Demontagestelle zum Umschlagbahnhof Cottbus beträgt bis zu 7 km. Hier gilt der Pauschaltarifsatz für LKW Einsatz im Nahbereich von 400 €[341] am Tag. Angesetzt wird eine Rundlaufzeit von 1 Stunde (mit Be- und Entladen), 8 Rundläufe pro Tag.

400 €/Tag: 8 Fahrten/Tag = 50 €/Fahrt.

Maximal erlaubte Zuladung eines Sattelaufliegers ist 24 t. Pro Fahrt können befördert werden:

- Deckenplatten DP: 24 t: 3,5 t/D = 6,85 => 6 Deckenplatten;
- Innenwände IW: 24 t - 1,2 t/A-Bock: 3,15 t/IW = 7,24 => 6 Innenwandplatten (je 3 IW pro Seite des A-Bocks);
- Innenwände mit Tür IW_T: 24 t - 1,2 t/A-Bock: 2,63 t/IW_T = 8,67 => 8 Innenwandplatten (je 4 IW_T von jeder Seite des A-Bocks).

Vorlaufkosten:

- Deckenplatten DP: 470 Stck.: 6 Stck. = 79 Fahrten; 79 Fahrten x 50 €/Fahrt = 3.950 €;
- Innenwände IW: 320 Stck.: 6 Stck. = 54 Fahrten; 54 Fahrten x 50 €/Fahrt = 2.700 €;
- Innenwände IW_T: 480 Stck.: 8 Stck. = 60 Fahrten; 60 Fahrten x 50 €/Fahrt = 3.000 €; insgesamt: **9.650 €**

Pro Betonelement:

- Deckenplatte DP: 50 €/Fahrt : 6 Stck. = 8,33 €;
- Innenwand IW: 50 €/Fahrt : 6 Stck. = 8,33 €;
- Innenwand IW_T: 50 €/Fahrt : 8 Stck. = 6,25 €;

2. Vorlauf zum Hafen

Der Transportweg vom Umschlagbahnhof Cottbus bis Fährhafen Saßnitz beträgt ca. 445 km Eisenbahnstrecke. Ein pauschaler Tarifsatz für diese Strecke inkl. Mengenrabatt und Umschlag: 1300 €/Waggon[342]. Für den Transport von Deckenplatten werden Plateauwagen mit 70 t Last und für Wandplatten offene Güterwaggons mit 69 t Last angesetzt. Pro Waggon werden verladen:

- Deckenplatten DP: 70 t : 3,5 t/DP => 20 DP;
- Innenwände IW: 69 t - 3 x 1,2 t/A-Bock: 3,15 t/IW => 20 IW;
- Innenwände (IW_T): 69 t - 3 x 1,2 t/A-Bock: 2,63 t/IW_T => 24 IW_T.

[341] Quelle: Fa. Spedition Wormser, Hainichen.
[342] Quelle: Stinnes AG, Ansprechpartner Herr Hans-Dieter Strandt.

Für den Transport werden benötigt:

- für DP: 470 Stck.: 20 Stck./Waggon => 24 Waggons;
- für IW: 320 Stck.: 20 Stck./Waggon => 16 Waggons;
- für IW_T: 480 Stck.: 24 Stck./Waggon => 20 Waggons;

insgesamt: 24 Plateauwagen DP + 16 offenen Waggons IW + 20 Waggons IW_T = 60 Waggons.

Vorlaufkosten: 60 Waggons x 1.300 €/Waggon = **78.000 €**.

Pro Betonelement:

- Deckenplatten DP: 1.300 €/Waggon: 20 Stck./Waggon = 65,00 €;
- Innenwände IW: 1.300 €/Waggon: 20 Stck./Waggon = 65,00 €;
- Innenwände IW_T: 1.300 €/Waggon: 24 Stck./Waggon = 54,17 €.

3. Seetransport Saßnitz – St. Petersburg

Im Fährhafen Saßnitz erfolgt ein Umschlag der Betonelemente auf 40' Rolltrailer mit 70 t Last. Die Rolltrailer werden auf die gleiche Weise beladen, wie die Eisenbahnwagons, d.h. es werden 60 Rolltrailer benötigt.

Seefracht: 1.150 €/Rolltrailer + 20% baf[343] = 1.380 €/Rolltrailer

Fracht gesamt: 1.380 €/Rolltrailer x 60 Rolltrailer = **82.800 €**.

Pro Betonelement:

- Deckenplatten DP: 1.380 €/Trailer: 20 Stck./Trailer = 69,00 €;
- Innenwände IW: 1.380 €/Trailer: 20 Stck./Trailer = 69,00 €;
- Innenwände IW_T: 1.380 €/Trailer: 24 Stck./Trailer = 57,50 €.

4. Umschlag in St. Petersburg

Im Hafen St. Petersburg werden die BE einzeln auf LKW verladen.

Umschlagskosten = 1.270 BE x 10,80 €/Lift[344] ≈ **13.720 €**.

5. Nachlauf zur Baustelle

Für den Transportweg vom Hafen St. Petersburg zum Wiedereinsatzort wurde eine Entfernung von 30 km angenommen. Durchschnittlicher Tarifsatz für diese Entfernung: 5 €/t[345].

Nachlaufkosten = 3.934,2 t (Gesamtgewicht aller BE) x 5 €/t ≈ **19.670 €**.

Pro Betonelement:

- Deckenplatten DP: 5 €/t x 3,5 t = 17,70 €;
- Innenwände IW: 5 €/t x 3,15 t = 15,75 €;
- Innenwände IW_T: 5 €/t x 2,63 t = 13,15 €.

[343] Zuschlag baf - *Bunker Adjustment Factor* - ist Zuschlag/Abschlag auf Seefrachtrate, Ausgleich für Ölpreis. Hier angesetzt in Höhe von 20%.
[344] Quelle: Fa. Baltic Transport Systems, St. Petersburg.
[345] Quelle: „StrojZena", offizielle Ausgabe Nr. 6, 2004.

6. Gesamtkosten für die Transportvariante.

Gesamttransportkosten = Vorlauf zum Bahnhof + Vorlauf zum Hafen + Seetransport von Saßnitz nach St. Petersburg + Umschlag in St. Petersburg + Nachlauf zur Baustelle =

= 9.650 € + 78.000 € + 82.800 € + 13.720 € + 19.670 € = **203.840 €**

Pro Deckenplatte DP: 8,33 € + 65,00 € + 69,00 € + 10,80 € + 17,70 € ≈ 171 €.

Pro Innenwand IW: 8,33 € + 65,00 € + 69,00 € + 10,80 € + 15,75 € ≈ 169 €.

Pro Innenwand IW_T: 6,25 € + 54,17 € + 57,50 € + 10,80 € + 13,15 € ≈ 142 €.

Dies entspricht bei einer Gesamttransportstrecke von ca. 1.745 km Transportkosten von ca. 0,030 €/t bzw. 0,009 €/m² Bauteilfläche.

10.5.7.3 Variante c): Kombination LKW – Bahn – RoRo-Fähre – Bahn – LKW

1. Vorlauf zum Fährhafen Saßnitz (s. Var. b)

DP = 8,33 € + 65 € = 73,33 €

IW = 8,33 € + 65 € = 73,33 €

IW_T = 6,25 € + 54,17 60,42 €

Gesamt: 9.650 € + 78.000 € = **87.650 €**

2. Seetransport Saßnitz – Baltijsk

Beladung der Waggons s. Var. a)

Seefracht: 1.600 €/Waggon[346] pauschal, inkl. BAF, THC.

Fracht gesamt: 1.600 €/Waggon x 60 Waggons = **96.000 €.**

Pro Betonelement

- Deckenplatten DP: 1.600 €/Waggon: 20 Stck./Waggon = 80,00 €;
- Innenwände IW: 1.600 €/Waggon: 20 Stck./Waggon = 80,00 €;
- Innenwände IW_T: 1.600 €/Waggon: 24 Stck./Waggon = 66,67 €.

3. Bahnstrecke Baltijsk – St. Petersburg

Transportentfernung: 1.385 km Bahnstrecke.

Fracht: 545,02 €/Plateauwagen DP, 537,33 €/offener Waggon[347] IW

Kosten: 24 Plateauwagen DP x 545,02 €/Plateauwagen = 13.080,48 €; 36 offene Waggons (IW) x 537,33 €/offener Waggon = 19.343,88 €; 13.080,48 € + 19.343,88 € ≈ **32.420 €.**

[346] Quelle: Fährhafen Saßnitz, Ansprechpartner Herr Thomas Langlotz.
[347] Angaben laut Kalkulationssoftware RailTarif, Stand 31.01.07.

Pro Betonelement:

- Deckenplatten DP: 545 €/Waggon: 20 Stck./Waggon = 27,25 €;
- Innenwände IW: 537 €/Waggon: 20 Stck./Waggon = 26,87 €;
- Innenwände IW_T: 537 €/Waggon: 24 Stck./Waggon = 22,39 €.

4. Nachlauf zur Baustelle

Für den Transportweg vom Hafen St. Petersburg zum Wiedereinsatzort wurde eine Entfernung von 30 km angenommen. Durchschnittlicher Tarifsatz für diese Entfernung: 5 €/t[348].

Nachlaufkosten = 3.934,2 t (Gesamtgewicht aller BE) x 5 €/t ≈ **19.670 €**.

Pro Betonelement:

- Deckenplatten DP: 5 €/t x 3,5 t = 17,70 €;
- Innenwände IW: 5 €/t x 3,15 t = 15,75 €;
- Innenwände IW_T: 5 €/t x 2,63 t = 13,15 €.

5. Gesamtkosten für die Transportvariante.

Gesamttransportkosten = Vorlauf zum Bahnhof + Vorlauf zum Hafen + Seetransport von Saßnitz nach Baltijsk + Bahntransport Baltijsk - St. Petersburg + Nachlauf zur Baustelle =

= 9.650 € + 78.000 € + 96.000 € + 32.420 € + 19.670 € = **235.740 €**

Pro Deckenplatte DP: 8,33 € + 65,00 € + 27,25 € + 17,70 € ≈ 198 €.

Pro Innenwand IW: 8,33 € + 65,00 € + 26,87 € + 15,75 € ≈ 196 €.

Pro Innenwand IW_T: 6,25 € + 54,17 € + 66,67 € + 13,15 € ≈ 163 €.

Dies entspricht bei einer Gesamttransportstrecke von ca. 2.385 km Transportkosten von ca. 0,025 €/t bzw. 0,008 €/m² Bauteilfläche.

10.5.7.4 Variante d): Ausschließlicher LKW-Transport

Maximal erlaubte Zuladung eines Sattelaufliegers in Russland ist 22 t. Pro Fahrt kann befördert werden:

- Deckenplatten DP: 22 t: 3,5 t/D = 6,29 => 6 Deckenplatten;
- Innenwände IW: 22 t - 1,2 t/A-Bock: 3,15 t/IW = 6,60 => 6 Innenwandplatten (je 3 IW von jeder Seite des A-Bocks);
- Innenwände mit Tür IW_T: 22 t - 1,2 t/A-Bock: 2,63 t/IW_T = 7,91 => 8 Innenwandplatten (je 4 IW_T von jeder Seite des A-Bocks).

[348] Quelle: „StrojZena“, offizielle Ausgabe Nr. 6, 2004.

Transportumfang:

- Deckenplatten DP: 470 Stck.: 6 Stck. = 79 Fahrten;
- Innenwände IW: 320 Stck.: 6 Stck. = 54 Fahrten;
- Innenwände IW_T: 480 Stck.: 8 Stck. = 60 Fahrten;

Pauschaler Tarifsatz: 2.900 €/Fahrt[349].

Transportkosten: 193 Fahrten x 2.900 €/Fahrt = **559.700 €.**

Pro Betonelement:

- Deckenplatte DP: 2.900 €/Fahrt: 6 Stck. = 483,00 €;
- Innenwand IW: 2.900 €/Fahrt: 6 Stck. = 483,00 €;
- Innenwand IW_T: 2.900 €/Fahrt: 8 Stck. = 362,50 €;

Dies entspricht bei einer Gesamttransportstrecke von ca. 1.920 km Transportkosten von ca. 0,074 €/t bzw. 0,023 €/m² Bauteilfläche.

10.5.7.5 Variante e): Kombination LKW – Containerschiff – LKW

Maximale Zuladung pro 20' Container: 28,13 t

Pro Container können befördert werden:

- Deckenplatten DP: 28,13 t : 3,5 t => 8 Stck.;
- Innenwandplatten IW: 28,13 t : 3,15 t = 8,93 => 8 Stck.;
- Innenwandplatten IW_T: 28,13 t : 2,63 t = 10,69 => 10 Stck.

Transportumfang:

- Deckenplatten DP: 470 Stck.: 8 Stck. = 58,75 => 59 Container;
- Innenwandplatten IW: 320 Stck.: 8 Stck. => 40 Container;
- Innenwandplatten IW_T: 480 Stck.: 10 Stck. => 48 Container.

1. Vorlauf Cottbus - Lübeck.

Entfernung: ca. 440 km.

Tarifsatz pro Fahrt: 950 €[350] (ein Container pro Fahrt).

Kosten: 147 Fahrten x 950 €/Fahrt = **139.650 €**.

Pro Betonelement:

- Deckenplatte DP: 950 €/Fahrt: 8 Stck. = 118,75 €;
- Innenwand IW: 950 €/Fahrt: 8 Stck. = 118,75 €;
- Innenwand IW_T: 950 €/Fahrt: 10 Stck. = 95,00 €.

[349] Quelle: Fa. Spedition Wormser, Hainichen.
[350] Quelle: Sächsische Binnenhäfen Oberelbe GmbH, Dresden.

2. Seetransport Lübeck – St. Petersburg.

Entfernung: ca. 1.550 km.

Fracht[351] pro 20' Container: 690 €/Container + 138 €/Container (20% baf) = 828 €/Container.

Fracht gesamt: 147 Container x 828 €/Container ≈ **121.720 €**.

Pro Betonelement:

- Deckenplatte DP: 828 €/Container: 8 Stck. = 103,50 €;
- Innenwand IW: 828 €/Container: 8 Stck. = 103,50 €;
- Innenwand IW_T: 828 €/Container: 10 Stck. = 82,80 €.

Umschlag (THC) in Lübeck: 160 €/Container, im St. Petersburg: 250 €/Container, = 410 €.

147 Container x 410 €/Container = **60.270 €**.

Pro Betonelement:

- Deckenplatte DP: 410 €/Container: 8 Stck. = 51,25 €;
- Innenwand IW: 410 €/Container: 8 Stck. = 51,25 €;
- Innenwand IW_T: 410 €/Container: 10 Stck. = 41,00 €.

3. Nachlauf zur Baustelle

Für den Transportweg vom Hafen St. Petersburg zum Wiedereinsatzort wurde eine Entfernung von 30 km angenommen. Durchschnittlicher Tarifsatz für diese Entfernung: 5 €/t[352].

Nachlaufkosten = 3.934,2 t (Gesamtgewicht aller BE) x 5 €/t ≈ **19.670 €**.

Pro Betonelement:

- Deckenplatten DP: 5 €/t x 3,5 t = 17,70 €;
- Innenwände IW: 5 €/t x 3,15 t = 15,75 €;
- Innenwände IW_T: 5 €/t x 2,63 t = 13,15 €.

4. Gesamtkosten für die Transportvariante.

Gesamttransportkosten = Vorlauf zum Hafen Lübeck + Seetrapo Lübeck - St. Petersburg + Umschlag + Nachlauf zur Baustelle =

139.650 € + 121.720 € + 60.270 € + 19.670 € ≈ **341.310 €.**

Pro Deckenplatte DP: 118,75 € + 103,50 € + 51,25 € + 17,70 € ≈ 291 €.

Pro Innenwand IW: 118,75 € + 103,50 € + 51,25 € + 15,75 € ≈ 289 €.

Pro Innenwand IW_T: 95,00 € + 82,20 € + 41,00 € + 13,15 € ≈ 232 €.

Dies entspricht bei einer Gesamttransportstrecke von ca. 2.020 km Transportkosten von ca. 0,043 €/t bzw. 0,014 €/m² Bauteilfläche.

[351] Quelle: Sächsische Binnenhäfen Oberelbe GmbH, Dresden.
[352] Quelle: „StrojZena", offizielle Ausgabe Nr. 6, 2004.

10.5.7.6 Variante f): Kombination LKW – Binnenschiff – Containerschiff - LKW

Transportumfang s. Var. e) Anl.1.

1. Vorlauf Cottbus - Riesa.

Entfernung: ca. 100 km.

Tarifsatz pro Fahrt: 250 € (ein Container pro Fahrt).

Kosten: 147 Fahrten x 250 €/Fahrt = **36.750 €**.

Pro Betonelement:

- Deckenplatte DP: 250 €/Fahrt: 8 Stck. = 31,25 €;
- Innenwand IW: 250 €/Fahrt: 8 Stck. = 31,25 €;
- Innenwand IW_T: 250 €/Fahrt 10 Stck. = 25,00 €.

Umschlag auf Binnenschiff: 62 €/Container[353].

147 Container x 62 €/Container ≈ **9.110 €**.

Pro Betonelement:

- Deckenplatte DP: 62 €/Container: 8 Stck. = 7,75€;
- Innenwand IW: 62 €/Container: 8 Stck. = 7,75 €;
- Innenwand IW_T: 62 €/Container: 10 Stck. = 6,20 €.

2. Vorlauf Riesa - Lübeck.

Fracht: 350 €/Container[354].

Fracht gesamt: 350 €/Container x 147 Container = **51.450 €**.

Pro Betonelement:

- Deckenplatte DP: 350 €/Container: 8 Stck. = 43,80 €;
- Innenwand IW: 350 €/Container: 8 Stck. = 43,80 €;
- Innenwand IW_T: 350 €/Container: 10 Stck. = 35,00 €.

3. Seetransport Lübeck – St. Petersburg.

Entfernung: ca. 1.550 km.

Fracht pro 20’ Container: 690 €/Container + 138 €/Container (20% baf) = 828 €/Container.

Fracht gesamt: 147 Container x 828 €/Container ≈ **121.720 €**.

Pro Betonelement:

- Deckenplatte DP: 828 €/Container: 8 Stck. = 103,50 €;
- Innenwand IW: 828 €/Container: 8 Stck. = 103,50 €;
- Innenwand IW_T) 828 €/Container: 10 Stck. = 82,80 €.

[353] Quelle: Sächsische Binnenhäfen Oberelbe GmbH, Dresden.
[354] ebenda.

Umschlag (THC) in Lübeck: 160 €/Container, in St. Petersburg: 250 €/Container, = 410 €.

147 Container x 410 €/Container = **60.270 €**.

Pro Betonelement:

- Deckenplatte DP: 410 €/Container: 8 Stck. = 51,25 €;
- Innenwand IW: 410 €/Container: 8 Stck. = 51,25 €;
- Innenwand IW_T: 410 €/Container: 10 Stck. = 41,00 €.

4. Nachlauf zur Baustelle

Für den Transportweg vom Hafen St. Petersburg zum Wiedereinsatzort wurde eine Entfernung von 30 km angenommen. Durchschnittlicher Tarifsatz für diese Entfernung: 5 €/t.

Nachlaufkosten = 3.934,2 t (Gesamtgewicht aller BE) x 5 €/t ≈ **19.670 €**.

Pro Betonelement:

- Deckenplatten DP: 5 €/t x 3,5 t = 17,70 €;
- Innenwände IW: 5 €/t x 3,15 t = 15,75 €;
- Innenwände IW_T: 5 €/t x 2,63 t = 13,15 €.

5. Gesamtkosten für die Transportvariante.

Gesamttransportkosten = Vorlauf zum Binnenhafen Riesa + Umschlag auf Binnenschiff + Vorlauf zum Hafen Lübeck + Seetrapo Lübeck - St. Petersburg + Umschlag + Nachlauf zur Baustelle =

36.750 € + 9.110 € + 51.450 € + 121.720 € + 60.270 € + 19.670 € ≈ **298.970 €.**

Pro Deckenplatte DP: 31,25 € + 43,80 € + 103,50 € + 51,25 € + 17,70 € ≈ 255 €.

Pro Innenwand IW: 31,25 € + 43,80 € + 103,50 € + 51,25 € + 15,75 € ≈ 253 €.

Pro Innenwand IW_T: 25,00 € + 6,20 € + 35,00 € + 82,80 € + 41,00 € + 13,15 € ≈ 203 €.

Dies entspricht bei einer Gesamttransportstrecke von ca. 2.210 km Transportkosten von ca. 0,034 €/t bzw. 0,011 €/m² Bauteilfläche.

10.5.7.7 Vergleich der Transportkombinationen

In nachfolgender Tab.105 Ist ein Vergleich der dargestellten Transportmittelkombinationen und deren Kosten pro Tonne Bauteil bzw. Quadratmeter Bauteilfläche je Kilometer aufgeführt.

Tab. 105: Vergleich der Kosten der verschiedenen Transportkombinationen

Variante	Beschreibung	Transport-	Transportkosten		
		strecke	Gesamt	pro t und km	pro m² und km
		[km]	[€]	[€/t*km]	[€/m²*km]
a	Bahn	2.060	313.600	0,039	0,012
b	RoRo-Fähre und Trailer	1.745	203.840	0,030	0,009
c	RoRo-Fähre und Bahn	2.385	235.740	0,025	0,008
d	LKW	1.920	559.700	0,074	0,023
e	Containerschiff und LKW	2.020	341.310	0,043	0,014
f	Container- und Binnenschiff	2.210	298.970	0,034	0,011

Im Vergleich der untersuchten Transportvarianten mit unterschiedlichen Kombinationen der Transportmittel zeigt sich ein deutlicher Vorteil der Bauteiltransporte über RoRo-Fähren gegenüber dem reinen LKW-Transport. Der LKW-Transport ist in diesem Fall um das 3-fache teurer. Auch gegenüber dem Bahntransport zeigt sich immer noch ein Kostennachteil von fast 100 % Mehraufwand im Vergleich zum reinen LKW-Einsatz (vgl. auch Abb. 108).

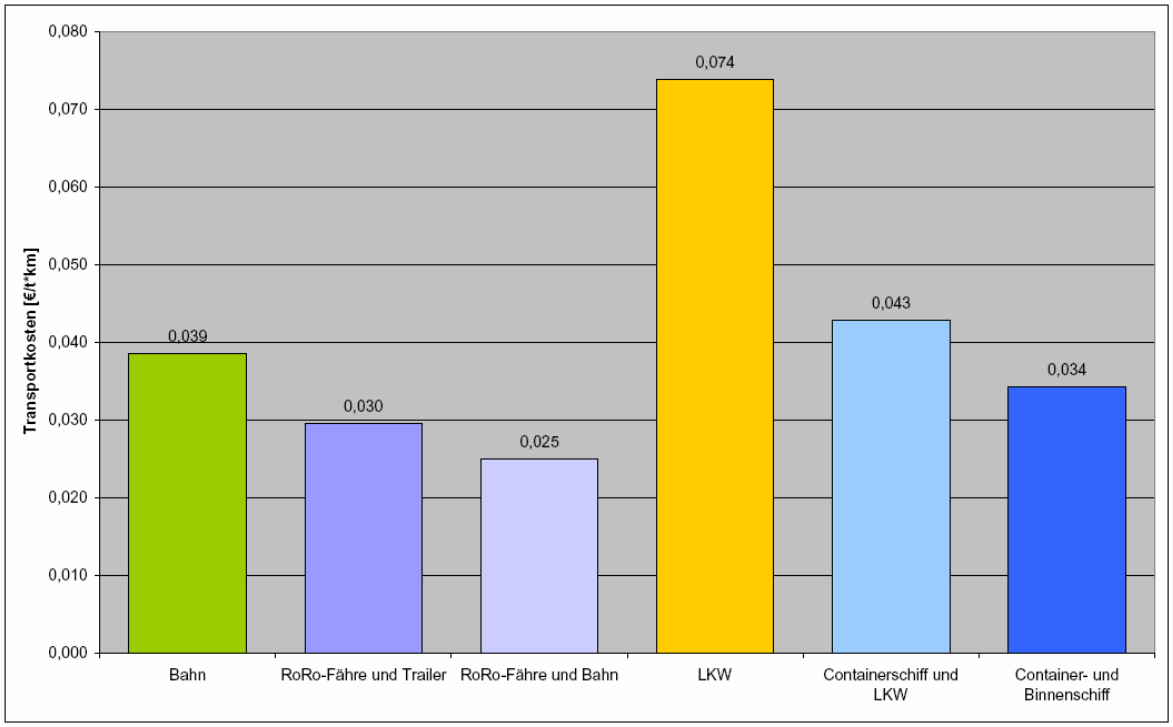


Abb. 108 : Vergleich der Kosten der verschiedenen Transportkombinationen

Diese hier ermittelten Werte sind jedoch auf Grund der Verwendung vieler Hochrechnungen, Kalkulations- und Durchschnittswerten sowie der zeitlichen, regionalen und saisonalen Abhängigkeit der Preise nur als Richtwerte zu betrachten.

Es kann davon ausgegangen werden, dass für den regionalen Bauteiltransport der LKW mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit das wirtschaftlich günstigste Transportmittel darstellt, da hierbei zusätzliche Umschlagprozesse und evtl. Zwischenlagerungen entfallen. Für größere Transportentfernungen und Mengen sind die Möglichkeiten des Schienen- und Schiffstransportes unbedingt zu prüfen, da sie in diesem Fall einen deutlichen Kostenvorteil bergen. Es zeigt sich auch deutlich, dass durch eine detaillierte Planung der Logistik für den Bauteiltransport Kosten in Größenordnungen vermieden werden können.

10.6 Kosten – Remontage sekundärer Bauteile

Auf Grund der bisher fast ausschließlich in Deutschland 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 in Deutschland beispielhaft aufgeführt.

Für den Wiederneubau eines Vereinshauses in Kolkwitz wurde unter Verwendung von Bauteilen dem P2-Typ eine Kostenkalkulation erstellt.[355] 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 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[356] leiten aus ihren Untersuchungen zur Remontage der Stadtvillen in Cottbus 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[357] 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 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 beziffert die Kosten für die Remontage einer Wandplatte inkl. Aufarbeitung mit 660 Euro und für eine Deckenplatte mit 580 Euro[358]. 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[359] ermittelte Remontagekosten von durchschnittlich 483,17 € je Deckenplattenelement und 216,10 € je Wandelement. Diese Kosten für den Wiederneubau eines Musterhauses aus Bauteilen

[355] Mettke, A.; Strothotte, J.: Vereinshaus Kolkwitzer Sportverein – Entwurf für ein Vereinshaus aus remontierten Plattenbauelementen, Cottbus, 2005, in Zusammenarbeit mit Jähne & Göpfert, Ingenieurbüro GmbH, Cottbus.
[356] Unruh, H.-P.; Nagora, A.: Rückbau von Plattenbauten, Cottbus, 2002, S. 213.
[357] Mettke, A.; Asmus, S.: Entwurfsplanung - Bau eines Bürogebäudes unter Verwendung gebrauchter P2-Betonfertigteile in Boxberg, Cottbus, 2006.
[358] Angaben: Sprinz, N., 2007 PGM Planungsgruppe Mitte GmbH in Gotha.
[359] 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..

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.

Tab. 106: 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.

10.7 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 in Deutschland 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. 107: Neuteilpreise in Deutschland – 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 €.

In 2007 erfolgte durch die FG Bauliches Recycling ebenfalls eine Preisabfrage für Neubauteile in Russland. Das Ergebnis ist in nachfolgender Tab. 108 aufgeführt.

Tab. 108: Neuteilpreise in Russland von 2007

Elementesortiment	**Elementenummer**	**Abmessungen**	**Neupreis Katalog**
		[m]	**[€/m²]**
Deckenplatten	20000 u.ä.	3 x 6 x 0,14	25,00 €
Deckenplatten	24702 u.ä.	1,8 x 6 x 0,14	23,32 €
Innenwände voll	50500	5,81 x 2,63 x 0,15	50,85 €
Innenwände mit Türöffnung	50501	5,81 x 2,63 x 0,15	50,15 €
Außenwände mit Balkontür	40448, 10449 u.ä.	5,98 x 2,865 x 0,26	112,65 €
Außenwände mit 2 Fensteröffnungen	40418, 10419 u.ä.	5,98 x 2,865 x 0,26	112,65 €
Außenwände Giebelelemente	40500, 40510, 40514	3,18 (2,98) x 2,865 x 0,26	82,90 €

Einen Vergleich der Neuteilpreise in Deutschland und Russland wird in Abb. 109 visualisiert.

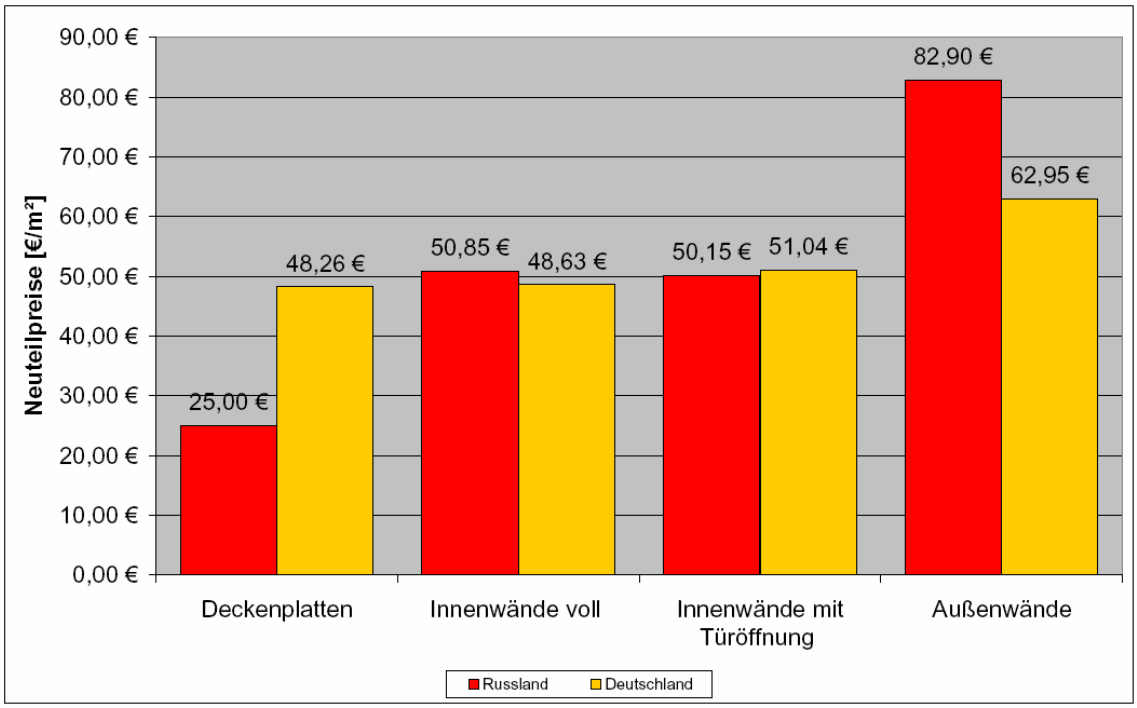


Abb. 109 : Vergleich der Neuteilpreise für Betonbauteile in Deutschland und Russland

Diese Darstellung verdeutlicht, dass sich die Neupreise für Betonbauteile in Russland in vergleichbaren Spannen bewegen wie dies in Deutschland der Fall ist. Lediglich die Deckenplatten können in Russland günstiger produziert werden. Die Außenwände sind in ihrer Herstellung rd. 20 € teurer.

Als Grundlage für die Neupreisermittlung in Russland wurden die offiziell veröffentlichen Basisanschlagpreise[360] und die, durch die Bundesagentur für Bauwesen und Kommunalwirtschaft, festgelegten Umrechnungskoeffizienten[361] (1. Quartal 2007, für Leningrader Gebiet – 3,66) verwendet. Es handelt sich dabei um Kalkulationspreise, die bei Kostenvoranschlägen für staatlich finanzierte Bauvorhaben und in der Dokumentation zu den Ausschreibungen verwendet werden. Alle Angaben sind inklusive 18% Mehrwertsteuer.

Die Berechnung des Preises erfolgt durch Multiplizieren der Volumina der Elemente und dem Basispreis in Rubel pro m³ und dem Umrechnungskoeffizient 3,66 und 18% MwSt. sowie der Berücksichtigung des Devisenkurses Rubel - Euro ergibt sich der Preis in Euro[362]. Der Neupreis für vergleichbare Elemente - hergestellt in Betonwerken im Raum Sankt Petersburg - beträgt (inkl. MwSt.) im Durchschnitt ca.:

- Innenwand 3,58 x 2,635 x 0,15 m — 15.841,36 RUB — entspr. 462 €
- Innenwand mit Tür 3,58 x 2,635 x 0,15 m — 11.315,26 RUB — entspr. 330 €
- Deckenplatte 5,97 x 1,785 x 0,14 m — 9.069,48 RUB — entspr. 264 €

bzw. 176,17 €/m³ Festbeton für Deckenplatten und 329,69 €/m³ für Innenwandelemente.

[360] Quelle: „StrojZena“, offizielle Ausgabe Nr. 6, 2004; Tab. 4.03.06, Pos. 440-9154 und 440-2141.
[361] Bekanntmachung der Bundesagentur für Bauwesen und Kommunalwirtschaft Nr. CK-185/02 vom 23.01.2007.
[362] 1€ = 34.3212 Rubel; Stand 30.01.2007.

Die Preisentwicklung auf dem russischen Markt für Betonfertigteile in den letzten 2 Jahren ist in Abb. 110 dargestellt.

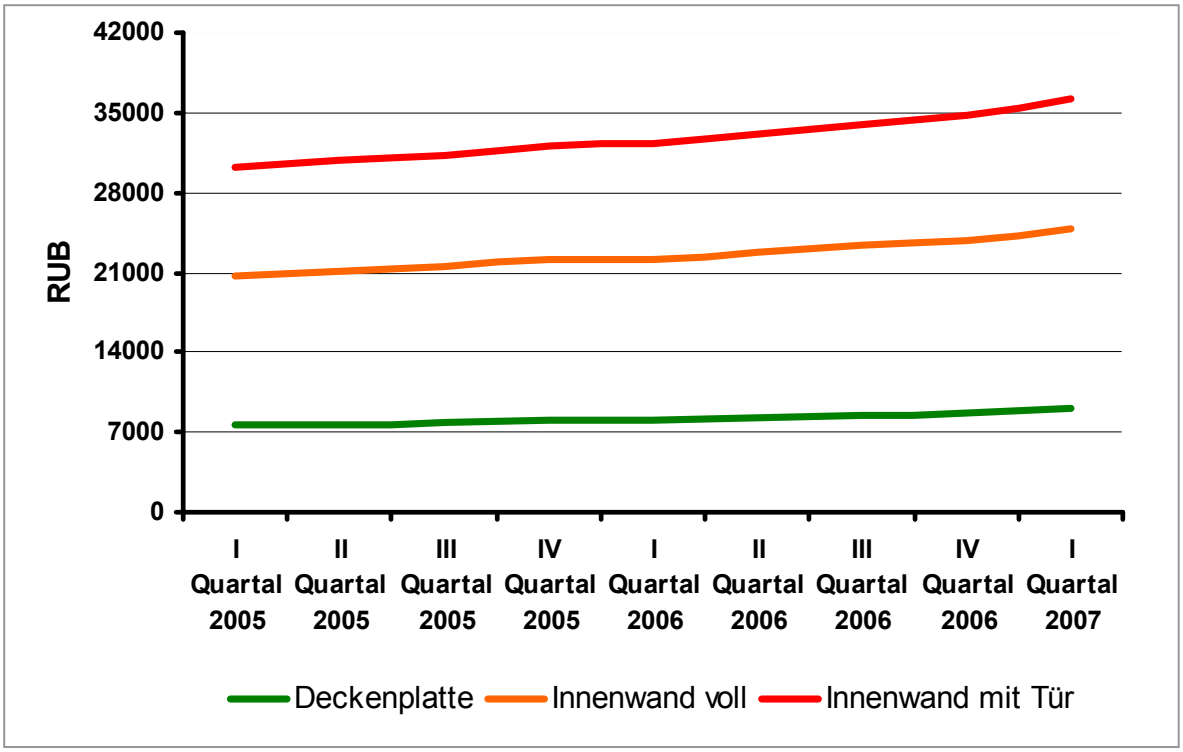


Abb. 110 : Preisentwicklung für Betonelemente hergestellt in St. Petersburg (exkl. MwSt.)

Deutlich zu erkennen ist die steigende Tendenz der Preise innerhalb von nur 2 Jahren. Preissteigerung ist vor allem durch ständig wachsende Energiekosten sowie durch eine enorme Nachfrage bedingt. Im Verlauf Jahr 2007 erfolgten weitere Preissteigerungen bspw. für Zement bis zu 75 %, für Kies, Holz und Metalle um über 20 %. Immobilienpreise, insbesondere in Metropolen wie Sankt Petersburg oder Moskau sind im Moment auf dem höchsten Stand und die Nachfrage im primären Immobilenmarkt bleibt nach Expertenschätzungen noch mehrere Jahre groß. Gebaut wird vermehrt auch in Einzugsgebieten großer Städte. Ähnliche Entwicklungen sind in Polen, Tschechien und anderen osteuropäischen Ländern zu erkennen.

Somit erweist es sich als sehr schwierig aktuelle und repräsentable Daten zu Baukosten in diesen Ländern zu bekommen. Um einen wirtschaftlichen Prozessvergleich zwischen dem Wiedereinsatz gebrauchter Betonelemente aus deutschen Plattenbauten und herkömmlichen Bauweisen zu ermöglichen, soll dieser zunächst auf Basis der recherchierten Kostendaten in Deutschland erfolgen.

Dabei gilt es zu beachten, dass der derzeitige Produktionsprozess baugleicher Betonelemente, wie sie in großteiligen Wohnungsbaueinheiten wie dem Plattenbauten eingesetzt wurden, mit der kostenintensiven Fabrikation von Sonderelementen in den Betonwerken gleichgesetzt werden kann. 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 in Deutschland werden nachfolgend aufgeführt.

Tab. 109: Ausführungskosten des Neubaus in konventionellen Bauweisen[363]

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. 109 aufgeführten Bauweisen gilt zu berücksichtigen, dass insbesondere bei der Ausführung in den verschiedenen Mauerwerksvarianten alle Flächen im Innen- und Außenbereich 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.

10.8 Kostenvergleich – Wiederneubau / konventioneller Neubau (Russland)

Ein Vergleich der Neuteilpreise in St. Petersburg aus Abschn. 10.7 mit den in Abschn.10.5.7 aufgezeigten Transportkosten von Alt-/ RC-Betonbauteilen aus Deutschland weist einen deutlichen Kostenvorteil der Wiederverwendung auf (s. Abb. 111). So belaufen sich die Transportkosten der sekundären Deckenplatten ca. auf 2/3 der Neuteilproduktion. Dies entspricht einer Kostenreduktion von ca. 8,60 €/m² Deckenfläche. Die Einsparungen bei den Innenwandelementen sind noch gravierender. So liegen die Transportkosten für gebrauchte vollflächige Innenwandbauteile bei 1/3 des Neuproduktionspreises, die von Innenwandelementen mit Türöffnung bei ca. 43 %. Die Kosteneinsparungen betragen hier 31 €/m² bzw. 20 €/m² Wandfläche.

[363] nach: BKI Baukostenkatalog 2006, Teil 2, Stuttgart 2006.

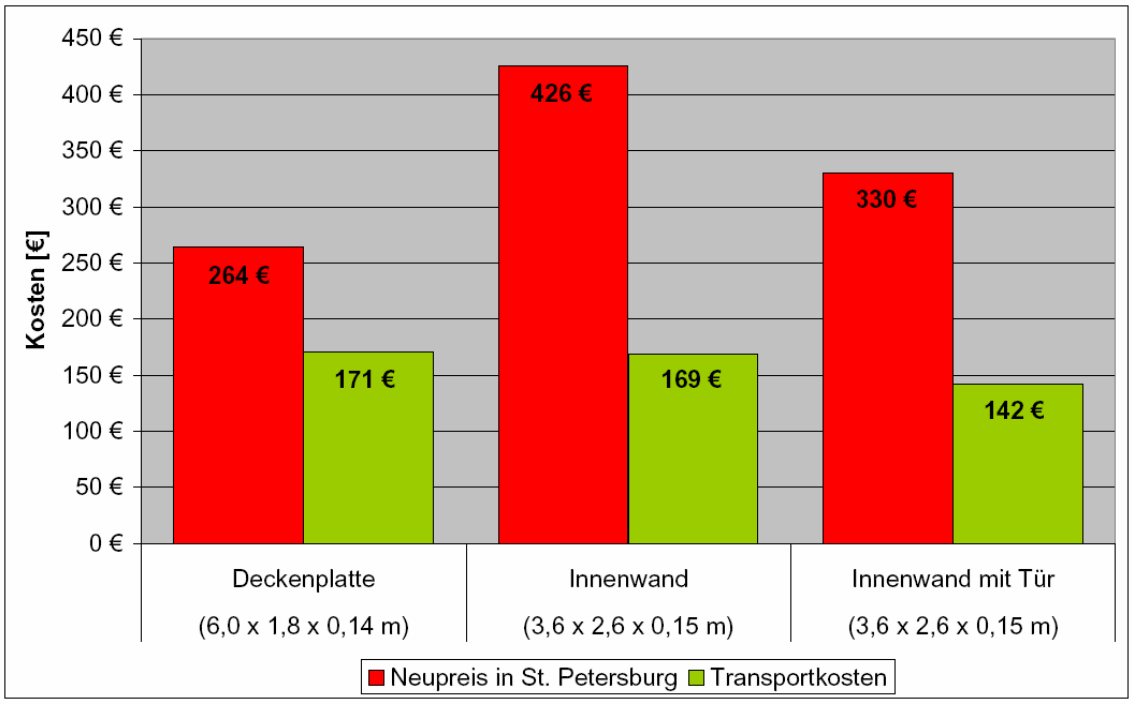


Abb. 111 : Vergleich der Preise für Betonelemente hergestellt in St. Petersburg und den Transportkosten für sekundäre Betonbauteile aus Deutschland (ohne Bereitstellungs- und Prüfkosten)

Am Beispiel eines Einfamilienhauses mit 116 m² Wohnfläche kann der Kostenvorteil der Rohbaukonstruktion der Wand- und Deckenfläche für ein ganzes Wohngebäude überschlagen werden. Dabei wird ein Verhältnis der eingesetzten Deckenplatten zu Innenwandelementen von 3:5 angenommen. Für die Errichtung tragender Innenwände werden 3,6 m lange volle Wandplatten und Wandplatten mit einer Türöffnung im Verhältnis 2:3 angesetzt. Dies bedeutet also den Einsatz von 10 Deckenplatten und 16 Innenwandplatten, davon 10 mit Türöffnung.[364]

Unter der Annahme, dass 30 €/Element auf der Demontage zur Bauteilbereitstellung zu entrichten sind sowie Prüfkosten von 20 €/Element anfallen ergeben sich nachfolgend aufgeführte Kosten.

Tab. 110: Überschlagrechnung zum Vergleich des Baus eines EFH mit Neuteilen und RC-Bauteilen in Russland

Elemente-	Abmessungen	benötigte	Kosten		Gesamtkosten		Kosten-vorteil
sortiment		Anzahl	Neubauteil	RC-Bauteil	Neubauteile	RC-Bauteil	RC-Bauteil
	[m]		[€/Element]	[€/Element]	[€]	[€]	[€]
DP	1,8 x 6,0 x 0,14	10	264 €	221 €	2.640 €	2.210 €	16%
IW	3,6 x 2,6 x 0,15	16	462 €	219 €	7.392 €	3.504 €	53%
IW_T	3,6 x 2,6 x 0,15	10	330 €	192 €	3.300 €	1.920 €	42%
Gesamtkosten zur Bereitstellung der Bauteile					**13.332 €**	**7.634 €**	**43%**

[364] Ivanov, E.: Vermarktung gebrauchter Stahlbetonelemente im Raum St. Petersburg, Studienarbeit, BTU Cottbus, 2007.

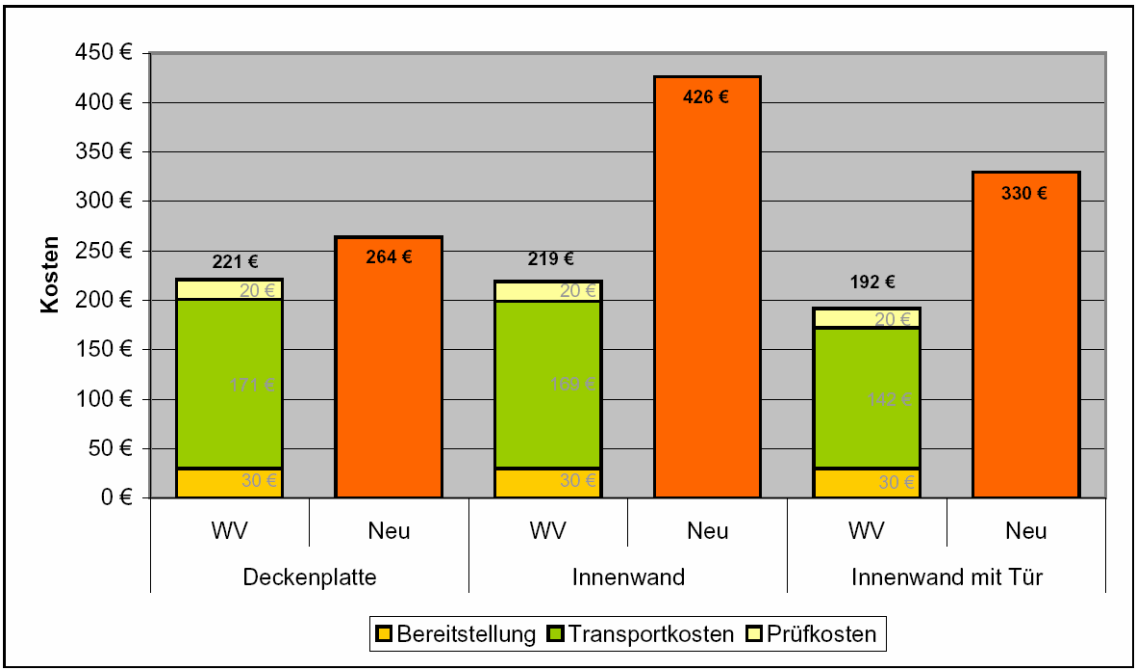


Abb. 112 : Vergleich der Preise für Betonelemente hergestellt in St. Petersburg und den Kosten für den Einsatz sekundärer Betonbauteile aus Deutschland (mit Bereitstellungs- und Prüfkosten)

Der Kostenvorteil für die Bereitstellung der gebrauchten Wand- und Deckenelemente gegenüber neu gefertigten baugleichen Elementen zur Errichtung eines Einfamilienhauses liegt bei ca. 43 %.

10.9 Kostenvergleich – Wiederneubau / konventioneller Neubau (Deutschland)

Da nur unzureichende Daten zu Kosten für den Remontageprozess und konventionelle Bauweisen aus osteuropäischen Ländern vorliegen erfolgt der Kostenvergleich auf Basis der ermittelten deutschen Daten. Da sich im Grunde auch die konventionellen Bauweisen und die Arbeitsprozesse zu ihrer Ausführung in Osteuropa von denen in Mittel- und Westeuropa kaum unterscheiden, können die deutschen Daten zumindest eine Grundaussage zum wirtschaftlichen Vorteil des Einsatzes sekundärer Bauteile aus Deutschland in Osteuropa liefern. Deshalb sind wissenschaftliche Projektbegleitungen von Wiederverwendungsmaßnahmen in Osteuropa, aber auch in Deutschland weiterhin erforderlich, um die nachfolgende Auswertung und daraus resultierenden Schlüsse auf eine fundierte Basis zu stellen oder diese gegebenenfalls zu revidieren.

Zunächst werden in Tab. 111 die ermittelten Kosten der Einzelpositionen dargestellt.

Tab. 111: Übersicht der ermittelten Einzelpositionskosten

Einzelposition		Kosten pro Bauteilfläche
Demontage wieder verwendungsfähiger Bauteile (inkl. stoffliche Aufbereitung der Restmassen) (s. Tab. 93)	$K_{De.WV}$	30,00 €/m²
Abbruch (inkl. stoffliche Aufbereitung) (s. Tab. 94)	K_{Abb}	4,00 €/m²
Stoffliche Aufbereitung (s. Abschn. 10.2)	K_{SRC}	1,70 – 8,50 €/m²
Transport (s. Abschn. 10.5.2)	K_{TUL}	0,07 €/m²*km
Bauteilaufarbeitung (Beseitigung fester Verunreinigungen; keine bauphysikalische Ertüchtigung) (s. Abschn. 10.4)	K_{Auf}	2,00 €/m²
Bauzustandsanalyse (s. Abschn. 10.3)	$K_{Prüf}$	5,33 €/m²
Remontage Wandelement (s. Abschn. 10.6)	$K_{Re.WE}$	13,50 €/m²
Remontage Deckenplatte (s. Abschn. 10.6)	$K_{Re.DP}$	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 bei Inanspruchnahme von 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 bei Komplettbeseitigung 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 von Wohnblöcken oder von Wohngebieten gekoppelt mit Abbrüchen als

Problemlösung an. Daher ist die Verfügbarkeit von Altbetonbauteilen aus Rückbauvorhaben auch in Zukunft gesichert.[365]

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. 112: 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 per LKW kostet somit ca. 23 €/m², die 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

[365] Bestätigt wird dies u.a. durch verstärkte Anfragen von Wohnungsunternehmen bei der FG Bauliches Recycling.

Kosten für die Wiederverwendung von Altbetonbauteilen mit verschiedenen konventionellen Bauweisen ist in der nachfolgenden Tab. 113 aufgeführt und in Abb. 113 - 115 veranschaulicht.

Tab. 113: Vergleich der Remontagekosten mit den Kosten konventioneller Bauweisen zur Herstellung eines Quadratmeters Wand- oder Deckenfläche (vgl. Tab. 109, Tab. 106)

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%		

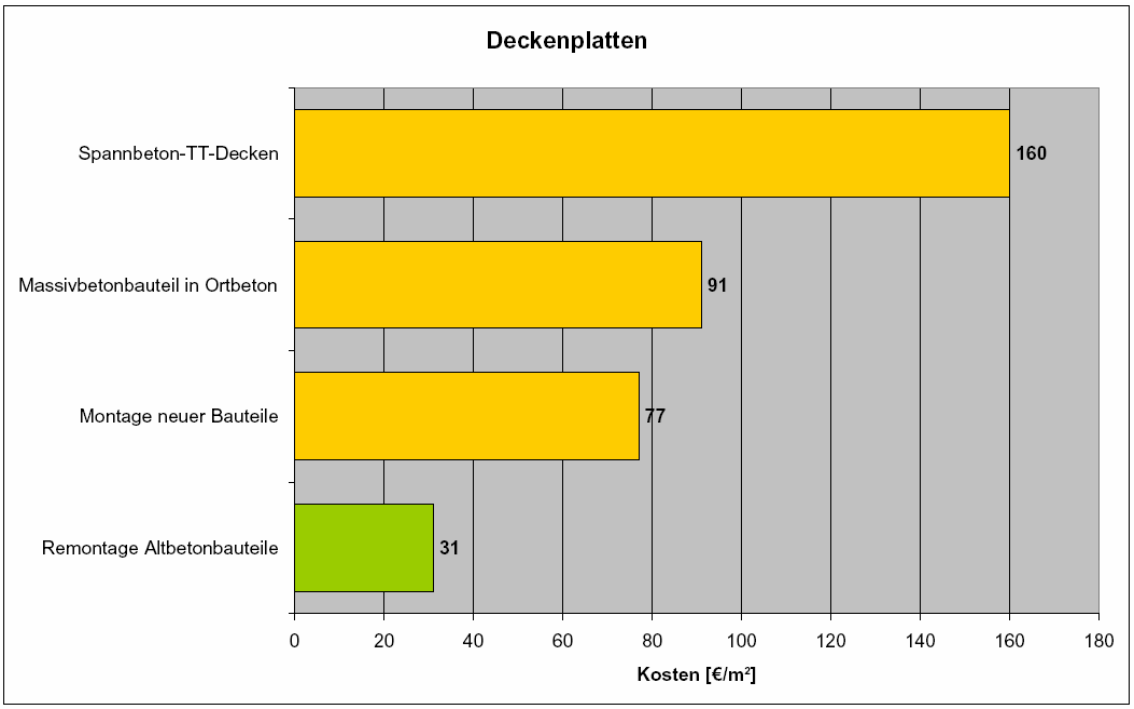


Abb. 113 : Vergleich der Remontagekosten mit den Kosten konventioneller Bauweisen zur Herstellung eines Quadratmeters Deckenfläche in Deutschland

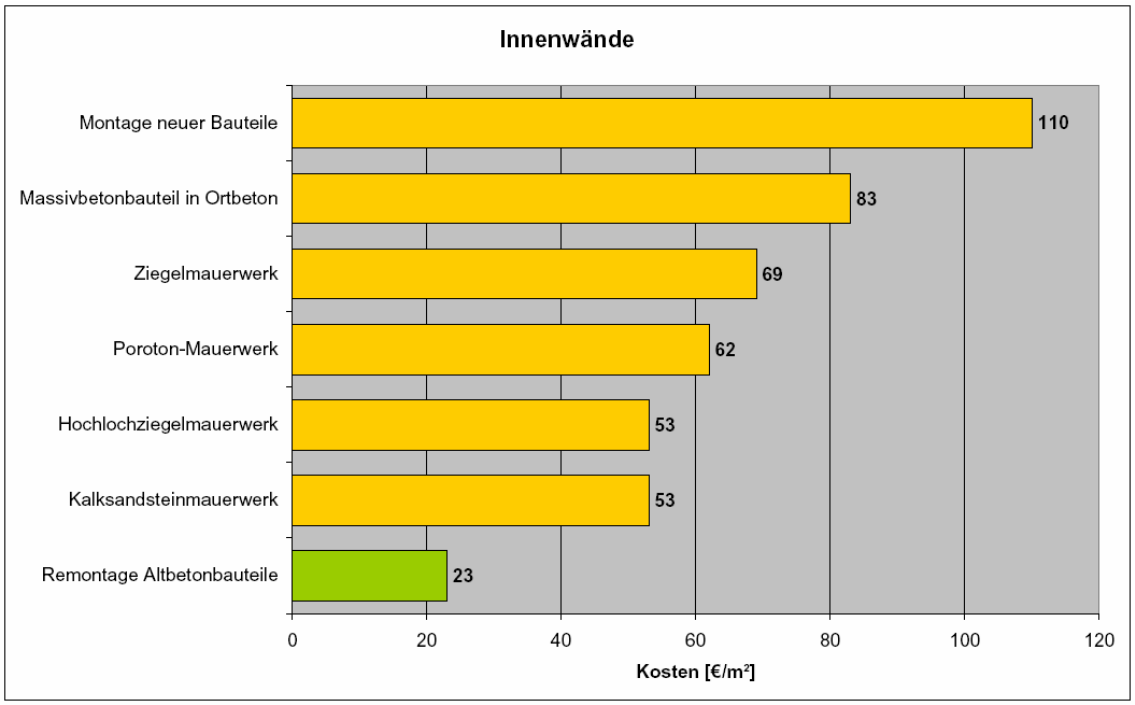


Abb. 114 : Vergleich der Remontagekosten mit den Kosten konventioneller Bauweisen zur Herstellung eines Quadratmeters Innenwandfläche in Deutschland

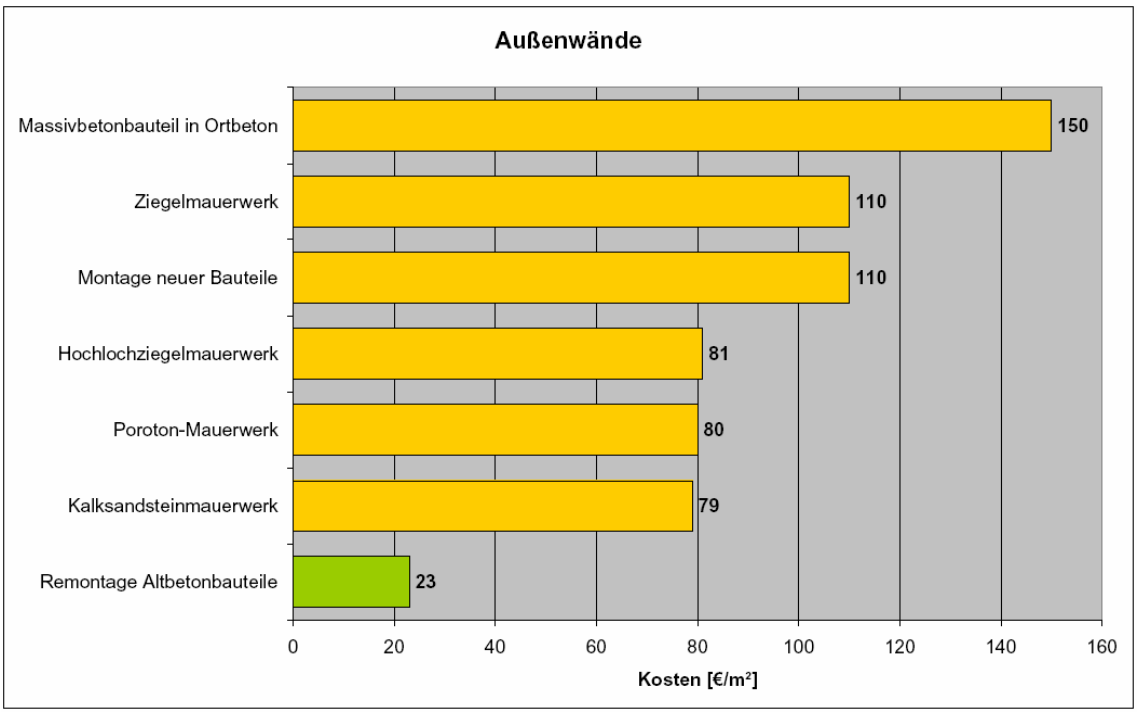


Abb. 115 : Vergleich der Remontagekosten mit den Kosten konventioneller Bauweisen zur Herstellung eines Quadratmeters Außenwandfläche in Deutschland

Ausgehend davon, dass die Übernahme der sekundären Bauteile vom Bauherrn des Rückbaus (Spendergebäude) oder der ausführenden Firma kostenfrei erfolgt, der Transportweg der Altbetonbauteile nicht länger als 30 km ist, keine zusätzlichen konstruktiven Aufwendungen gegenüber der ehemaligen/ursprünglichen Einbausituation (keine zusätzlichen Ringanker herstellen u.ä.) und keine wei-

teren 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 den erforderlichen Transportstrecken sowie -mitteln.

Hinsichtlich des Kostenvorteils bei der Verwendung von Altbetonbauteilen gegenüber dem Einsatz von neuen Betonfertigteilen sollen auch weitere Transportentfernungen mit LKW 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.

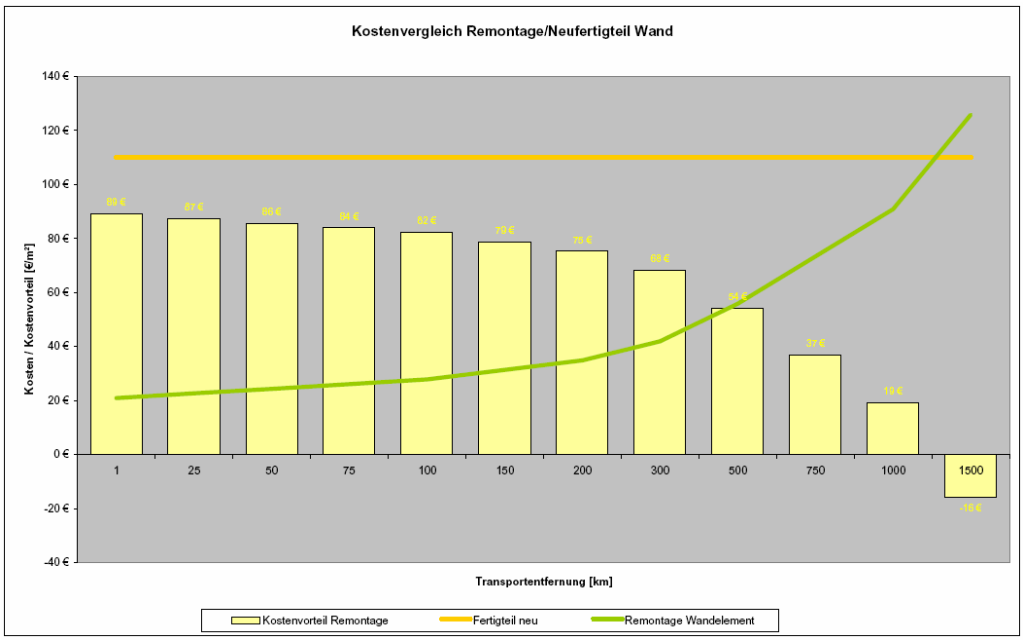


Abb. 116 : Vergleich der Kosten für die Montage von neuen Wandelementen mit den Remontagekosten sekundärer Bauteile in Abhängigkeit der Transportentfernung (LKW) in Deutschland (beachte. verzerrte Darstellung der Transportentfernung)

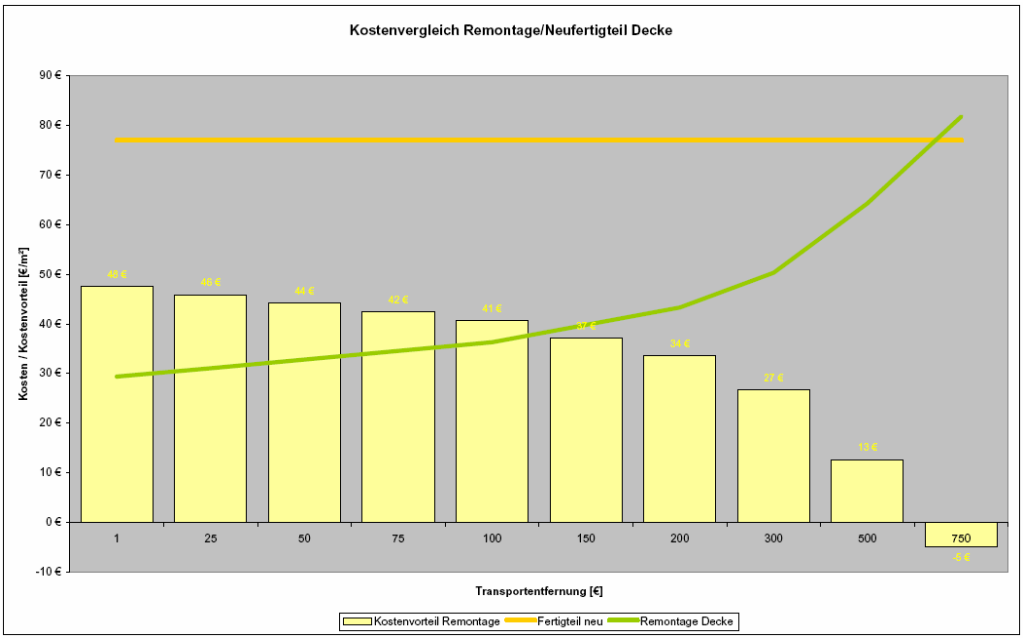


Abb. 117 : Vergleich der Kosten für die Montage von neuen Deckenelementen mit den Remontagekosten sekundärer Bauteile in Abhängigkeit der Transportentfernung (LKW) in Deutschland (beachte. verzerrte Darstellung der Transportentfernung)

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.

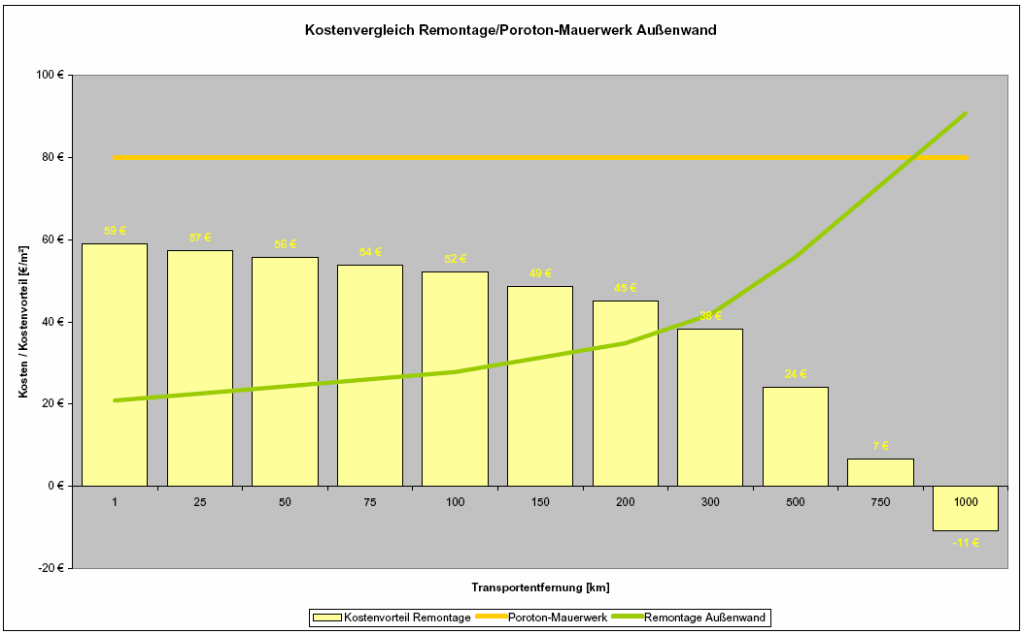


Abb. 118 : Vergleich der Außenwandausführung in Poroton-Mauerwerk mit den Remontagekosten sekundärer Bauteile in Abhängigkeit der Transportentfernung (LKW) in Deutschland (beachte. verzerrte Darstellung der Transportentfernung)

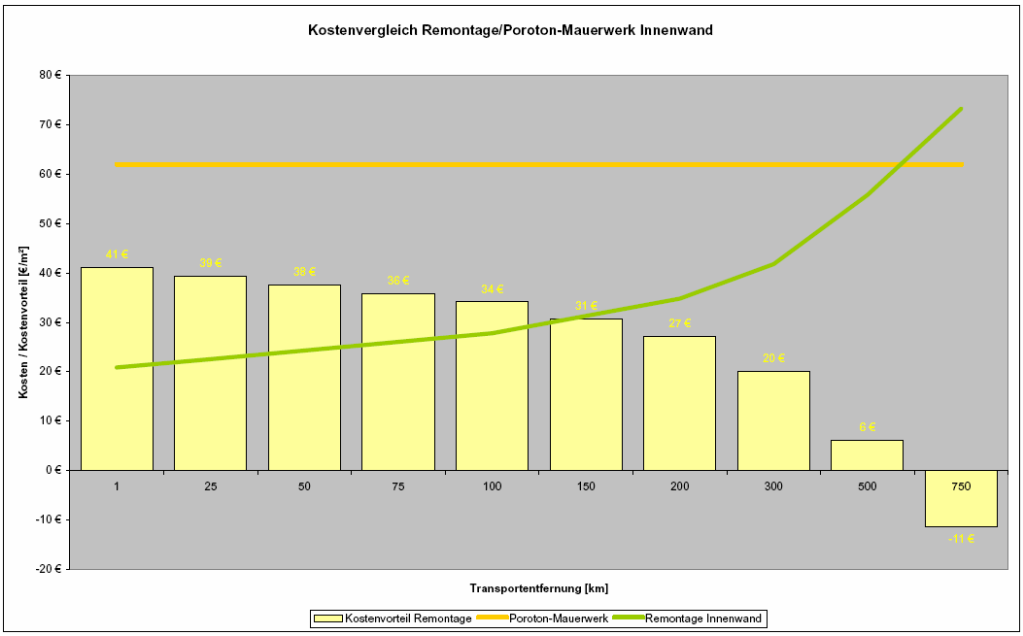


Abb. 119 : Vergleich der Innenwandausführung in Poroton-Mauerwerk mit den Remontagekosten sekundärer Bauteile in Abhängigkeit der Transportentfernung (LKW) in Deutschland (beachte. verzerrte Darstellung der Transportentfernung)

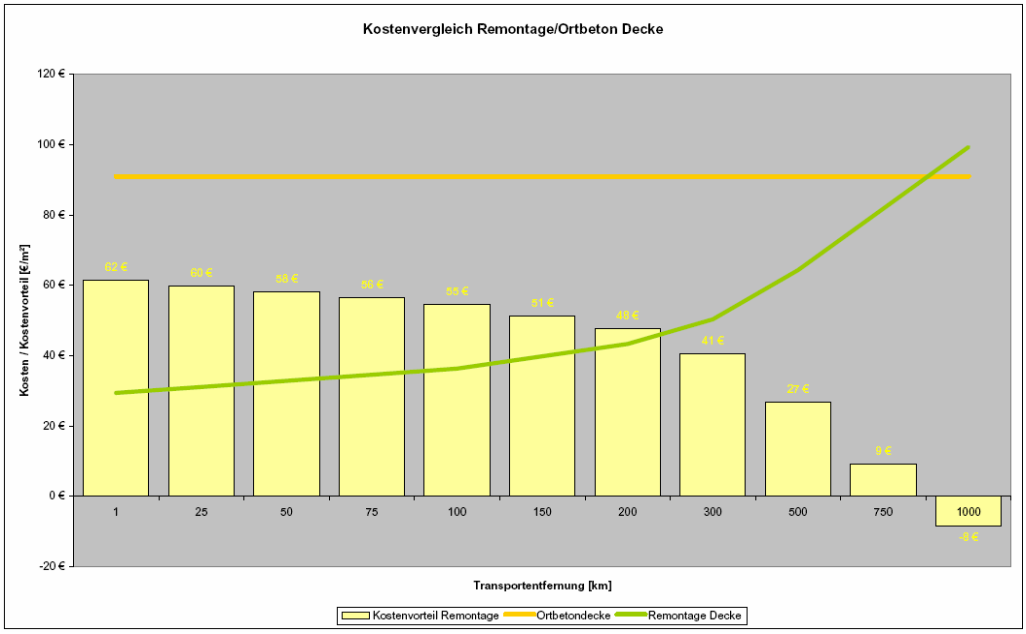


Abb. 120 : Vergleich der Deckenausführung in Ortbeton mit den Remontagekosten sekundärer Bauteile in Abhängigkeit der Transportentfernung (LKW) in Deutschland (beachte. verzerrte Darstellung der Transportentfernung)

Der Break-even-Point der Transportentfernung per LKW 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 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 Alt-/RC-Betonbauteile auch bei großen Transportentfernungen und einem reinen LKW-Transport 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. Auf Grund dieser vielfältigen Einflüsse werden die Rohbaukosteneinsparungen schwanken. Einfluss darauf hat deshalb die gute fachgerechte Vorbereitung des Vorhabens. Bisherig ausgeführte Pilotvorhaben in Deutschland weisen Kosteneinsparungen für den Rohbau in Höhe von 30 % aus.

10.10 Gesamtwirtschaftliche Betrachtung

An dieser Stelle wird ein gesamtwirtschaftlicher Kostenvergleich für zwei Szenarien des Rück- und Hausbauens durchgeführt:

Szenario 1: Wiederverwendung
Gewinnung rückgebauter Betonbauteile
Hausbau mit Alt-/RC-Betonbauteilen / sekundären Betonbauteilen

Szenario 2: Stoffliche Aufbereitung rückgebauter Betonbauteile
Hausbau mit neuen Betonbauteilen oder neuen Baumaterialien

Berücksichtigt werden sämtliche erforderlich werdenden Transportmaßnahmen. Zudem erfolgen die Betrachtung möglicher Aufbereitungsarbeiten und die erforderlichen Bauzustandsuntersuchungen an den sekundären Bauteilen. Erst hinsichtlich der Gegenüberstellung der Remontage mit anderen Bauarten, 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.

Szenario 1: Wiederverwendung

- Demontage des Alt-/RC-Bauelements
- Bauzustandsuntersuchungen (hier nur Hauptprüfung dargestellt, vgl. Abschn. 6)
- Transport der Alt-/RC-Bauelemente zur Remontagebaustelle
- Bauteilaufarbeitung
- Remontage

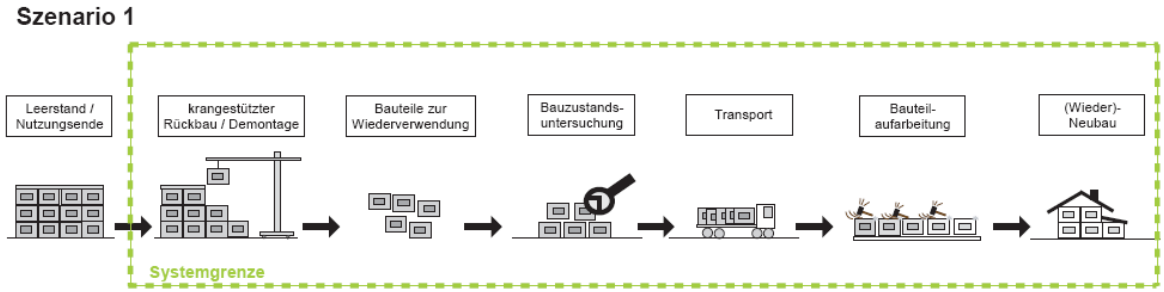


Abb. 121 : Darstellung des Szenario 1 – Wiederverwendung von Betonbauteilen

Szenario 2: Stoffliche Aufbereitung und konventioneller Neubau

- Demontage der in Szenario 1 benötigten Gebäudeteile (Szenario 2a)
- Abbruch der in Szenario 1 benötigten Gebäudeteile(Szenario 2b)
- Transport zur Recyclinganlage
- Stoffliche Aufbereitung aller demontierten Bauteile
- Herstellung der Neubauteile und -materialien
- Antransport der Neuteile
- Montage / Einbau der Neubauteile und -materialien

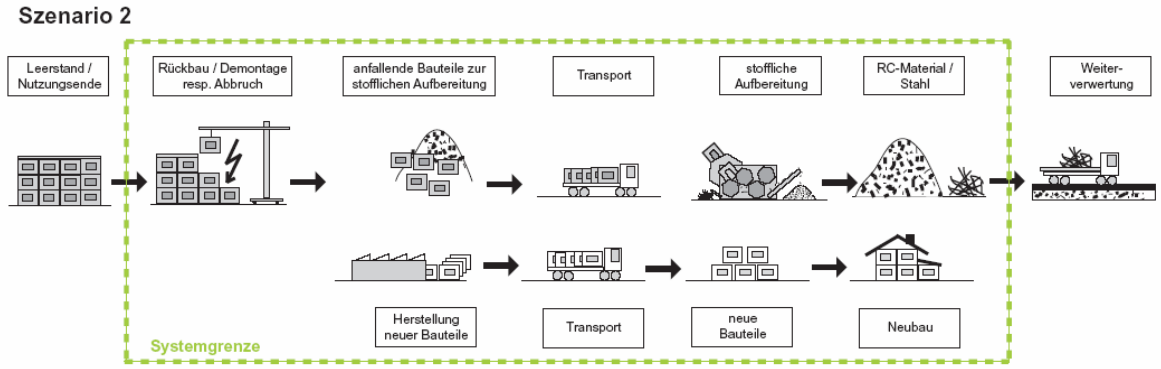


Abb. 122 : Darstellung des Szenario 2 – stoffliche Aufbereitung aller rückgebauten Betonbauteile und konventioneller Neubau

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_{Abb})+ $K_{SRC} + K_{TUL.SRC} + K_{Konv}$

K_{De}	Kosten der Demontage
K_{Abb}	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 (SRC)
K_{SRC}	Kosten der stofflichen Aufbereitung
K_{Konv}	Kosten für konventionelle Bauarten

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 des Transportes zur RC-Anlage der Betonmassen. Die Verkaufsgebühren werden der Vollständigkeit halber in Tab. 114 aufgeführt. Sie fließen in die Berechnung aber nicht ein. Bei der Hochrechnung der Demontagekosten werden alle zu demontierenden Bauteile berücksichtigt. Daraus resultieren Kosten von ca. 89 €/t Betonbauteil (s. Tab. 93) für die Demontage und ca. 12 €/t für den Abbruch (s. Tab. 94). Bei einem durchschnittlichen Wert ergeben sich Demontagekosten von ca. 30 €/m² Betonbauteil und Abbruchkosten von ca. 4 €/m².

In Vorbereitung der Wiederverwendung von Betonbauteilen im ca. 2.000 km entfernten St. Petersburg[366] erfolgt die Gegenüberstellung der Kosten zum Hausbau mit neuen Fertigteilen sowie von Poroton-Mauerwerk / Gasbeton-Planstein zur Herstellung der Wandflächen und Ortbeton zur Herstellung der Deckenflächen. Dabei werden ausschließlich deutsche Preise und Kostenkalkulationen verwendet, auf Grund derzeit noch laufender Kostenanalysen in St. Petersburg.

Tab. 114: Übersicht der ermittelten Einzelpositionskosten

Einzelposition		**Kosten pro Bauteilfläche**
Demontage aller Bauteile (inkl. stoffliche Aufbereitung der Abbruchmassen)	K_{De}	30,00 €/m²
Abbruch (inkl. stoffliche Aufbereitung)	K_{Abb}	4,00 €/m²
Transport zur Aufbereitung über 30 km	$K_{TUL.SRC}$	2,10 €/m²
Stoffliche Aufbereitung	K_{SRC}	1,70 €/m²
Bauteilaufarbeitung (Beseitigung anhaftender Verunreinigungen)	K_{Auf}	2,00 €/m²
Bauzustandsanalyse	$K_{Prüf}$	5,30 €/m² *
Transport zur Remontage über 2.000 km[367]	$K_{TUL.SRC}$	18,00 €/m²
Remontage Wandelement	$K_{Re.W}$	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
* s. Hinweis / Anmerkungen gemäß Abschn. 10.3		

Aus der Hochrechnung 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

[366] Transport nach St. Petersburg nach Variante b) Kombination LKW – Bahn – RoRo-Fähre – LKW (auf Rolltrailer), vgl. Abschn. 10.5.7.5.
[367] Transport nach St. Petersburg nach Variante b) Kombination LKW – Bahn – RoRo-Fähre – LKW (auf Rolltrailer), vgl. Abschn. 10.5.7.5; Kosten: 0,009 €/m² Bauteilfläche bzw. 0,030 €/t.

Rückbau- resp. Abbruchmaßnahmen zur Leerstandsbekämpfung in Plattenbauten folgern die in Tab. 115 aufgeführten Kostendaten.

Tab. 115: Übersicht der ermittelten durchschnittlichen Einzelpositionskosten bezogen auf den Quadratmeter Bauteilfläche

	Demontage	Abbruch	Transport	Bauteil-	Bauzustands-	Montage /	Summe	Kostenvorteil	
			über 2.000 km	aufarbeitung	analyse	Remontage...		der Remontage	
	[€/m²]	[€/m²]	[€/m²]	[€/m²]	[€/m²]	[€/m²]	[€/m²]	[€/m²]	[%]
Wiederverwendung Wand	30,00 €		18,00 €	2,00 €	5,30 €	13,50 €	68,80 €		
Wiederverwendung Decke	30,00 €		18,00 €	2,00 €	5,30 €	22,00 €	77,30 €		
Fertigteil neu Wand	30,00 €					110,00 €	140,00 €	71,20 €	50,9%
Fertigteil neu Decke	30,00 €					77,00 €	107,00 €	29,70 €	27,8%
Poroton Außenwand	30,00 €					80,00 €	110,00 €	41,20 €	37,5%
Gasbeton Innenwand	30,00 €					62,00 €	92,00 €	23,20 €	25,2%
Ortbeton Decke	30,00 €					91,00 €	121,00 €	43,70 €	36,1%
Fertigteil neu Wand		4,00 €				110,00 €	114,00 €	45,20 €	39,6%
Fertigteil neu Decke		4,00 €				77,00 €	81,00 €	3,70 €	4,6%
Poroton Außenwand		4,00 €				80,00 €	84,00 €	15,20 €	18,1%
Gasbeton Innenwand		4,00 €				62,00 €	66,00 €	-2,80 €	-4,2%
Ortbeton Decke		4,00 €				91,00 €	95,00 €	17,70 €	18,6%

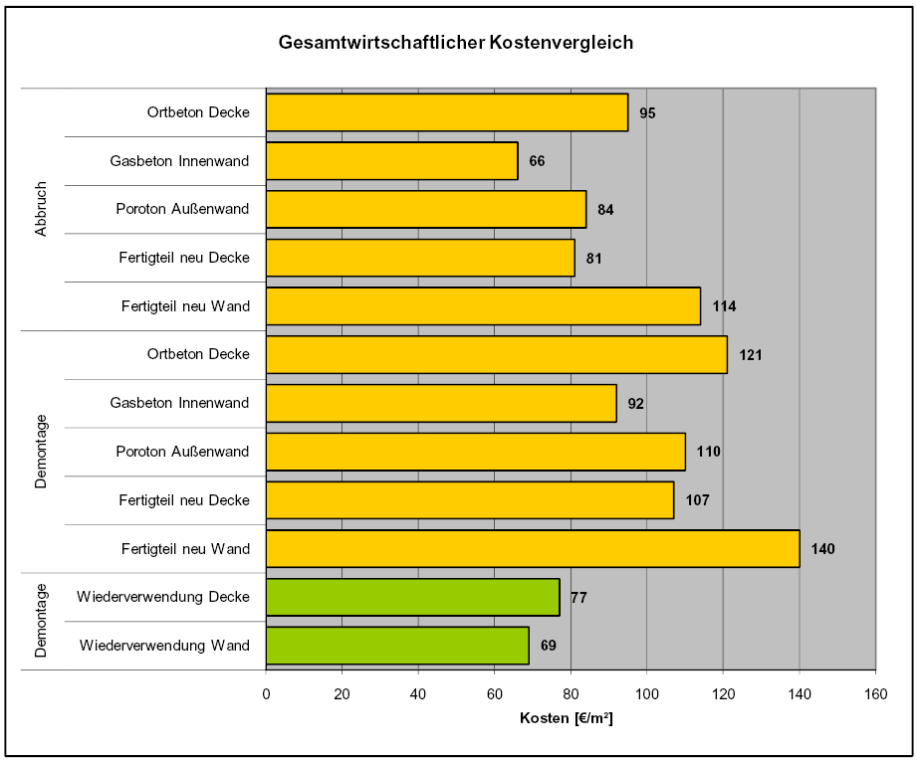


Abb. 123 : Vergleich der Szenarien 1 und 2

Die Wiederverwendung von einem Quadratmeter Altbetonbauteil im 2.000 km entfernten St. Petersburg erspart bei einer Betrachtung des Gesamtprozesses (Szenario 1) durchschnittlich ca. 42 €/m² Bauteil gegenüber dem Rückbau und dem konventionellen Neubau (Szenario 2a) beziehungsweise 16 €/m² gegenüber dem Abbruch und dem Neubau. Somit zeigt sich ein gesamtwirtschaftlicher Vorteil von 35 % gegenüber Demontage/Neubau resp. 15 % gegenüber Abbruch/Neubau durch die Wertschöpfung aus der Verwendung sekundärer Bauteile. Somit liegt auch der volkswirtschaftliche Nutzen eines umfassenden Einsatzes sekundärer Betonelemente klar auf der Hand.

11 Ökologische Relevanz

11.1 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. Gebäude sind über ihren gesamten Lebenszyklus zu analysieren. Er umfasst eine sich wiederholende Abfolge von der Gestehung über die Nutzung bis zur Wiederverwendung (vgl. Abb. 124). Der eigentliche Lebenszyklus eines Gebäudes / einer Immobilie endet erst, wenn das Gebäude abgebrochen wird.

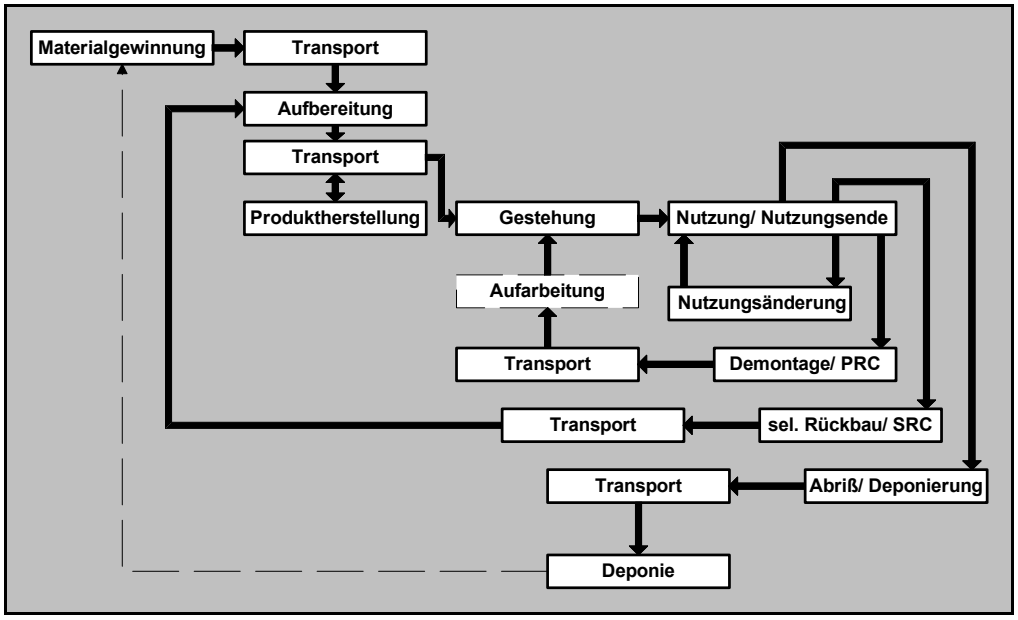


Abb. 124 : Gebäudelebenszyklus[368]

Dieser Lebenszyklus ist mit einer Produktökobilanz auf seinen Umwelteinfluss qualifizierbar und quantifizierbar. Zur Erstellung einer ökologischen Bilanz sind bestimmte Bewertungskriterien zu untersuchen (s. Tab. 116).

Tab. 116: 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 die Gestehung eines Gebäudes setzt sich in ihrer Gesamtheit aus der in nachfolgender Abb. 125 dargelegten Ebenen zusammen.

[368] Thamm, Th.: Analyse von Energie- und Stoffströmen im Bauwesen, Diplomarbeit, BTU Cottbus, 1997.

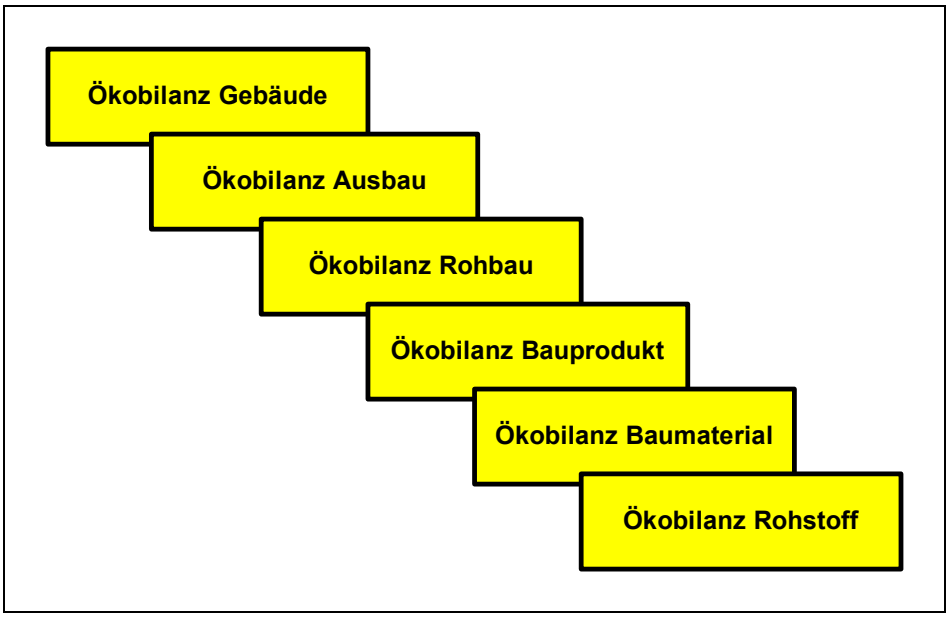


Abb. 125 : Bilanzebenen einer Produktökobilanz von Gebäuden

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.

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.

11.2 Entwicklung von Modellen – untersuchte Szenarien

Bei der nachfolgenden ökologischen Betrachtung werden verschiedene Szenarien des Rückbaus/Abbruchs mit und ohne Wiederverwendung von Elementen untersucht und gegenübergestellt. Als Basis dient die Errichtung eines Gebäudes mit einer Wohneinheit (Bauteilmasse ca. 60 t) aus 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[369] (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.

Die Betrachtung über die Gesamtprozesse der Demontage, der Wiederverwendung sowie der stofflichen Verwertung der Restelemente und der notwendigen Transporte ergibt das Szenario 1 (S. Abb. 126). Das Szenario 2 umfasst die Demontage von 2 Wohneinheiten (s. Szenario 1) einschließlich dem Abtransport und der stofflichen Aufbereitung der demontierten Betonbauteile und den Neubau 1 WE unter Verwendung neuer Betonfertigteile. Im Szenario 3 wird vergleichend der Abbruch der entsprechenden Gebäudeteile mit anschließender stofflicher Aufbereitung einschließlich Transport und ein Ersatzneubau für 1 WE aus neuen betonbauteilen betrachtet (s. Abb. 127).

Zusammengefasst ergeben sich somit folgende Szenarien, welche einen Vergleich der energetischen Aufwendungen und der damit verbundenen Emissionen einer Wiederverwendung von Betonbauteilen mit einer stofflichen Verwertung ermöglichen:

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)

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

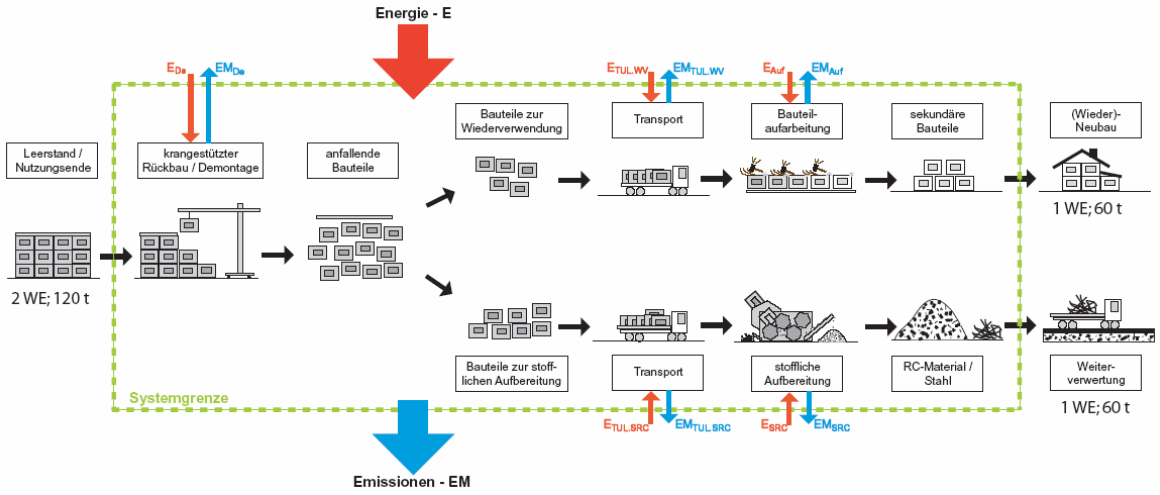


Abb. 126 : Systemgrenzen des Öko-Screenings Szenario 1

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

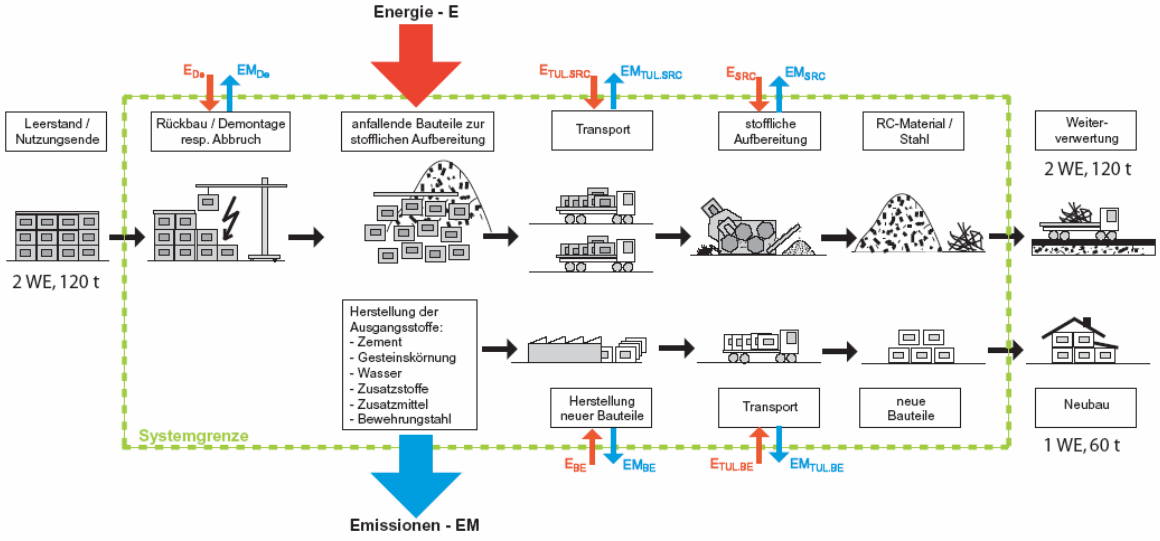


Abb. 127 : Systemgrenzen des Öko-Screenings Szenarien 2 und 3

Für die Ermittlung der energetischen Aufwendungen und der damit verbundenen Emissionen werden die im Zuge der wissenschaftlichen Begleitung von Rückbau- und Wiederverwendungsprojekten[370] ermittelten 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.

11.3 Materialbilanz der Bauelemente - Rohbaukonstruktion

Grundlage für die Betrachtung bilden die in Abschn. 11.2 dargelegten Modelle.

Insgesamt beträgt die Masse der wiederverwendeten Betonelemente im (Wieder-)Neubau 60 t. Folgender Ansatz wurde vereinfachend zu Grunde gelegt: 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.

Tab. 117: Materialeinsparung durch die Wiederverwendung Betonbauteilen 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 einer WE ergibt sich somit eine Einsparung von ca. 8,4 t Zement, 45,6 t Gesteinskörnung, 4,8 t Zugabewasser und 0,5 t Bewehrungsstahl.

[370] Zugrunde gelegt wurden v.a. die Projekte „Ahrensfelder Terrassen“, „Haus Pieper“ und „Block 20“.

11.4 Energetische Betrachtung

11.4.1 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) oder graue Energie angegeben. Der KEA ist die Summe aller Primärenergieinputs / Energiemengen, die für die Herstellung eines Produktes (inkl. Transport, erforderliche Materialherstellung u.a.) oder eine Dienstleistung aufgewendet wird.

Für die Herstellung von Betonfertigteilen werden nachfolgend die Untersuchungsergebnisse der FfE[371] 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. 118) ergibt sich folgender energetischer Aufwand:

Tab. 118: Energetischer Inhalt der Alt-/RC-Betonelemente – dargestellt für eine 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 demnach 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[372]) ca. 22 t Braunkohle oder 4,4 t Rohöl eingesetzt werden. Dies entspricht bspw. einem jährlichen Stromverbrauch von ca. 15 Haushalten mit 3 Personen. Errichtet man entsprechend dieses 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.

Im Falle des in den Szenarien 2 und 3 betrachteten Neubaus mit äquivalenten neuen Betonbauteilen für 1 WE (ohne Wiederverwendung) entstehen somit (zusätzliche) Energieaufwendungen von 185 GJ.

11.4.2 Aufarbeitung

Zur weiteren Vorbereitung eines Produktrecyclings (Wiederverwendung) sind in speziellen Fällen Aufarbeitungsmaßnahmen notwendig (s. Abschn. 7.3). 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.

[371] FO-Stelle für Energiewirtschaft: Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen Halbzeugen, Teil 2 Baustoffe, 1999, S. 60.
[372] nach MSE: Woher kommt unsere Energie? Info 1: Von der Primärenergie zur Energiedienstleistung, S. 82.

11.4.3 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 (TDK) und einem Fahrzeugkran (FZK) sowie für den Abbruch ist dem Schlussbericht zum Forschungsvorhaben „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Bauteile im ökologischen Kreislauf“[373] entnehmbar. Die Hochrechnung des Energieaufwandes erfolgte über die Demontage resp. den Abbruch eines Komplettgebäudes der WBS 70 (6-geschossig, 4 Segmente) mit einer Gesamtbauteilmasse von 4.100 t.

Tab. 119: 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 grafische Darstellung der ermittelten Energieaufwände zur Demontage bzw. zum Abbruch einer Tonne Betonbauteil eines 6-geschossigen WBS 70-Blocks ist in Abb. 128 gegeben. Deutlich wird, dass TDK den geringsten Energieaufwand beanspruchen, FZK den höchsten und dazwischen liegt der des klassischen Abbruchs (Bagger mit Anbaugerät).

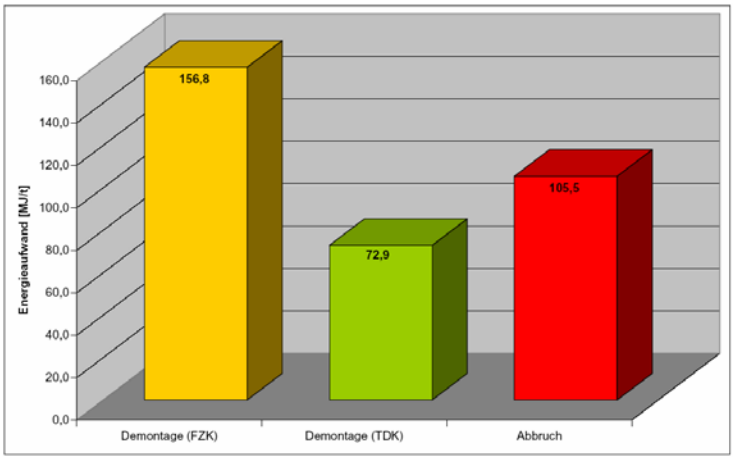


Abb. 128 : Vergleich der Energieaufwendungen für die Demontage und den Abbruch von einer Tonne Betonbauteile

[373] Mettke, A. (et al): Schlussbericht zum Forschungsvorhaben „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Bauteile im ökologischen Kreislauf“, Teil 1: Krangeführter Rückbau, Cottbus, 2008.

11.4.4 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. 120 dargestellten Durchschnittswerte zu berücksichtigen.

Tab. 120: Durchschnittlicher Energiebedarf für Teile einer Aufbereitungsanlage für mineralische Bauabfälle[374]

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[375]
Anlagendurchschnitt	**50**

Der rechnerische Ansatz ergibt sich wie folgt:

$$E_{SRC} = m * E_{Auf}$$

E_{SRC} Gesamtenergiebedarf für das Stoffrecycling [MJ]
m Masse [t]
E_{Auf} Energiebedarf für die Aufbereitung [MJ/ t].

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 ist die komplette Elementemasse von 120 t aus den demontierten bzw. abgebrochenen Gebäudeteilen einer RC-Anlage zuzuführen.

Tab. 121: 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

[374] nach Thomas, C.; Birle, A.: Stoff- und Energieflüsse bei der Aufbereitung mineralischer Baureststoffe, Studienarbeit, BTU Cottbus; aktualisiert 2007.
[375] entspricht einem Baggereinsatz (30 t, 130 kW) über ca. 2 Minuten bei 100 % Auslastung.

11.4.5 Transportaufwendungen

Der Energiebedarf für Transportprozesse E_T lässt sich aus der zu nutzenden Technik, der zurückzulegenden Entfernung, der Transportgeschwindigkeit sowie der Transportauslastung bestimmen[376].

Die eingesetzte Technik unterliegt hierbei der Abhängigkeit von den Transportmitteln und deren Motorisierung.[377] Es wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Entfernung De- und Remontagebaustelle: Cottbus – St. Petersburg 2.000 km Landweg bzw. 1.800 km über Seeweg (Szenario 1)
- Entfernung Demontagebaustelle – Recyclinganlage: 30 km (Szenario 1, 2 und 3)
- Entfernung Fertigteilwerk – Baustelle bei Neubau: 30 km (Szenario 2 und 3)
- Optimale Transportmittelauslastung

Als Basis für Energie- und Emissionsdaten zum Transport dient PROBAS[378] (s. Tab. 122).
Bei einer Transportstrecke von 30 km ergibt sich somit ein Energiebedarf von ca. 40 MJ/t.

Tab. 122: Energieaufwände der verschiedenen Transportmittel

Transportmittel	Energieträger	Energieaufwand
		[MJ/t*km]
Überseefrachter	Schweröl	0,100
Bahn	Diesel	0,327
Binnenfrachtschiff	Diesel	0,350
Bahn	Strom	0,360
LKW	Diesel	1,33

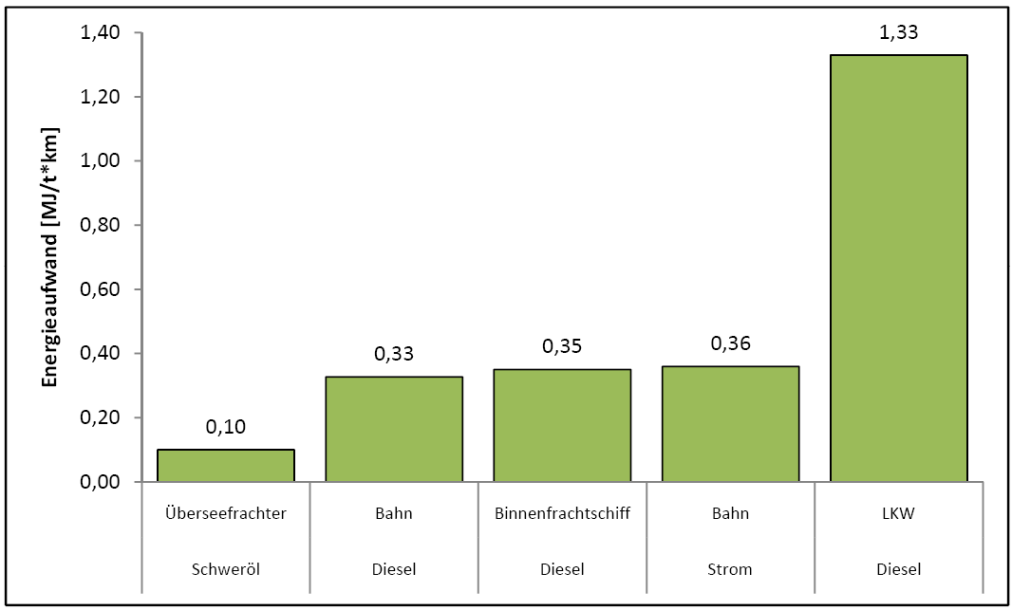


Abb. 129 : Vergleich der Energieaufwendungen für die Demontage und den Abbruch von einer Tonne Betonbauteile

[376] Der Energiebedarf der notwendigen Umschlagprozesse wurde dabei noch nicht betrachtet.
[377] Schade, D.: „Energiebedarf, Energiebereitstellung, Energienutzung“, S. 89 ff., z.B. Hochdruckeinspritzung, Direkteinspritzung, Zylinderabschaltung, Schwung-Nutz-Automatik.
[378] aus: www.probas.umweltamt.de/...; aufgerufen am 27.02.2008.

Tab. 123: Energiebedarf für den LKW-Transport: Demontage- bzw. Abbruchstelle – RC-Anlage

Szenario	Beschreibung	Transporte für stoffliches Recycling			
	LKW-Transport	M [t]	s [km]	KEA [MJ/t*km]	Energieaufwand E_{TUL} [MJ]
1	Antransport nicht wiederverwendeter Elemente (1 WE)	60	30	1,33	2.394
2	Antransport aller demontierten Elemente (2 WE)	120	30	1,33	4.788
3	Antransport aller abgebrochenen Elemente (2 WE)	120	30	1,33	4.788

Für den Transport von 60 t Bauschuttmassen (Szenario 1) zur RC-Anlage (stoffliche Aufbereitung) über 30 km werden ca. 2,4 GJ Energie benötigt. Werden 120 t Bauschutt (Szenario 2 und 3) 30 km weit zur RC-Anlage transportiert, beträgt der Energieverbrauch 4,8 GJ.

Tab. 124: Energiebedarf für den LKW-Transport der Betonfertigteilelemente in Vorbereitung der Wiederverwendung resp. Neuteilproduktion

Szenario	Beschreibung	Transporte für Wiederverwendung / Neubauteile			
	LKW-Transport	M [t]	s [km]	KEA [MJ/t*km]	Energieaufwand E_T [MJ]
1	Antransport wiederverwendeter Elemente (1 WE)	60	2.000	1,33	159.600
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 von der Demontagebaustelle nach St. Petersburg mit dem LKW (2.000 km Transportweg) würde ca. 160 GJ Energie in Anspruch nehmen.

Für einen Transport der Bauteile zur Wiederverwendung von Cottbus nach St. Petersburg mit der Transportvariante b) (vgl. Abschn. 10.5.7.2) mit LKW - Vor- und Nachlauf, Bahntransport von Cottbus nach Saßnitz und den Transport auf einer RoRo-Fähre über Trailer sind folgend aufgeführte Energieaufwände notwendig.

Tab. 125: Energiebedarf der Transportkombination b) (RoRo-Fähre mit Trailer) inkl. Vor- und Nachlauf für die Wiederverwendung der Bauteile 1 WE in St. Petersburg

Teilprozesse	Transportmittel	Transporte für Wiederverwendung / Neubauteile			
		M [t]	s [km]	KEA [MJ/t*km]	Energieaufwand E_T [MJ]
Vorlauf	LKW (Diesel)	60	7	1,33	559
Bahntransport	Bahn (Strom)	60	445	0,360	9.612
Seetransport	Frachter (Schweröl)	60	1.320	0,100	7.920
Nachlauf	LKW (Diesel)	60	30	1,33	2.394
Gesamt					**21.044**

Es zeigt sich somit deutlich, dass Transporte ausschließlich per LKW über eine solche Distanz aus ökologischen Gesichtspunkten nicht vertretbar sind. Der Energieaufwand für den Bauteiltransport von

Cottbus nach St. Petersburg mit der Transportvariante b) sich auf 21 GJ. Dies entspricht ca. 13 % des Energieverbrauchs gegenüber einem ausschließlichen LKW-Transport. Für den Transport einer Tonne über die gesamte Strecke von 1.800 km nach St. Petersburg werden ca. 351 MJ/t benötigt. Für einen Kilometer Transportstrecke ergibt sich somit ein Energieaufwand von ca. 0,20 MJ/km*t.

11.4.6 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. 126.

Tab. 126: 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_{Abb}	Abbruch	106
E_{SRC}	Stoffliche Aufbereitung	50
$E_{T.SRC}$	Transport zur RC-Anlage (30 km)	40
$E_{T.BE}$	Transport der Neubauteile (30 km)	40
$E_{T.WV}$	Transport der Alt-/RC-Betonbauteile (1.800 km)	351

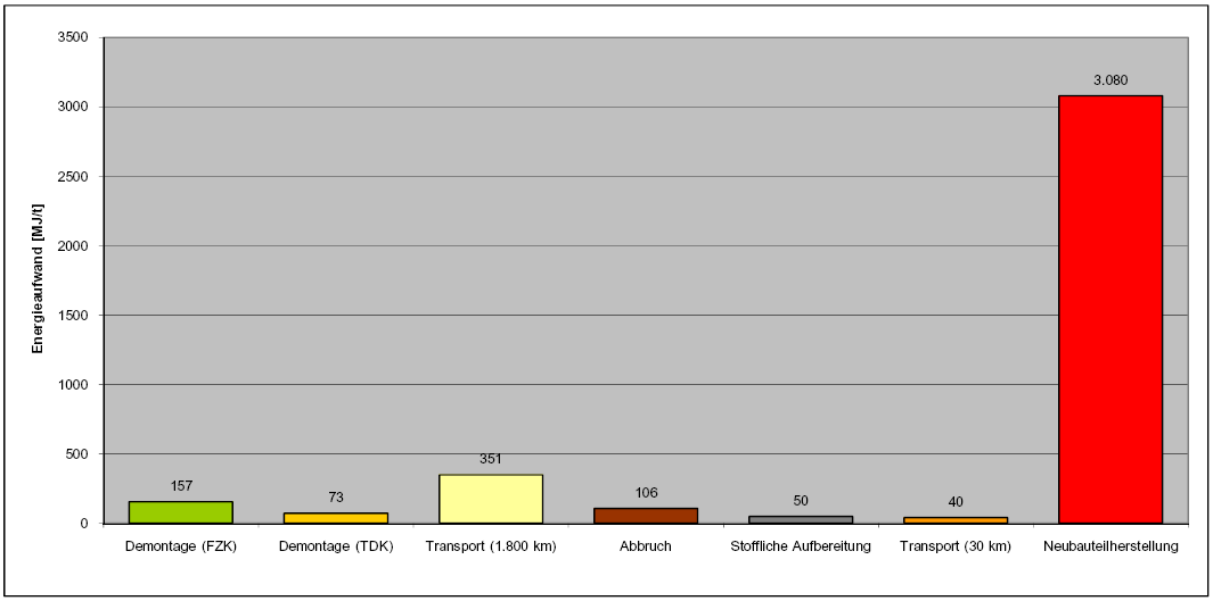


Abb. 130 : Grafische Darstellung der Zusammenstellung der ermittelten Energieaufwendungen für eine Tonne Betonbauteile

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 eingespart werden. Bei der Ausführung von Wiederverwendungsmaßnahmen im Nahbereich (ca. 30 km) kann zudem der Energiebedarf für den Transport der Alt-/RC-Betonbauteile 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 mehr der Energiebedarf der einzelnen Szenarien darstellen. 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: Demontage der Bauwerksteile von 2 WE mit Bereitstellung der gebrauchten Bauteile zur Wiederverwendung für eine WE, dem stofflichen Recycling der restlichen Elemente sowie den erforderlichen Transporten zur Recyclinganlage wie auch zum Neubaustandort setzt sich wie folgt zusammen:

Tab. 127: Berechnung des Gesamtenergieaufwandes für das Szenario 1

	Energieaufwand	**Szenario 1**	
	pro Tonne Bauteil	**Bauteilmasse**	**Energieaufwand**
Demontage (2 WE)			
entweder mit Fahrzeugkran (FZK)	157 MJ/t	120 t	18,8 GJ
oder mit Turmdrehkran (TDK)	73 MJ/t	120 t	8,8 GJ
Stoffliche Aufbereitung (1 WE)			
Bauschutt	50 MJ/t	60 t	3,0 GJ
Transport zur RC-Anlage (1 WE)			
Bauschutt	40 MJ/t	60 t	2,4 GJ
Transport der Alt-/RC-Betonbauteile (1 WE)	351 MJ/t	60 t	21,0 GJ
Gesamt mit FZK	**287 MJ/t**		**45,2 GJ**
Gesamt mit TDK	**203 MJ/t**		**35,2 GJ**

Das Szenario 2 umfasst die Demontage der in Szenario 1 aufgeführten Bauwerksteile, deren stoffliche Aufbereitung sowie die Neuproduktion baugleicher Betonelemente für den Neubau und sämtliche Transporte.

Tab. 128: Berechnung des Gesamtenergieaufwandes für das Szenario 2

	Energieaufwand	Szenario 1	
	pro Tonne Bauteil	Bauteilmasse	Energieaufwand
Demontage (2 WE)			
entweder mit Fahrzeugkran (FZK)	157 MJ/t	120 t	18,8 GJ
oder mit Turmdrehkran (TDK)	73 MJ/t	120 t	8,8 GJ
Stoffliche Aufbereitung (2 WE)			
Bauschutt	50 MJ/t	120 t	6,0 GJ
Transport zur RC-Anlage (2 WE)			
Bauschutt	40 MJ/t	120 t	4,8 GJ
Energiegehalt der Alt-/RC-Beton- resp. Neubauteile (1 WE)	3.080 MJ/t	60 t	184,8 GJ
Transport der Neubauteile (1 WE)	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 (kommt nicht für die Variante des geschossweisen Rückbaus in Frage).

Tab. 129: Berechnung des Gesamtenergieaufwandes für das Szenario 3

	Energieaufwand	Szenario 1	
	pro Tonne Bauteil	Bauteilmasse	Energieaufwand
Abbruch	106 MJ/t	120 t	12,7 GJ
Stoffliche Aufbereitung (2 WE)			
Bauschutt	50 MJ/t	120 t	6,0 GJ
Transport zur RC-Anlage (2 WE)			
Bauschutt	40 MJ/t	120 t	4,8 GJ
Energiegehalt der Alt-/RC-Beton- resp. Neubauteile (1 WE)	3.080 MJ/t	60 t	184,8 GJ
Transport der Neubauteile	40 MJ/t	60 t	2,4 GJ
Gesamt	**3.316 MJ/t**		**210,7 GJ**

Zur besseren Übersicht werden in Tab. 130 und Abb. 131 die Szenarien gegenübergestellt.

Tab. 130: Gegenüberstellung der ermittelten Gesamtenergieaufwände der einzelnen Szenarien

Energieaufwand	mit FZK	mit TDK
Szenario 1: Dem. / WV / WVW	**45,2 GJ**	**35,2 GJ**
Szenario 2: Dem. / WVW / Neubau	**216,8 GJ**	**206,8 GJ**
Szenario 3: Abb. / WVW / Neubau	**210,7 GJ**	

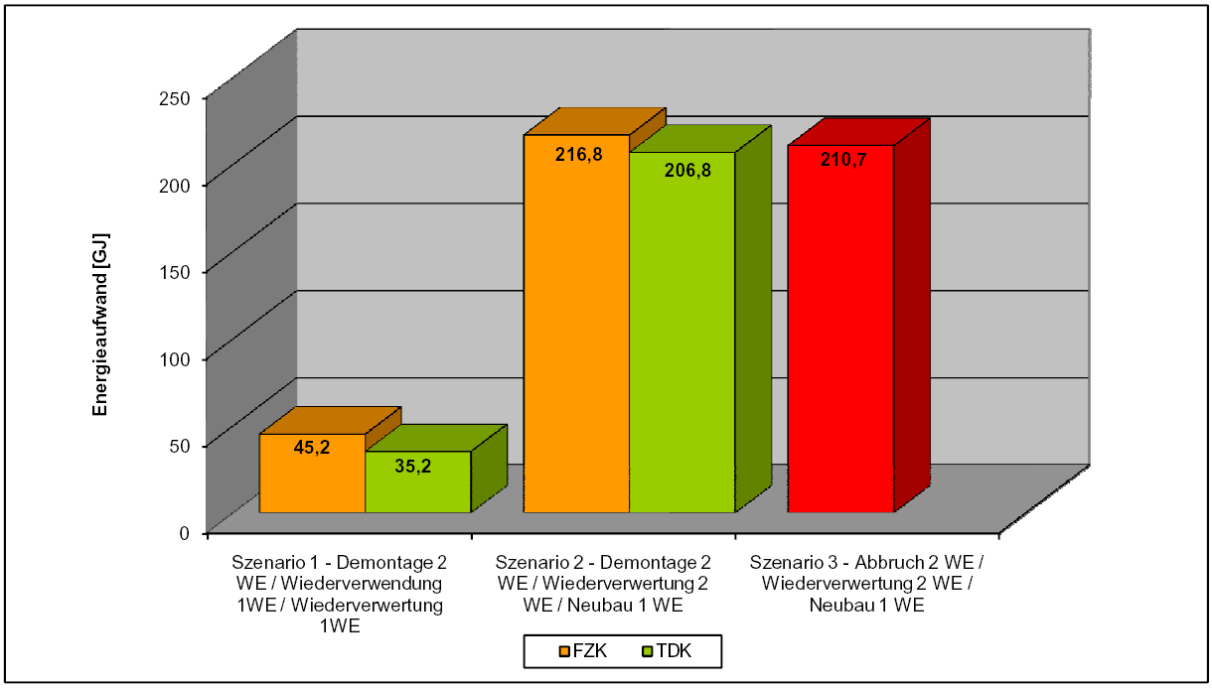


Abb. 131 : Vergleich der ermittelten Gesamtenergieaufwände der einzelnen Szenarien

Die energetisch deutlich günstigste Variante ist Szenario 1: die Demontage, mit 50 % Wiederverwendung (WV) der Bauteile und 50 % Wiederverwertung (WVW). Die Demontage wie auch 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 5-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 Bereitstellung einer Tonne Altbetonbauteil kann über folgende Gleichung erfolgen:

Tab. 131: Berechnung des Energieaufwandes für die Szenarien 1 und 3 für eine Tonne Bauteil (vgl. Tab. 126)

Energieaufwand pro Tonne	
Szenario 1 (Transportentfernung 30 km)	**Szenario 3**
$E_{De} + E_{T.WV}$	$E_{Abb} + E_{SRC} + E_{TUL.SRC} + E_{BE} + E_{T.BE}$
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**
Szenario 1 (Transportentfernung 1.800 km)	**Szenario 3**
157 MJ/t + 351 MJ/t	106 MJ/t + 50 MJ/t + 40MJ/t + 3.080 MJ/t + 40 MJ/t
508 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 Energieverbrauch eines 3-Personen-Haushaltes (12.600 MJ/a) in einem viertel Jahr. Bei einer Transportentfernung zum Remontageort von 1.800 km (Cottbus – St. Petersburg) sind es immer noch 2.800 MJ Energieeinsparung. Durch die Wiederverwendung von 60 t sekundärer Bauteile bei einer Transportentfernung von 1.800 km ergibt sich eine Reduzierung des Energieverbrauchs von 168.000 MJ gegenüber eines Abbruchs und Neubaus. Mit dieser Energiemenge könnte der Energiebedarf von 13 Drei-Personen-Haushalten über ein Jahr gedeckt werden.

11.5 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. 132: Quelle und Wirkung klimarelevanter Schadstoffe[379]

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.

[379] aus Mettke, A.: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, Langfassung, Cottbus, 1999, S. 328.

Nachfolgend sind die Emissionsfaktoren für die Bereitstellung der benötigten elektrischen Energie aus einem regional spezifischen Elektroenergiemix aus Kohle, Öl und Gas aufgeführt.

Tab. 133: 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. 134: 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

11.5.1 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. 135: Energetisch bedingte Emissionen zur Neuherstellung 1 Tonne Fertigteilbeton[380]

	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.

[380] FfE, Forschungsstelle für Energiewirtschaft: Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen und Halbzeugen, Teil II Baustoffe, München, 1999, S. 60.

11.5.2 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. 136: 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

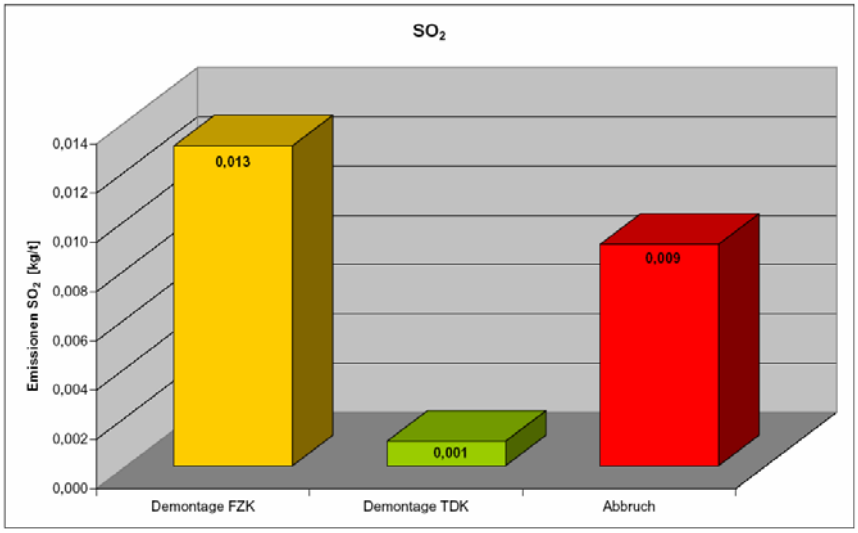


Abb. 132 : Vergleich der SO_2-Emissionen für Demontage und Abbruch einer Tonne Betonbauteile

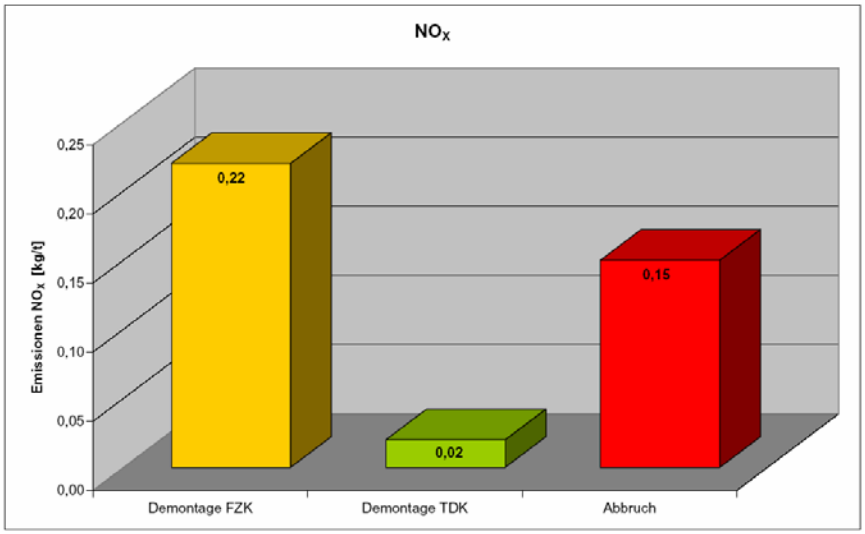


Abb. 133 : Vergleich der NO_X-Emissionen für Demontage und Abbruch einer Tonne Betonbauteile

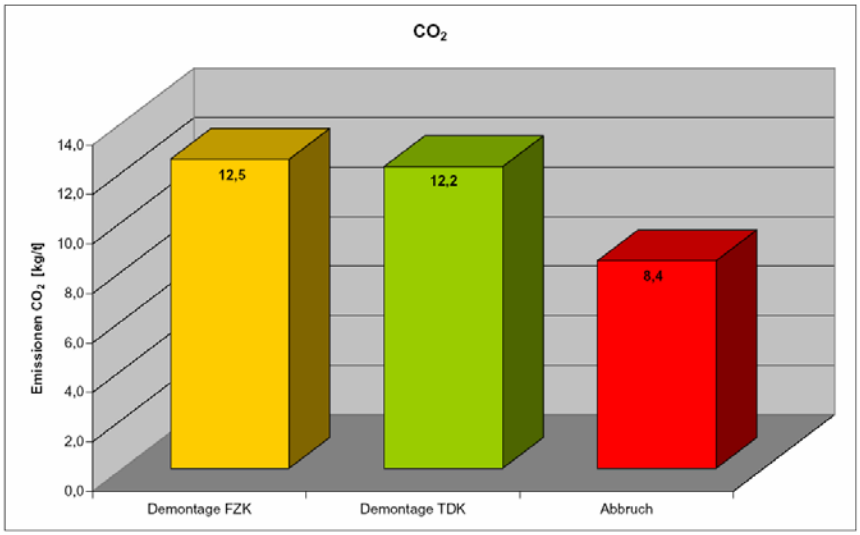


Abb. 134 : Vergleich der CO_2-Emissionen für Demontage und Abbruch einer Tonne Betonbauteile

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 (FZK) und Turmdrehkran (TDK) ab.

11.5.3 Stoffliche Aufbereitung

Der Energieaufwand der stofflichen Aufbereitung setzt sich aus nachfolgend aufgeführten Energieträgern zusammen (vgl. Tab. 120):

Tab. 137: 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. 138: 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 gemäß Szenario 1 und die Aufbereitung aller demontierten Bauteile der Szenarien 2 bzw. 3 mit einer Gesamtmasse von je 120 t führen zu folgenden Emissionen.

Tab. 139: 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 rückgebauten Bauteile.

11.5.4 Transporte

Energieträger für die auszuführenden LKW-Transporte ist Diesel.

Tab. 140: Energetisch bedingte Emissionen für die Transporte bei einer regionalen Wiederverwendung mit einer Transportentfernung von 30 km

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						
RC-Anlage	60	30	0,00234	0,20	3,24	187,2
Baustelle (Wiederverwendung)	60	30	0,00234	0,20	3,24	187,2
Szenario 2 und 3						
RC-Anlage	120	30	0,00468	0,40	6,48	374,4
Baustelle (Neubauteile)	60	30	0,00234	0,20	3,24	187,2

Die energetisch bedingten Emissionen der verschiedenen kombinierbaren Transportmittel für Bauteiltransporte über große Strecken sind nachfolgend aufgeführt.

Tab. 141: Energetisch bedingte Emissionen der verschiedenen Transportmittel[381]

Transportmittel	Energieträger	Emissionen [kg/t*km]		
		SO_2	NO_x	CO_2
LKW	Diesel	0,000112	0,0018	0,104
Bahn	Diesel	0,000121	0,00023	0,0306
Bahn	Strom	0,000628	0,000321	0,0772
Überseefrachter	Schweröl	0,000157	0,000213	0,00908
Binnenfrachtschiff	Diesel	0,000042	0,000291	0,0299

Für einen reinen LKW-Transport über den Landweg mit einer Strecke von ca. 2.000 km ergeben sich folgende energetisch bedingte Emissionen.

Tab. 142: Energetisch bedingte Emissionen der Transportkombination b) (RoRo-Fähre mit Trailer) für die Wiederverwendung der Bauteile einer WE in St. Petersburg

Teilprozesse	Energieträger	Bauteilmasse	Transportstrecke	Emissionen		
		M [t]	s [km]	SO_2 [kg]	NO_x [kg]	CO_2 [kg]
Vorlauf (LKW)	Diesel	60	2.000	13,44	216	12.480

Für einen Transport der Bauteile zur Wiederverwendung von Cottbus nach St. Petersburg mit der Transportvariante b) (vgl. Abschn. 10.5.7.2) über 1.800 km mit LKW - Vor- und Nachlauf, Bahntransport von Cottbus nach Saßnitz und den Transport auf einer RoRo-Fähre über Trailer sind folgend aufgeführte Emissionen zu erwarten.

Tab. 143: Energetisch bedingte Emissionen der Transportkombination b) (RoRo-Fähre mit Trailer) für die Wiederverwendung der Bauteile einer WE in St. Petersburg

Teilprozesse	Energieträger	Bauteilmasse	Transportstrecke	Emissionen		
		M [t]	s [km]	SO_2 [kg]	NO_x [kg]	CO_2 [kg]
Vorlauf (LKW)	Diesel	60	7	0,05	0,76	44
Bahntransport	Strom	60	445	16,77	8,57	2.061
Seetransport	Schweröl	60	1.320	12,43	16,87	719
Nachlauf (LKW)	Diesel	60	30	0,20	3,24	187
Gesamt				**29,45**	**29,44**	**3.011**

[381] aus: www.probas.umweltamt.de/...; aufgerufen am 27.02.2008.

Die Emissionen je Kilometer und transportierter Tonne Alt-/RC-Betonbauteil für den Transport der Bauteile (1 WE) von Cottbus nach St. Petersburg nach Variante b) belaufen sich somit auf:

- 0,0003 kg/t*km $SO_{2,}$
- 0,0003 kg/t*km $NO_{X,}$
- 0,03 kg/t*km $CO_{2.}$

11.5.5 Zusammenfassung

Eine Zusammenstellung aller energetisch bedingten Emissionen für die Einzelpositionen Demontage, Abbruch, stoffliche Aufarbeitung, Wiederverwendung und sämtliche Transporte hinsichtlich des Vergleiches zeigt nachfolgende Tab. 144.

Tab. 144: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für 1 t Bauteil

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
$EM_{T,WV}$	Transport 1 km (Var. b))	0,0003	0,0003	0,03
EM_{Abb}	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
$EM_{T,SRC}$	Transport 1 km (LKW)	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 Aufbereitung der restlichen Baumassen von 1 WE aufzeigen.

Tab. 145: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für das Szenario 1

Szenario 1	Bauteil-	Emissionen [kg]		
	masse	SO_2	NO_x	CO_2
Demontage (2 WE)				
entweder mit Fahrzeugkran (FZK)	120 t	1,56	26,4	1.500
oder mit Turmdrehkran (TDK)	120 t	0,12	2,4	1.464
Stoffliche Aufbereitung (1 WE)				
Bauschutt	60 t	0,27	3,78	231
Transport zur RC-Anlage (30 km; 1 WE)				
Bauschutt	60 t	0,20	3,24	187
Transport Alt-/RC-Betonbauteile (1.800 km, 1 WE)	60 t	29,45	29,44	3.011
Gesamtemission mit FZK		**31,48**	**62,9**	**4.929**
Gesamtemission mit TDK		**30,04**	**38,86**	**4.893**

Im Szenario 2 werden die Emissionen der Demontage wie in Szenario 1 betrachtet, wobei die demontierten Bauteile komplett stofflich aufbereitet und die Bauteile für den Neubau neu produziert werden.

Tab. 146: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für das Szenario 2

Szenario 2	Bauteil-	Emissionen [kg]		
	masse	SO_2	NO_x	CO_2
Demontage (2 WE)				
entweder mit Fahrzeugkran (FZK)	120 t	1,56	26,4	1.500
oder mit Turmdrehkran (TDK)	120 t	0,12	2,4	1.464
Stoffliche Aufbereitung (2 WE)				
Bauschutt	120 t	0,54	7,56	462
Transport zur RC-Anlage (30 km; 2 WE)				
Bauschutt	120 t	0,40	6,48	374,4
Neuproduktion der Bauteile (1 WE)	60 t	48,36	36,24	23.640
Transport Neubauteile (30 km, 1 WE)	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**

Tab. 147 weist die energetisch bedingten Emissionen für den Abbruch von 2 WE und den Neubau für 1 WE aus.

Tab. 147: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für das Szenario 3

Szenario 3	Bauteil-	Emissionen [kg]		
	masse	SO_2	NO_x	CO_2
Abbruch (2 WE)	120 t	1,08	18,0	1.008
entweder mit Fahrzeugkran (FZK)				
oder mit Turmdrehkran (TDK)	120 t	0,54	7,56	462
Stoffliche Aufbereitung (2 WE)				
Bauschutt	120 t	0,40	6,48	374,4
Transport zur RC-Anlage (30 km; 2 WE)	60 t	48,36	36,24	23.640
Bauschutt	60 t	0,20	3,24	187,2
Gesamtemission		**50,6**	**71,5**	**25.672**

In Tab. 148 sind die ermittelten Emissionen der einzelnen Szenarien zusammen- bzw. gegenübergestellt.

Tab. 148: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für alle Szenarien

Emissionen	[kg]		
	SO_2	NO_x	CO_2
Szenario 1: Demontage mit FZK / WV / WVW	**31,48**	**62,9**	**4.929**
	30,04	**38,86**	**4.893**
Szenario 2: Demontage mit FZK / WVW / Neuprod.	**51,1**	**79,9**	**26.164**
	49,6	**55,9**	**26.128**
Szenario 3: Abbruch / Neuproduktion	**50,6**	**71,5**	**25.672**

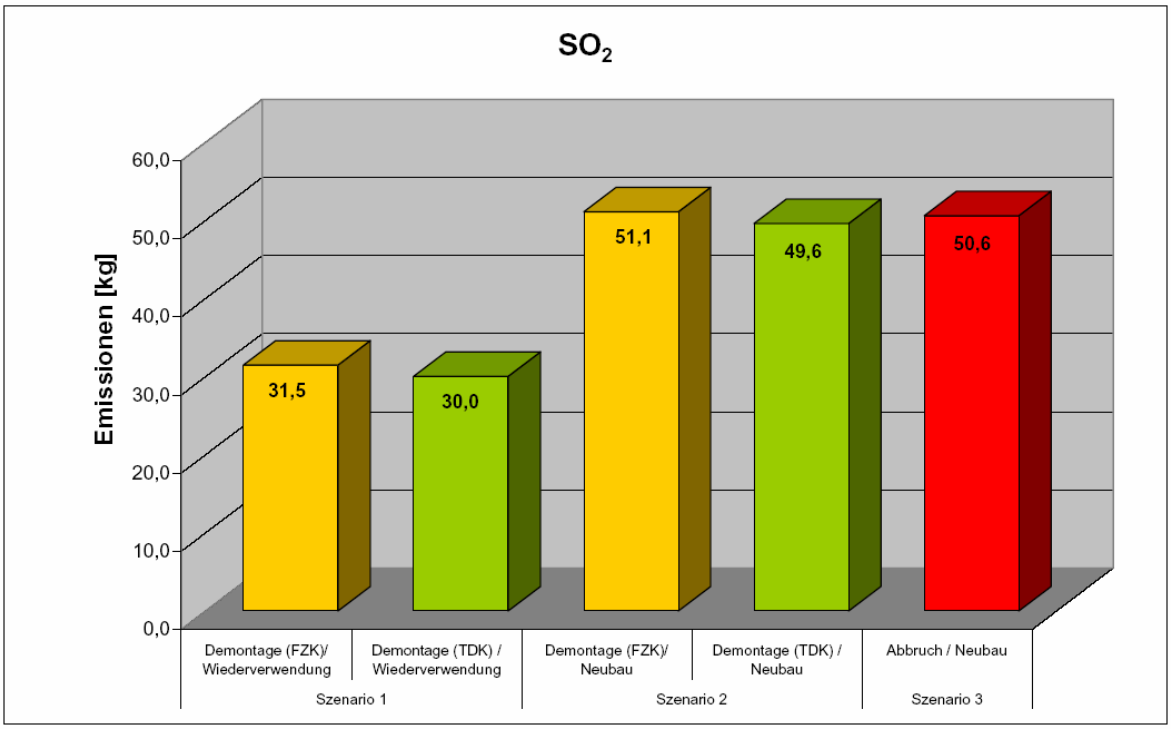


Abb. 135 : Grafische Gegenüberstellung der ermittelten energetisch bedingten SO_2-Emissionen der einzelnen Szenarien

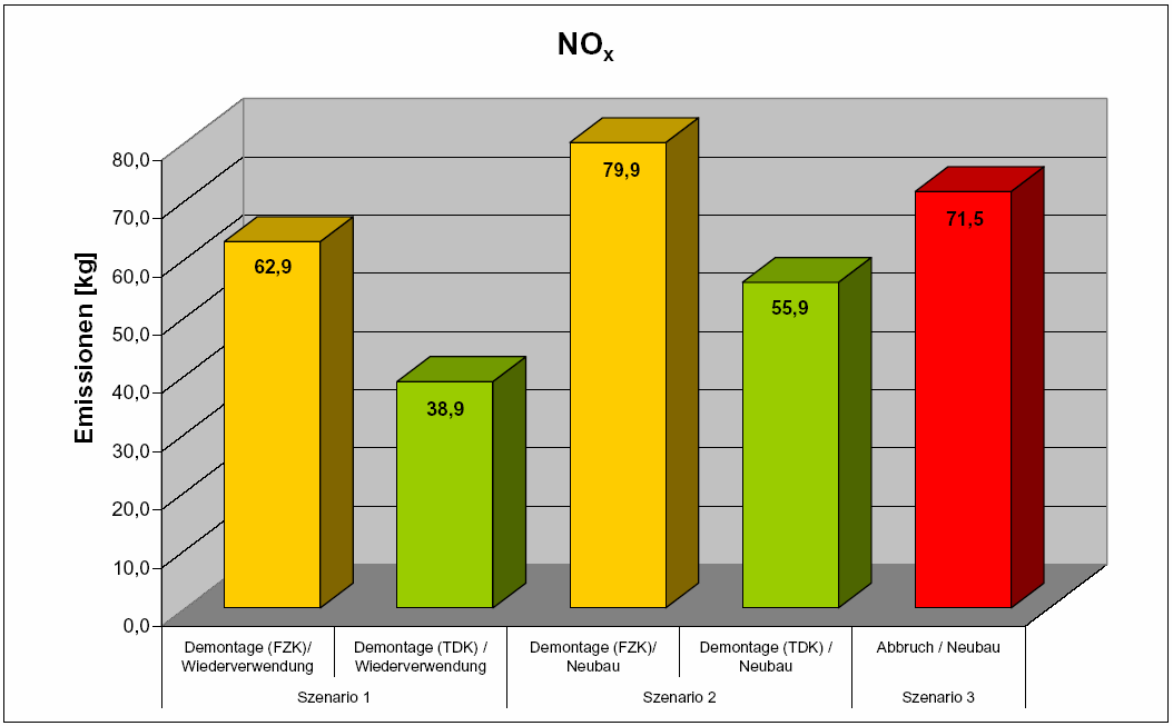


Abb. 136 : Grafische Gegenüberstellung der ermittelten energetisch bedingten NO_X-Emissionen der einzelnen Szenarien

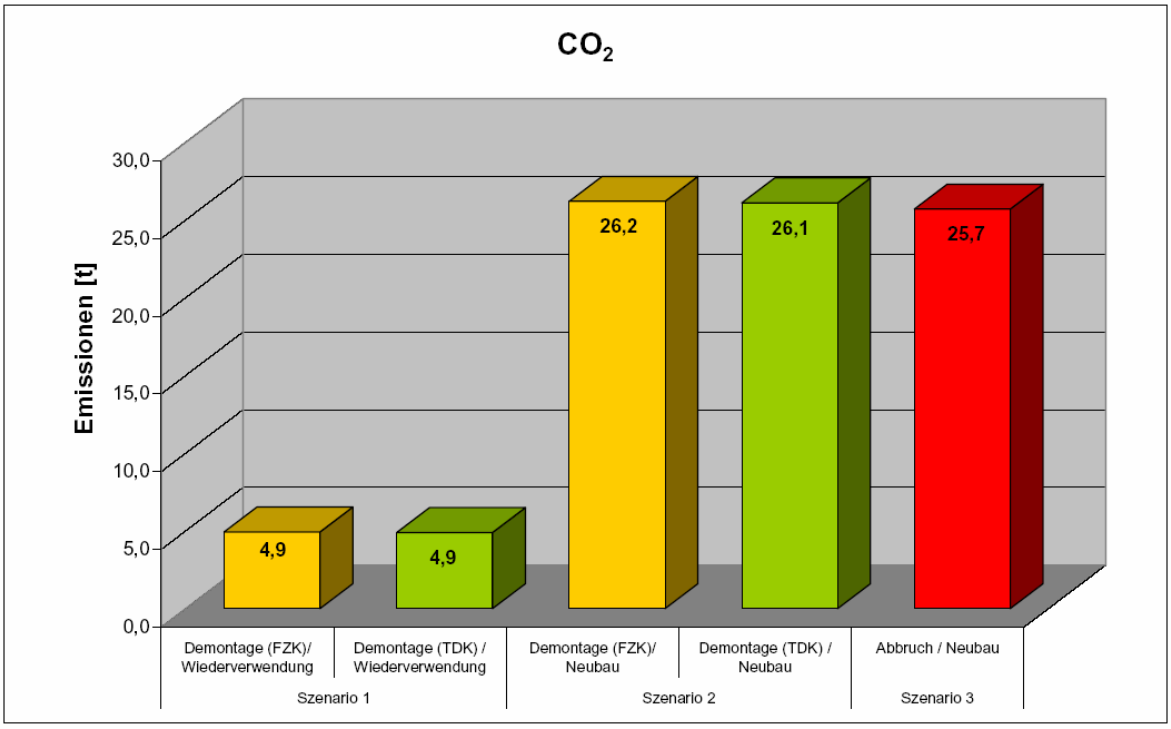


Abb. 137 : Grafische Gegenüberstellung der ermittelten energetisch bedingten CO_2-Emissionen der einzelnen Szenarien

Durch den Wiedereinsatz der demontierten Bauteile für eine WE mit einer Bauteilmasse von 60 t fallen die Emissionen von SO_2, NO_X und CO_2 auch bei einer Transportstrecke von 1.800 km deutlich niedriger aus. 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 Entfernungen für den Transport der sekundären Elemente von 1.800 km und von je 30 km der Neubauteile und der Betonmassen zur stofflichen Aufbereitung.

Für eine Gegenüberstellung des Wiederverwendungsszenarios mit dem Abbruchszenario ergibt sich folgende Situation für zwei gewählte Modelle:

Emissionen des Szenario 1: WV	≠	Emissionen des Szenario 3: Abb
$EM_{De} + EM_{T.WV}$	≠	$EM_{Abb} + EM_{SRC} + EM_{T.SRC} + EM_{BE} + EM_{T.BE})$

Modell 1: Rückbau/Demontage und Wiederverwendung vor Ort anstelle Abbruch und Neuproduktion (Demontageort = Remontageort)

Daraus ergibt sich eine Emissionsreduzierung durch die Wiederverwendung:

$$EM = EM_{Abb} - EM_{De} - EM_{T.WV} + EM_{SRC} + EM_{T.SRC} + EM_{BE} + EM_{T.BE}$$

EM_{SO2} = 0,812 kg/t

EM_{NOx} = 0,71 kg/t

EM_{CO2} = 400 kg/t

Modell 2: Rückbau/Demontage und Wiederverwendung in 1.800 km Entfernung anstelle Abbruch und Neuproduktion

Bei einer Transportstrecke von 1.800 km beläuft sich die Schadstoffreduzierung auf:

EM_{SO2} = 0,32 kg/t

EM_{NOx} = 0,14 kg/t

EM_{CO2} = 346 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 1.800 km verbaut und somit allein die Emission von 907 t des Treibhausgases CO_2 vermieden werden können, zeigt die ökologische Relevanz der Wiederverwendung gebrauchter Bauteile.

11.6 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 dieser Ziele auf dem Bausektor. Durch den Einsatz sekundärer Betonelemente können der Energie- und Umweltverbrauch sowie der Schadstoffausstoß deutlich reduziert werden.

Gemäß der Erhebungen werden bis Ende 2009 allein aus Mitteln des Stadtumbau-Ost Förderprogramms ca. 150.000 WE industriell errichteter Bauweisen in den ostdeutschen Bundesländern abgebrochen bzw. rückgebaut. Bei einer durchschnittlichen Bauelementeanzahl von 30 Stück pro WE würden ca. 4,5 Mio. Betonelemente als Bauprodukt in Gänze anfallen, wenn krangeführt rückgebaut wird. Bei einer durchschnittlich angesetzten Wiederverwendungsquote von ca. 60 % (z.B. 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 verwendbarer Betonbauteile. Durch deren Einsatz im 1.800 km Entfernung (Cottbus – St. Petersburg, untersuchtes Fallbeispiel) kann der Energieverbrauch bei einer Einsparung von 2,8 GJ/t im Vergleich zum Abbruch und konventionellem Neu-

bau um 26.800 TJ gesenkt und der CO_2-Ausstoß um 3,3 Mio. t vermindert werden. Dies entspricht dem jährlichen Energiebedarf von ca. 2,1. Mio. Drei-Personen-Haushalten (ergo 6,3 Mio. Menschen). Theoretisch könnten die Haushalte Berlins[382] damit fast 2 Jahre mit Energie versorgt werden. Die durch die Wiederverwendung von 9,5 Mio. t Betonelemente eingesparte CO_2-Emission entspräche bspw. dem Ausstoß des Kraftwerks Schwarze Pumpe über 3 Monate (Land Brandenburg; Vattenfall Europe AG, Jahresemission 2006: ca. 12,2 Mio. t CO_2[383]).

Die hier ermittelten Einsparungspotenziale, die sich aus ökologischer Sicht für Wiederverwendungen (Produktrecycling) im Vergleich zur Wiederverwertung (Materialrecycling) ergeben, sind als eine erste Einschätzung zu werten. Es sind die hauptsächlichen Prozesse erfasst, jedoch noch nicht alle technologischen Prozesse, wie z.B. die des Umschlagens. Fest steht, dass die Umschläge zu minimieren sind und anstelle der Verladung von Einzelelementen – wo es möglich ist – die „Paket"-Verladung zu bevorzugen. Das wirkt sich gleicherweise günstig auf die Kosten aus. Erst durch die wissenschaftliche Begleitung in der Phase 2, der Umsetzung dieser vorbereiteten Maßnahme, können Einsparungspotenziale ausgewiesen werden.

12 Wiederverwendung von gebrauchten Betonbauteilen im Wohnungsbau Osteuropas

Der Immobilienmarkt entwickelt sich in Europa aufgrund der anhaltenden Konjunktur und der damit verbundenen Verbesserung des Einkommens und Lebensstandards der Bevölkerung sehr intensiv. Gefragt sind dabei neben Büro- und Einzelhandelsgebäuden vor allem kleinteilige Wohneinheiten wie Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäuser im Umland größerer Ballungszentren im unteren und mittleren Preissegment. Aufgrund der starken Nachfrage, günstiger Kreditkonditionen und der teilweisen Subventionierung der Schaffung sozialen Wohnraums sowie weiterer Faktoren erfolgten zum Teil starke Preisanstiege von Baumaterialien und –produkten.

Um der großen Nachfrage nach günstigem Wohneigentum gerecht zu werden, bietet sich die Wiederverwendung gebrauchter Betonelemente aus dem krangeführten Rückbau ostdeutscher Plattenbauten an. Geeignet sind dafür vor allem die Deckenplatten, tragende Innenwandelemente und Außenwandplatten ohne Kamilit-Dämmschicht, aber auch Treppenläufe und –podeste sowie alle Dachelemente insofern sie keine teerhaltigen Substanzen aufweisen. Die Rohbaukosten können dabei in Abhängigkeit der qualitativen Vorbereitung der Maßnahme der Wiederverwendungsquote, Transportentfernung und Logistik, notwendiger Bauteilaufarbeitung (Betonsägearbeiten, Korrosionsschutz,…) und Ausführung (Nutzung vorhandener Bauteilverbindungen,…) schätzungsweise um bis zu 50 % gesenkt werden.

Man kann davon ausgehen, dass die Entwürfe der (Wieder-)Neubauten von deutschen Verhältnissen abweichen. Beispielsweise werden allein aus Kostengründen die zu errichtende Wohnfläche je Person (derzeit etwa 20 – 30 m²/Person) nur langsam den in Deutschland vorherrschenden Bedingungen

[382] 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.
[383] WWF: Dirty Thirty - Ranking of the most polluting power stations in Europe, May 2007, S.1.

(durchschnittlich 41 m²/Person) angepasst werden, d.h. weniger Wohnfläche bei gleicher Personenzahl als hier zu Lande.

Zu beachten sind ebenso die verschiedenen Besteuerungssysteme. Beispielsweise fallen in der Tschechischen Republik Neubauten von Wohnungen bis 90 m² und von Familienhäusern bis 150 m² in den sozialen Wohnungsbau und werden nur mit einer Mehrwertsteuer von 5 % beaufschlagt. Im Gebiet Leningrad (Russland) wurde 2005 der Eigenheimerwerb durch Förderprogramme der Landesregierung über einen Zuschuss von 10.800 RUB/m² für junge Familien, Landbewohner und Mitarbeiter der Haushaltseinrichtungen[384] gestützt. D.h. die Planungen von Neubauten werden sich an diesen Prämissen ausrichten, um die Bauvorhaben kostengünstig zu gestalten.

Des Weiteren ist das generationenübergreifende Wohnen weiter verbreitet als in Deutschland. Somit muss bei kleinerer Wohnfläche mit einer größeren Raumanzahl gerechnet werden. Gemeinschaftsräume wie Küche und Wohnzimmer sind größer zu gestalten. Die Gebäude sollten flexibel erweiterbar sein. Auch wird auf dem Grundstück um das Wohngebäude im ländlichen Raum oft noch mehr Gartenbau betrieben, so dass evtl. auch die Schaffung von Abstell- und Lagerräumen berücksichtigt werden muss.

Die Anforderungen an den Wohnraum sind regional differenziert. Dies kann bei der Entwicklung von Wohnraumangeboten unter Wiederverwendung gebrauchter Betonbauteile berücksichtigt werden. Die notwendige Flexibilität des Einsatzes von RC-/Altbetonbauteilen ist vor allem durch die großen Spannweiten der Deckenplatten gegeben. Gegenwärtig werden in St. Petersburg an der Bau- und Architekturuniversität mehrere Entwürfe zum Einfamilienhausbau, Zweifamilienhausbau und mehrgeschossigen Wohnungsbau auf Grundlage von Elementekatalogen[385,386] entwickelt.

Nachfolgend werden beispielhaft Entwürfe sowie bisher ausgeführte Pilotvorhaben zur Wiederverwendung gebrauchter Betonbauteile in Deutschland aufgeführt.

12.1 Entwürfe zu Wiederneubauten im Wohnungsbau

Bei der nachfolgenden Präsentation von Entwürfen zu Wohngebäuden unter Verwendung von Alt-/RC-Betonelementen aus ostdeutschen Plattenbauten wird bewusst auf eine Darstellung der Baukostenabschätzung verzichtet, da diese zunächst auf Basis deutscher Baupreise erstellt wurden. Die osteuropäischen Baukosten unterliegen starken regionalen, lokalen und zeitlichen Schwankungen. Deshalb werden die Kosten zeitnah und vorhabensspezifisch in der Phase des Vorhabens erarbeitet.

[384] Ivanov, E.: Vermarktung gebrauchter Stahlbetonelemente im Raum St. Petersburg, Studienarbeit, BTU Cottbus, 2007, S. 4.
[385] Mettke, A. (Hrsg.): Elementekatalog, Übersicht: Elementesortiment der Typenserie P2, Cottbus, 2003.
[386] Mettke, A. (Hrsg.): Elementekatalog, Übersicht: Elementesortiment des Typs WBS 70 am Beispiel Gebäudetyp WBS 70/11, Cottbus, 2007.

12.1.1 Einfamilienhaus / Generationenhaus

Das Ziel des Entwurfes – von der FG Bauliches Recycling – ist, ein Wohnhaus aus Alt-/RC-Betonelementen zu errichten. Grundlage bildete hierbei das Bauteilsortiment eines 5-geschossigen Wohnblocks der Typenserie P2 (s. Tab. 149). 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 usw. umzusetzen, da eine Veränderung der Maße in Längsrichtung möglich ist.

Generell ist es auch möglich, die Kellerwände aus Alt-/RC-Betonelementen herzustellen. Diese Alternative wird hier nicht dargestellt, da sich partielle Rückbaumaßnahmen zumeist auf Geschossreduzierungen beschränken und folglich Kellerelemente nicht großflächig anfallen. Auch die Bodenplatte ist aus RC-Deckenelementen anstelle in Ortbeton herstellbar.

Untersucht wurden zwei Ausführungsvarianten: Bei beiden Varianten besteht das Gebäude aus zwei zueinander versetzten Kuben (s. Abb. 138, 139). Die Grundfläche beträgt jeweils 116 m². Beide Kuben haben jeweils eine Breite von 6 m. Bei der Variante 1 sind beide Kuben zweigeschossig (Abb. 138), bei der Variante 2 ist ein Kubus (der Wohnbereich) zwei- und ein Kubus eingeschossig (Abb. 139) entworfen worden. Die Grundfläche des Wohnbereiches beträgt bei beiden Varianten 63 m². Dieser Bereich kann als Galerie nach oben geöffnet werden (s. Abb. 142).

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 Familienleben 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.[387]

[387] Mettke, A.; Rupp, E.-K.: Generationenwohnen – Entwurf eines Wohngebäudes unter Verwendung gebrauchter Betonfertigteile vom Gebäudetyp P2, Cottbus, 2007.

Abb. 138 : Perspektivische Darstellung des Einfamilienhauses – Variante 1 (Generationenhaus)

Abb. 139 : Perspektivische Darstellung des Einfamilienhauses – Variante 2 (mit Dachterrasse)

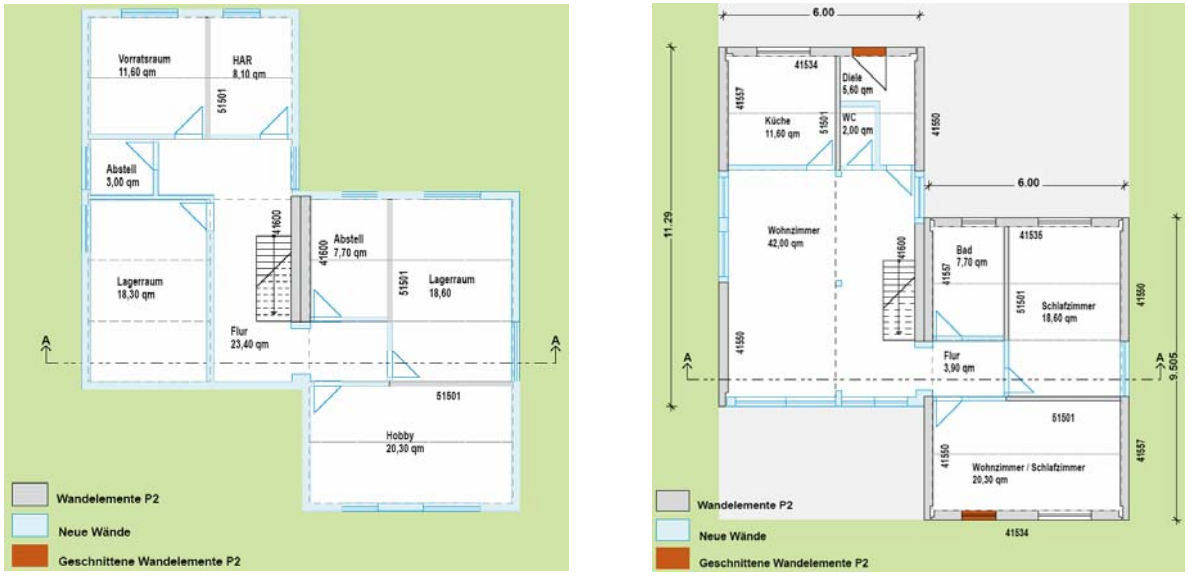


Abb. 140 : Grundrisse des Einfamilienhauses Kellergeschoss (li.), Erdgeschoss (re.)

Abb. 141 : Grundrisse des Einfamilienhauses Obergeschoss - Variante 1und 2 (v.l.n.r)

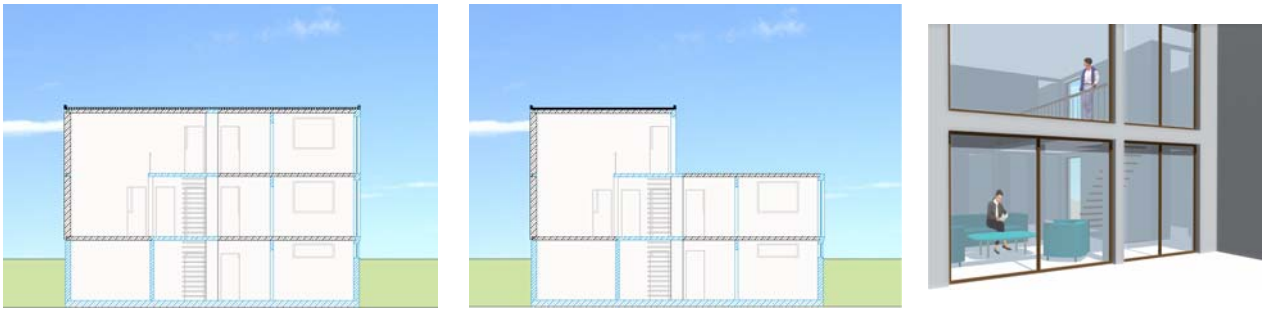


Abb. 142 : Schnitte des Einfamilienhauses - Variante 1und 2; Perspektive Wohnraum (v.l.n.r)

Tab. 149: 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

12.1.2 Entwurf eines Doppelhauses

Durch die PGM Planungsgruppe Mitte GmbH in Gotha[388] wurde ein Doppelhaus unter Verwendung von Altbetonfertigteilen der WBS 70 entworfen. Das Musterhaus ist in Abb. 143 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. Tab. 150 gibt einen genaueren Überblick über die Bezeichnung, die Abmaße und die Masse der Elemente.[389]

Abb. 143 : 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

[388] Entwurf PGM Planungsgruppe Mitte GmbH, Gotha; Dipl.-Arch. Norbert Sprinz.
[389] Lüdtke, M.: Kostenuntersuchungen zum Einsatz von Altbetonbauteilen anhand eines Referenzobjektes, Diplomarbeit, BTU Cottbus, 2007.

den individuellen Wünschen der Bauherren angepasst werden. Der Grundriss des Musterhauses ist in Abb. 144 aufgeführt.

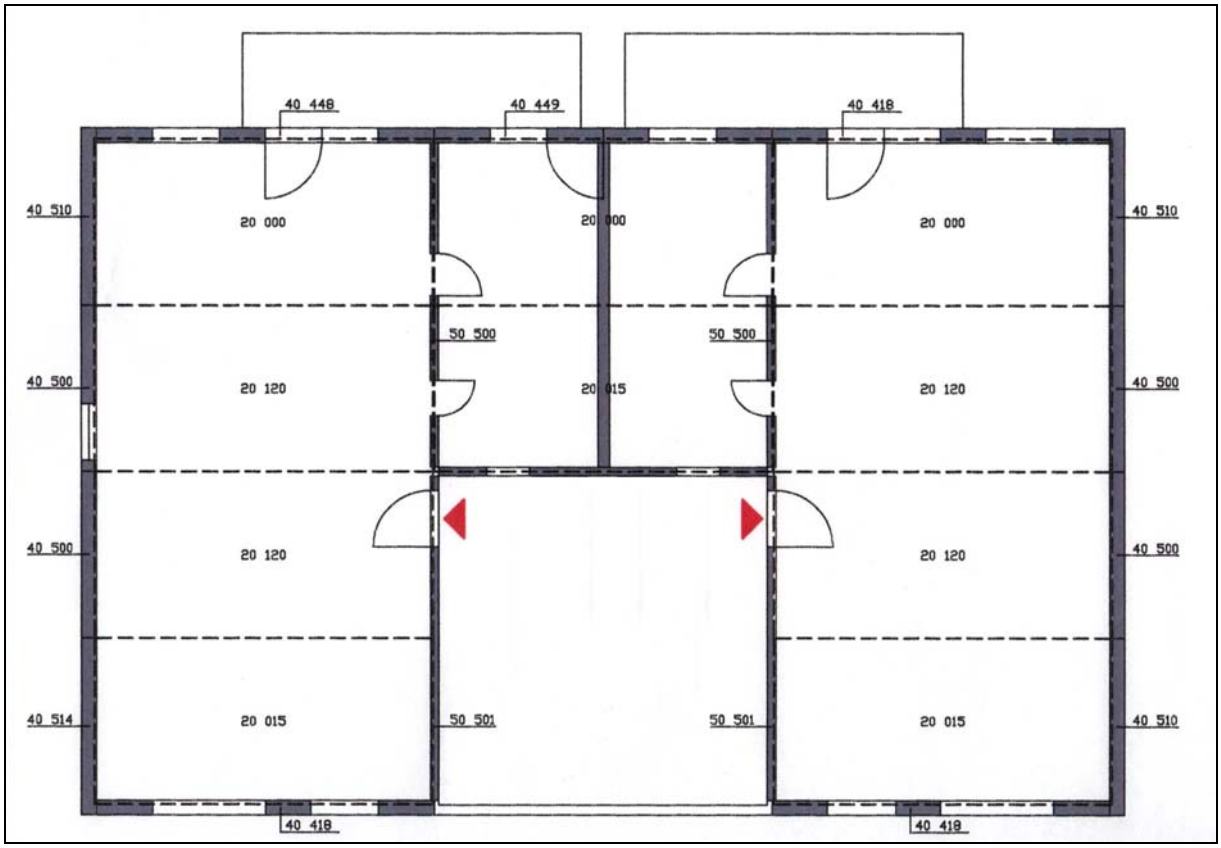


Abb. 144 : Grundriss des Musterhauses

Tab. 150: 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 ge-samt 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. 145). Die Sockelvariante mit einer Sockelhöhe von 15 cm kann in Ortbeton oder Mauerwerk ausgeführt werden.

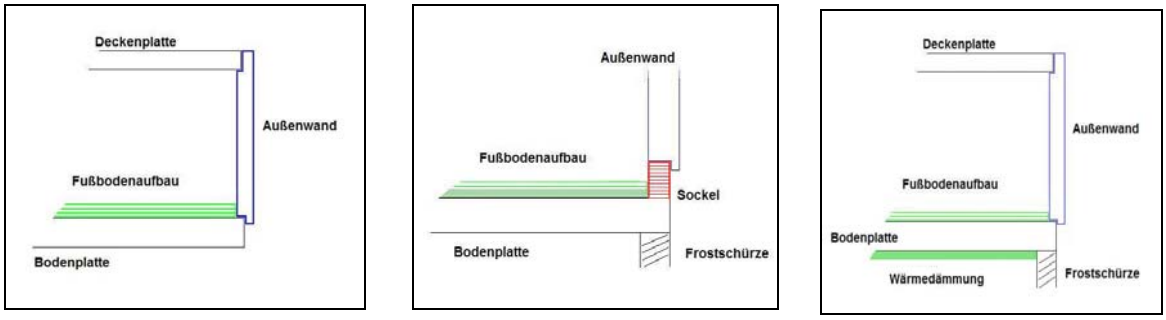


Abb. 145 : Alternativen zur Gestaltung der Raumhöhe durch Fußbodenaufbau, Sockel, Wärmedämmung (v.l.n.r.)

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[390].

Die Umsetzung des Entwurfs in die Praxis ist für 2009 geplant, wobei eine Siedlung mit mehreren Doppelhäusern entstehen soll.

12.1.3 Shell-Haus-Konstruktionen[391]

Unter Verwendung des Elementesortimentes der PN 36-NO wurde von der FG Bauliches Recycling 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

[390] Lüdtke, M.: Kostenuntersuchungen zum Einsatz von Altbetonbauteilen anhand eines Referenzobjektes, Diplomarbeit, BTU Cottbus, 2007, S. 72f..
[391] Mettke, A. (Hrsg.): Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendungen, Anwenderkatalog II, Cottbus, 2003, S. 62f..

die hergestellte Fläche beträgt 58 % bei einer Wiederverwendung von 6 Außenwänden, 6 Innenwänden und 10 Deckenplatten. Ermittelt wurde, dass dadurch die Rohbaukosten gegenüber einer konventionellen Bauweise um ca. 30 % reduziert werden können.

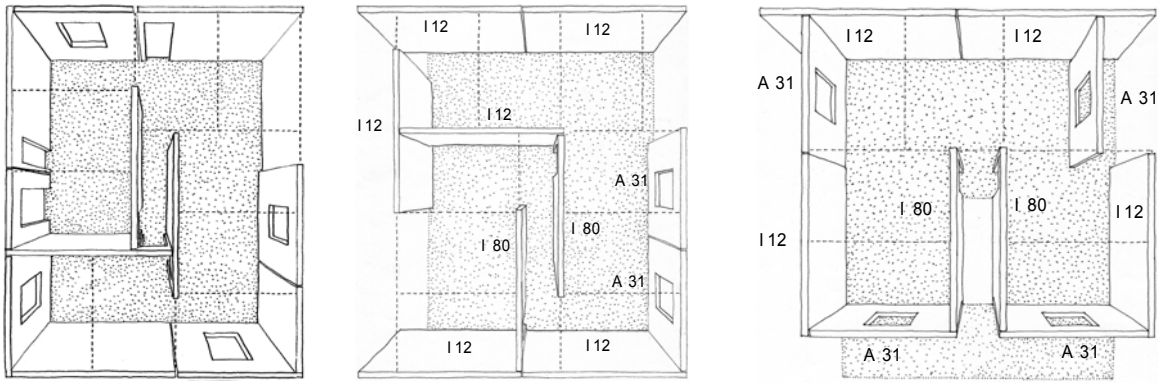


Abb. 146 : Grundrisse der Shell-Haus-Konstruktionen. eingeschossig (li.), zweigeschossig EG (mi.) OG (re.)

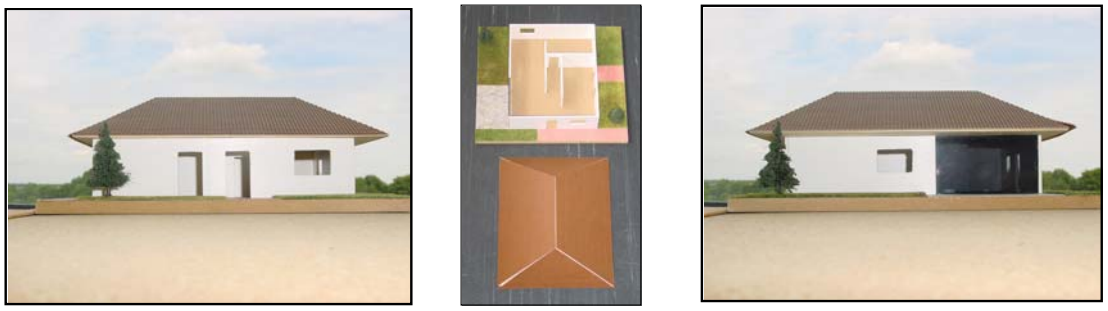


Abb. 147 : Modell der Shell-Haus-Konstruktionen. eingeschossig

Der Entwurf mündete in einem Modell. Dieses wurde bei den Werkstattgesprächen an verschiedenen Standorten und auf Ausstellungen von der FG Bauliches Recycling präsentiert.

12.1.4 Doppelhaus[392]

Das Doppelhaus (Abb. 148) – entwickelt von der FG Bauliches Recycling - 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 Nettogeschossfläche von zwei mal 123 m² und einem Wiederverwendungsgrad von 68 % bezogen auf die hergestellte Fläche können die Rohbaukosten gegenüber konventioneller Bauweise um ca. 50 % reduziert werden. Wiederverwendet werden dabei 6 Außenwände, 14 Innenwände und 16 Deckenplatten.

[392] Mettke, A. (Hrsg.): Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendungen, Anwenderkatalog II, Cottbus, 2003, S. 65.

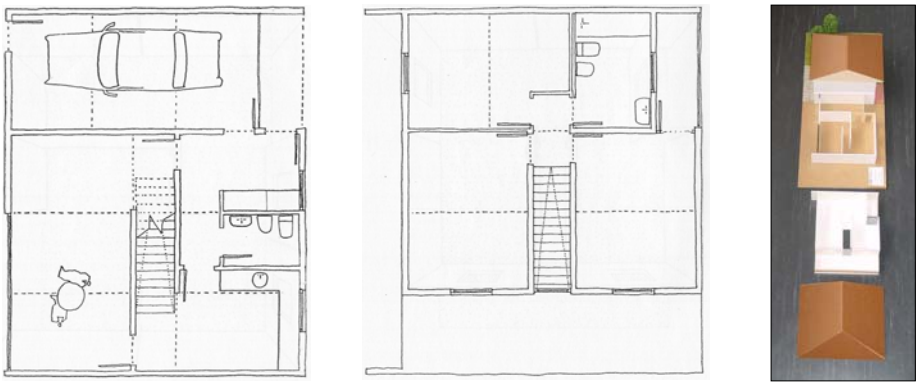


Abb. 148 : Grundrisse der Doppelhaus-Konstruktion

Abb. 149 : Modell der Doppelhaus-Konstruktion

12.1.5 Reihenhaus[393]

Der Entwurf dieser zweigeschossigen Reihenhausvariante (Abb. 150, 151) 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 nach Kostenschätzungen bei ca. 50 % im Vergleich zur Rohbaukosten in konventioneller Bauweise. Eine Wohneinheit besteht hierbei aus 13 Innenwandbauteilen und 16 Deckenplatten.

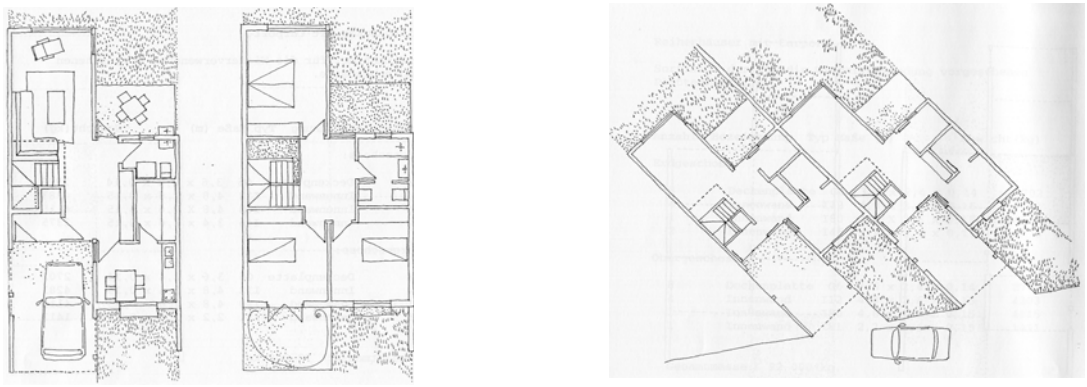


Abb. 150 : Grundrisse der Reihenhaus-Konstruktion

[393] Mettke, A. (Hrsg.): Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendungen, Anwenderkatalog II, Cottbus, 2003, S. 67ff.

Abb. 151 : Modell der Reihenhaus-Konstruktion

12.2 Ausgeführte Pilotprojekte zu Wiederneubauten im Wohnungsbau

Die zu den einzelnen Pilotprojekten aufgeführten Kostendaten entsprechen der zum Zeitpunkt der Ausführungen geltenden Preissituation.

12.2.1 Wiederneubauten in Brielow[394]

In Brielow nahe Brandenburg entstanden im Blumenviertel mehrere Einfamilienhäuser im Bungalowstil unter der Verwendung von gebrauchten Betonbauteilen. 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 Fenstergrößen. 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.

[394] Projektentwicklung Mischker und Projekthaus GmbH; Brandenburg.

Abb. 152 : Ein- und zweigeschossigen Variante – EFH[395]

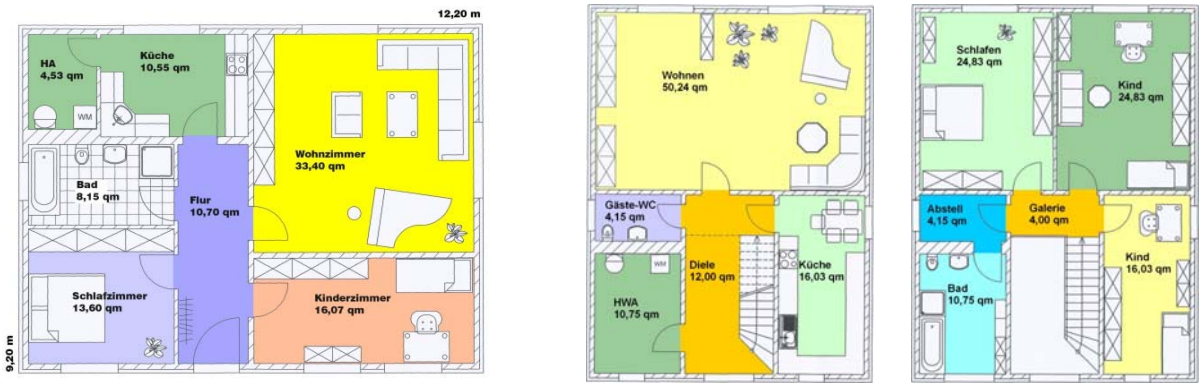


Abb. 153 : Grundriss der eingeschossigen Variante (98 m²) (li.) sowie des Erd- (93 m²) und Obergeschosses (84 m²) der zweigeschossigen Variante – EFH[396]

Abb. 154 : Rohbauzustand – EFH

[395] www.mischker.com.
[396] ebenda.

12.2.2 Weitere Beispiele für Wohnbauten aus Altbetonbauteilen

Auch die nachstehend aufgezeigten Beispiele – dargestellt per „Steckbrief“ - 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[397]

Abb. 155 : 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, Eggesin

Transportentfernung: ca. 2 km

Wiederverwendung: 16 Wandelemente

Remontage-Rohbau: 283,94 €/m² Wfl.

Kostenersparnis gegenüber konventioneller Bauweise: 15 %

:

Zweifamilienhaus in Bröthen[398]

Abb. 156 : Zweifamilienhaus in Bröthen

Bauherr: Wohnungsgesellschaft mbH Hoyerswerda

Planung: Bauingenieurbüro Heidan, 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 gegenüber konventioneller Bauweise: ≈ 95 €/m²

[397] Nach Aussage: von Skrbenski.
[398] Nach Aussage: Dr. Heidan, Bauingenieurbüro Heidan.

Stadtvillen in Cottbus, Sachsendorf[399]

Abb. 157 : 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: wenige Meter, direkt Vorort (Demontage- = Remontageort)

Wiederverwendung: 274 Betonfertigteile

schlüsselfertig: 1.149 €/m² Wfl.

Remontage-Rohbau: 84 €/m² Wfl.

Kostenersparnis gegenüber konventioneller Bauweise: ca. 20 %

Einfamilienhaus in Mehrow[400]

Abb. 158 : Rohbau-Einfamilienhaus in Mehrow, bei Berlin

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 gegenüber konventioneller Bauweise: ca. 15 %

[399] Unruh, H.-P.; Nagora, A.: Rückbau von Plattenbauten, Cottbus, 2002, S. 191 S. 211.
[400] CONCLUS Architekten, Büro für Nachhaltige Architektur, Homepage.

Einfamilienhaus in Plauen[401]

Abb. 159 : Einfamilienhaus in Plauen

Bauherr: Wohnungsbaugesellschaft Plauen mbH

Planung: Prof. Dr. Ing. habil. W. R. Eisentraut, Berlin

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.

Einfamilienhaus in Leinefelde[402]

Abb. 160 : Einfamilienhaus in Leinefelde

Bauherr: private Bauherrengemeinschaft

Planung: arbeitsgemeinschaft wbk 21 (Seidel; Hose) vertr. durch MWM objects freie Architekten, Dipl.-Ing. (FH) 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 gegenüber konventioneller Bauweise: ca. 10 %

[401] Nach Aussage: Prof. Dr. Ing. habil. W. R. Eisentraut sowie Wohnungsbaugesellschaft Plauen mbH.
[402] Nach Aussage: MWM objects freie Architekten, Dipl.-Ing. (FH) D. Seidl.

Mehrfamilienhaus in Mühlhausen[403]

Abb. 161 : Mehrfamilienhaus in Mühlhausen

Bauherr: Privater Bauherr

Planung: arbeitsgemeinschaft wbk 21, Erfurt
(Seidel; Hose) vertr. durch MWM objects freie Architekten, Dipl.-Ing. (FH) David Seidl

Wohnfläche: 248 m²

Baujahr: vorauss. I/2007

Spendergebäude: WBS 70, Leinefelde

Transportentfernung: ca. 28 km

Wiederverwendung: **28 Wandelemente, 23 Deckenelemente, 7 Treppenelemente**

Remontage-Rohbau: 451,60 €/m² Wfl.

Kostenersparnis gegenüber konventioneller Bauweise: ca. 30 %

12.3 Entwürfe zu Wiederneubauten im Gesellschafts- und Mehrzweckbau

Ein großes Potenzial auf dem Immobilienmarkt Osteuropas bietet auch der Sektor der Gesellschafts- und Bürobauten bzw. Einzelhandelsimmobilien. Insbesondere auf dem Bürosektor besteht eine große Nachfrage vor allem durch westeuropäische Konzerne und bezieht sich zu einem großen Teil auf hochwertige Flächen.[404]

Mit wachsenden Anteilen an Büroflächen gewinnen auch die im Umland der Ballungszentren gelegenen Eigenheimsiedlungen an Zuwachs, in welchen wiederum kleinere Dienstleistungs- und Handwerksbetriebe entstehen. Der Nachfrage nach kleineren Dienstleistungseinheiten ist auch die wachsende Tourismusbranche zuträglich.

Ebenso profitieren Kommunen und Vereine vom wachsenden Lebensstandard, woraus auch wiederum eine steigende Nachfrage nach Gesellschaftsbauten wie Bürgerhäuser und Vereinshäuser resultiert. Daher sollen

Daher sollen im Folgenden Beispiele für die Verwendung sekundärer Bauteile im Gesellschafts- und Mehrzweckbau aufgeführt werden.

[403] Nach Aussage: MWM objects freie Architekten, Dipl.-Ing. (FH) D. Seidl.
[404] IMMOEAST: Geschäftsbericht 1005/06, Länderberichte, S. 68.

12.3.1 Vereinshaus Sportverein 1911 Gröditz e.V.

Die FG Bauliches Recycling als Initiator dieser Maßnahme, unterstützt von der Stadt Gröditz, begleitet dieses Vorhaben aus wissenschaftlicher Sicht.

Das vom Berliner Architekten MARKUS UHL[405] 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 ergänzt um 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.[406] Die Zwischenlagerfläche beläuft sich auf ca. 800 m² in unmittelbarer Nähe des Neubaustandortes.

Abb. 162 : 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 des Rohbaus (voraussichtlich bis zu 50%) führt. Das Vereinshaus wird bis Anfang 2008 errichtet. Am 20.09.2007 erfolgte mit dem feierlichen ersten Spatenstich der Beginn der Bauausführung.

[405] 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.
[406] Mettke, A.; Heyn, S.: Ergebnisse der Untersuchungen zu den zwischengelagerten Betonelementen für das Vereinshaus Gröditz 1911 e.V., Cottbus, 2005.

Abb. 163 : Vereinshaus Gröditz zwischengelagerte Platten (li.), Betonieren der Frostschürze (re.)

12.3.2 Vereinshaus VFC Plauen e.V. [407]

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 wurde 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. 164), welche jeweils eine abgeschlossene funktionsfähige Einheit bilden. Somit konnte bei der abschnittsweisen Errichtung des Gebäudeensembles der Spiel- und Trainingsbetrieb aufrechterhalten werden.

Abb. 164 : Vereinshaus VFC Plauen e.V. - Planung

[407] Mundt, J.: Projektunterlagen: Vogtland-Stadion Plauen, Neugestaltung Umkleide-/Sanitärbereiche, bauplanung plauen GmbH, architektur- und Ingenieurbüro, Plauen, 2006.

Geschaffen wurden unter anderem 16 Umkleideräume, 1 Schulungsraum, ein Erste-Hilfe-Raum und verschiedene Lager-, Büro- und Sanitärräume. Für den Rohbau wurde insgesamt die Verwendung von 145 Deckenplatten, 49 Außenwänden, 14 Innenwänden und 11 Kellerwänden vorgesehen. Diese entstammen zum großen Teil dem Gebäudetyp IW 73/6. 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. Im I. Quartal 2008 ist die Baumaßnahme abgeschlossen worden. Abb. 165 - 170 geben ausgewählte Prozesse und Bauzustände des Neubauvorhabens wieder.

Abb. 165 : Rückbau, Transport und Zwischenlagerung der sekundären Bauteile - Vereinshaus Plauen

Abb. 166 : Remontage der Wandelemente eines Segmentes - Vereinshaus Plauen

Abb. 167 : Zwischenbauzustände der Remontage eines Segmentes - Vereinshaus Plauen

Abb. 168 : Fassadengestaltung - Vereinshaus Plauen

Abb. 169 : Innenausbau - Vereinshaus Plauen

Abb. 170 : Fertiggestellte Segmente - Vereinshaus Plauen

12.3.3 Vereinshaus Kolkwitzer Sportverein 1896 e.V.

Aufgrund der maroden Bausubstanz des derzeit genutzten Sportlerheims des Kolkwitzer Sportvereins 1896 e.V. wurde der Ersatzneubau eines Vereinshauses unter Verwendung gebrauchter Betonelemente geplant. In die Planung des Vorhabens wurde die FG Bauliches Recycling als Initiator von Beginn an eng eingebunden.[408] Der Neubau soll entweder in Nachbarschaft des bestehenden Gebäudes oder an die Stelle des alten Gebäudes treten. Der laufende Spiel- und Trainingsbetrieb ist 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),

[408] Strothotte, J.: Vereinshaus Kolkwitzer Sportverein – Entwurf für ein Vereinshaus mit remontierten Plattenbauelementen, Studienarbeit, BTU Cottbus, 2006.

- Vereinsraum mit ca. 35m² (Annahme: 35 Personen),
- Billardraum mit ca. 40 m² (Annahme: 20 Personen),
- Küche mit ca. 25 m²,
- Lagerraum mit ca. 10 m² (s. Abb. 171, 172).

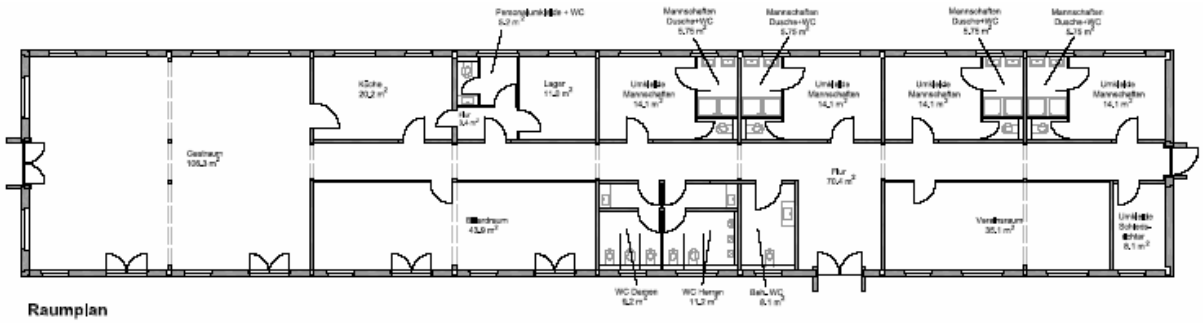


Abb. 171 : Raumplanung - Vereinshaus Kolkwitz

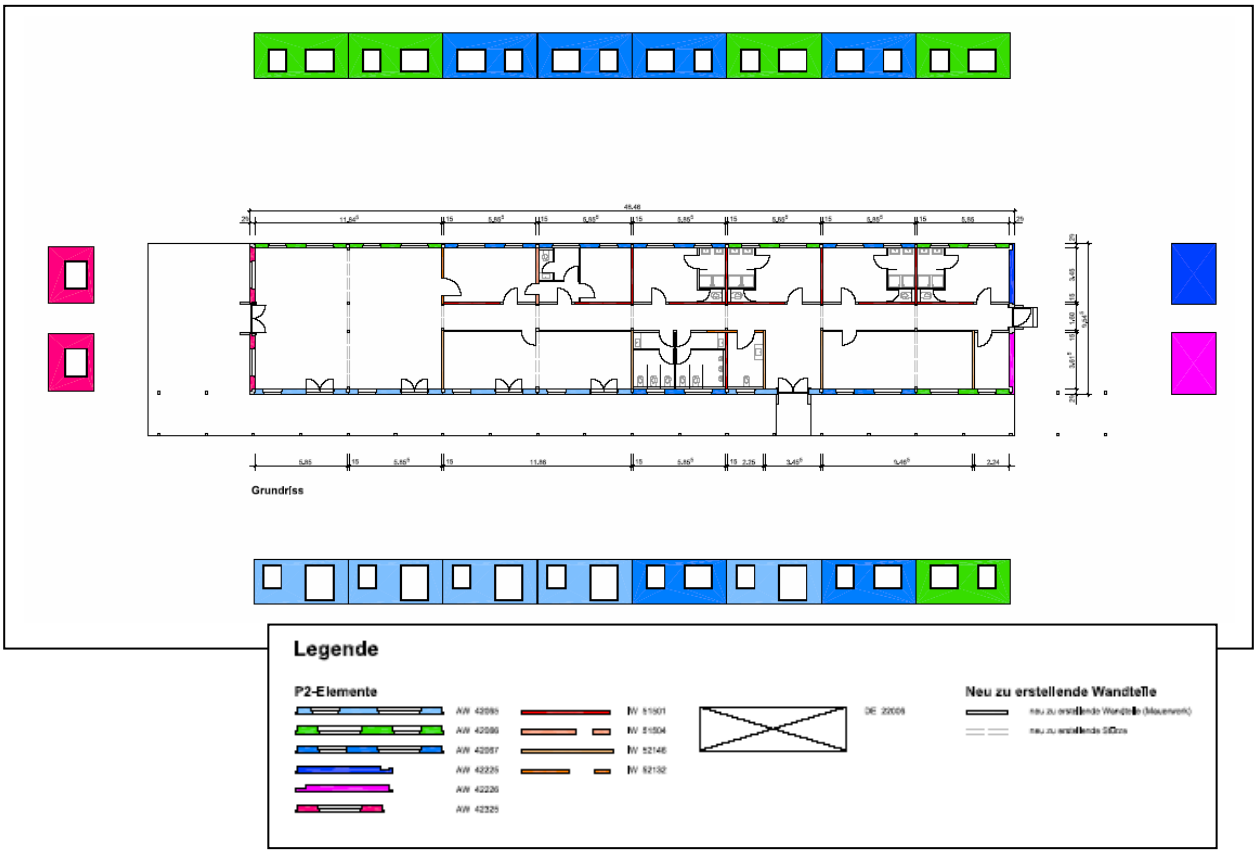


Abb. 172 : Geplante Wiederverwendung von Betonfertigteilen - Vereinshaus Kolkwitz

Im Sommer 2007 wurden die laut Planungsunterlagen erforderlichen 49 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. 173 : Altes Vereinsgebäude (li.), Spendergebäude (mi.), Zwischenlager (re.) - Vereinshaus Kolkwitz

Unter Mitwirkung der FG Bauliches Recycling werden die Entwurfsunterlagen konkretisiert. Ende Juni 2008 wird die Genehmigungsplanung abgeschlossen. Mit dem Bau wird im Herbst 2008 begonnen.

12.3.4 Bürogebäude

Auf Anfrage eines Bauherrn wurde der Entwurf eines eingeschossigen, nicht unterkellerten Bürogebäudes mit Flachdach in Boxberg[409] unter Verwendung gebrauchter Betonelemente entwickelt. Dieser basiert auf der Verwendung von Plattenbauelementen des Gebäudetyps. Es wurden dabei verbaute Elemente aus den beiden oberen Normalgeschossen 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 wurden die Wandelemente auf einen Sockel aus Ortbeton mit einer Höhe von 41,5 cm gestellt. 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.

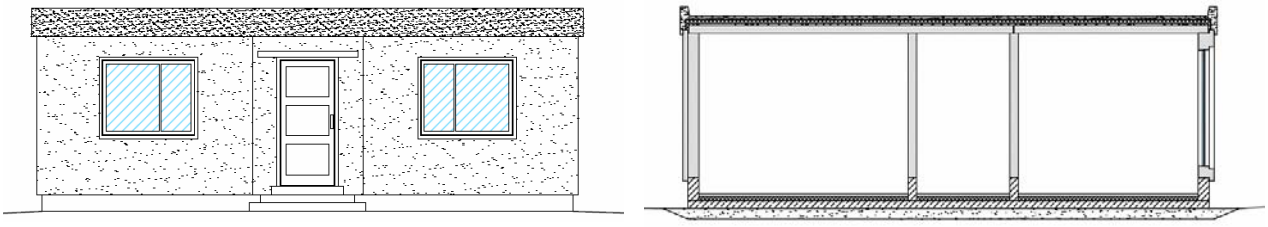


Abb. 174 : Entwurf eines Bürogebäudes Ansicht (li.) Schnitt (re.)

[409] Mettke, A.; Asmus, S.: Entwurfsplanung – Bau eines Bürogebäudes unter Verwendung gebrauchter P2-Betonfertigteile im Boxberg, Cottbus, 2006.

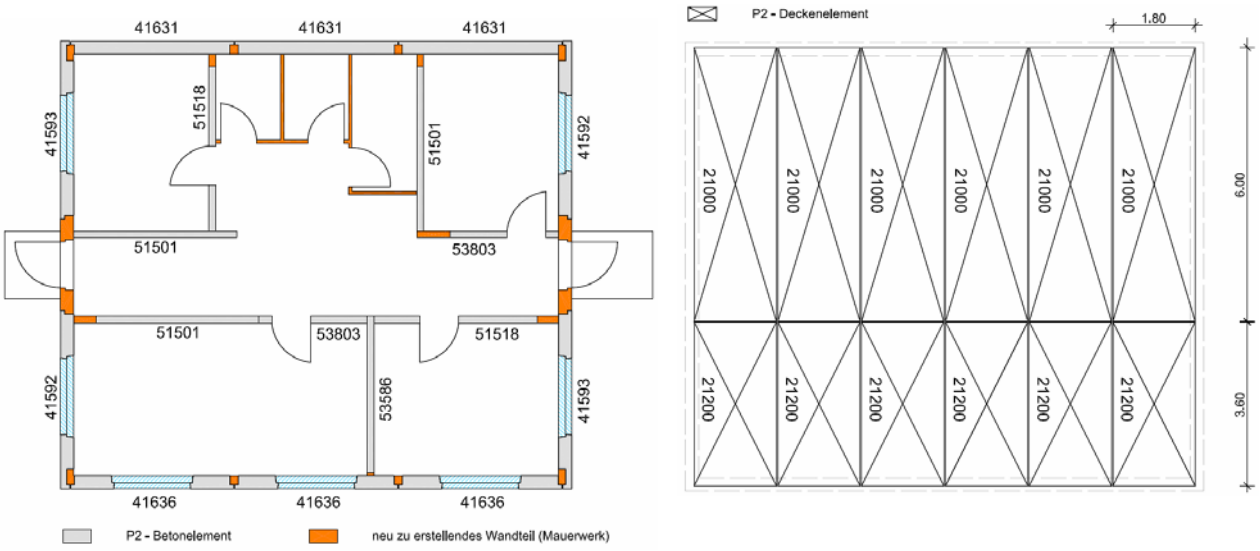


Abb. 175 : Entwurf eines Bürogebäudes Grundriss (li.) Deckenverlegeplan (re.)

Aufgrund personeller Veränderungen seitens des potenziellen Bauherrn wurde das Vorhaben noch nicht über das Entwurfsstadium hinaus weiterentwickelt.

12.3.5 Gästehaus mit Café[410]

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
  - 4 x 2 Zimmer 180 m²

Nachfolgend sind die ersten beiden Preisträger aufgeführt:

[410] Mettke, A. (Hrsg.): Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendungen, Anwenderkatalog II, Cottbus, 2003, S. 92.

1. Preis:

Idee:

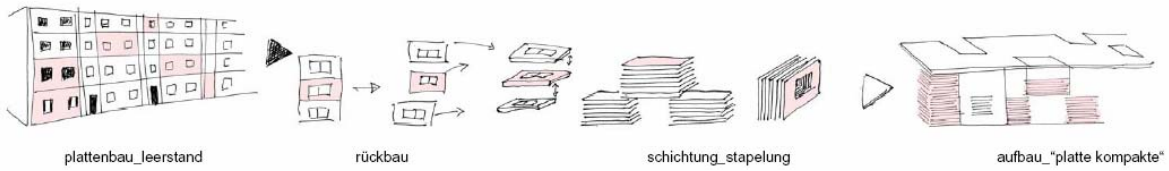


Abb. 176 : Entwurfsidee zum Gästehaus mit Café von Prof. Jo Ackermann, Ayse Hicsasmaz, Heinrich Weid[411]

„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....[412]“ „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.“[413]

Abb. 177 : Modellfoto zum Entwurf Gästehaus mit Café von Prof. Jo Ackermann, Ayse Hicsasmaz, Heinrich Weid[414]

- Bruttogeschossfläche: 1.600 m²
- Nettogrundfläche: 700 m²
- Bruttorauminhalt : 7.700 m³

[411] Baller, Inken; Bader [Hrsg.]: Das Gästehaus, BTU Cottbus, 2003, S. 13.
[412] ebenda, S. 13, Auszug.
[413] ebenda, S. 94, aus dem Protokoll des Preisgerichts.
[414] ebenda.

2. Preis

Abb. 178 : Modellfoto zum Entwurf Gästehaus mit Café von Minka Kersten, Andreas Kopp [415]

- 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.“[416]

Eine Umsetzung ist auf Grund offener finanzieller Fragen nicht in Gang gekommen.

12.3.6 Pavillon[417]

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. 179) oder begehbare Holzdachkonstruktionen. Konzipiert wurde der Pavillon auf Basis der Bauweise PN 36-NO unter Verwendung gebrauchter Deckenplatten und Innenwände.

[415] Baller/Bader [Hrsg.]: Das Gästehaus, BTU Cottbus, 2003, S. 13.
[416] ebenda, S. 24, 100.
[417] Mettke, A. (Hrsg.): Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendungen, Anwenderkatalog II, Cottbus, 2003, S. 93f..

Abb. 179 : Modellfoto einer Baueinheit als Pavillon (li.); Explosionsperspektive (re.)

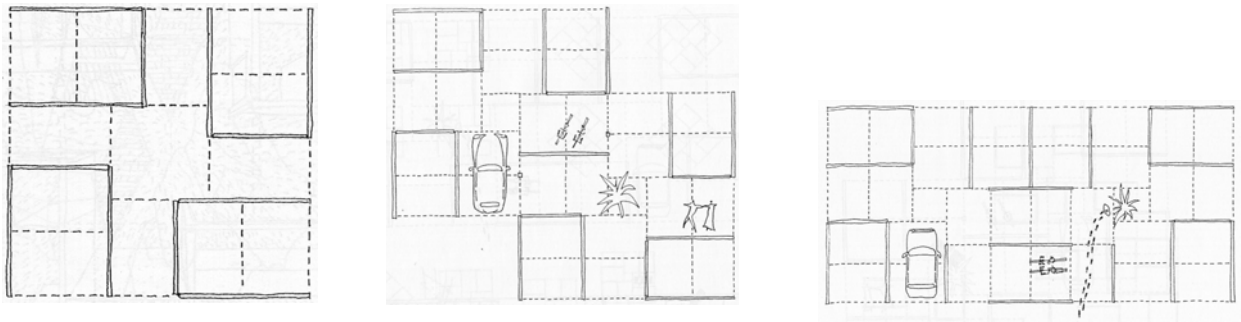


Abb. 180 : Grundriss einer Baueinheit und mögliche Anordnungen mehrerer Baueinheiten

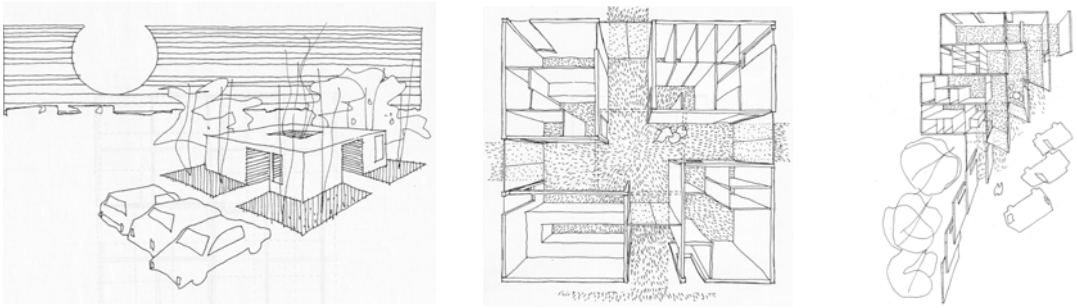


Abb. 181 : Entwurf einer Raststätte aus einer Baueinheit als quadratische Variante, mehreren Baueinheiten als Längsvariante

13 Zusammenfassung

Hintergrund der Forschungsarbeit

Während in den vergangenen Jahrzehnten die städtische Entwicklung auf Wachstum ausgerichtet war, sehen sich seit der jüngsten Vergangenheit zahlreiche Städte Ostdeutschlands und punktuell in Westdeutschland mit den Problemen der Schrumpfung konfrontiert. Werden die Leerstandssituation und die Vorgänge des Verfalls nicht gesteuert, drohen viele Städte in Fragmente zu zerfallen. Dauerhafte Wohnungsleerstände in den Größenordnungen, wie sie in Ostdeutschland bestanden haben und noch bestehen, kann nur begegnet werden, wenn der Wohnungsbestand reduziert und bedarfsorientiert umgestaltet wird. Die Herausnahme von nicht länger marktfähigen Wohnungen wird als unabdingbar erachtet. Der Abbruch kompletter Plattenbauten wird dabei nicht zu umgehen sein. Dennoch bietet der Abbruch allein nicht die Lösung zur Stadterneuerung. Den Fragen der Nachnutzung brachgewordener Flächen und des Erhalts des städtischen Charakters bzw. des geschlossenen Ortsbildes wird dabei überwiegend unzureichend nachgegangen. Der Teilrückbau und der Umbau der verbleibenden Plattenbausubstanz hingegen vereint mehrere Vorteile – wie im hier vorgelegten Bericht gezeigt wird. An mehreren Fallbeispielen wurde bewiesen, dass Plattenbauten reformierbar sind und sich an den Maßstab der Siedlungstypik anpassen lassen.

Der Rückbau einer großen Zahl von Gebäuden geht nicht zuletzt mit der Problematik einer adäquaten Abfallbehandlung einher. Rückgebaute Plattenbauteile nicht dem Shredder zuzuführen, sondern in Gänze als Produkt nachzunutzen, stellt dabei die höchstwertige Recyclingart aber auch zu gleich eine Abkehr vom traditionellen Bauen, d.h. eine Herausforderung an die beteiligten Akteure, dar. Da sich der wiederholte Einsatz von Betonelementen beim Bau von Wohnhäusern in Deutschland (noch) nicht am Markt etabliert hat, bieten die ständig wachsenden Wohnungsmärkte osteuropäischer Länder entsprechende Möglichkeiten. Und hier setzt das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU geförderte Projekt „Wissenschaftliche Vorbereitung und Planung des Rückbaus von Plattenbauten und der Wiederverwendung geeigneter Plattenbauteile in Tschechien“ an. Im Mittelpunkt der wissenschaftlichen Betrachtung steht der innovative und nachhaltige Umgang resp. die sinnvolle Nachnutzung rückgebauter Betonelemente.

Gebrauchstauglichkeit von in Nutzung gewesener Betonelemente / Wiederverwendungseignung

Die Qualität der Altbetonelemente wurde im Zuge umfangreicher baustofflicher und –technischer Untersuchungen nachgewiesen. Aufbauend auf eigenen vorangegangenen Forschungsarbeiten konnten hier weiterführend Belege geliefert werden. Die Anforderungen an Funktionsfähigkeit, Dauerhaftigkeit und Belastbarkeit bei unveränderten Einflüssen im Vergleich zur primären Nutzung werden erfüllt bzw. übererfüllt, wie bspw. der Anstieg der Betonfestigkeitsklassen gegenüber der projektierten Betongüte und erhebliche Traglastreserven bestimmter Deckenplatten. Ein weiterer Vorteil der etwa 20-30 Jahre alten Betonplatten besteht darin, dass die Prozesse Schwinden und Kriechen des Betons bei der Realisierung neuer Bauvorhaben nicht mehr relevant sind (keine neuen Rissbildungen).

Die im Zuge der Demontage durch das Öffnen der Fugen mitunter hervorgerufenen Ecken- und Kantenabplatzungen am Element haben nur ästhetischen Charakter. Sie können aber vermindert werden, indem sachgemäß und fachgerecht gearbeitet wird. Gleiches trifft für die Ausführung der TUL-Prozesse zu. Einige Rückbaufirmen haben sich in diesem neuen Tätigkeitsfeld qualifiziert und gewährleisten quasi einen gütegesicherten und beschädigungsarmen Rückbau der Elemente. Dies belegen unsere zahlreichen begleitenden Untersuchungen auf den Demontagebaustellen.

Prinzipiell sind alle verbauten Betonelemente wiederverwendungsfähig. Als besonders geeignet ist das Sortiment der Deckenplatten und Wände, v.a. der Innenwände zu bewerten.

Wiederverwendungspotenzial

Um das Bauen mit RC-Betonplatten im osteuropäischen Ausland gezielt anzustoßen und in die Tat umsetzen zu können, ist das Wissen um die Verfügbarkeit anfallender Platten relevant. Da über den Zeitraum des Förderprogramms „Stadtumbau-Ost“ (2002 – 2009) hinausgehend bestehende Wohnungsleerstände abzubauen sind, ist davon auszugehen, dass noch mehrere tausend Betonelemente anfallen werden.

Selbst bei der Erfüllung des gesteckten Ziels im Rahmen des „Stadtumbau-Ost“-Förderprogramms bis 2009 ca. 350.000 Wohneinheiten von über 1 Mio. leerstehender Wohnungen vom Markt zu nehmen, verbleiben noch mehrere tausend Wohnungen, die sukzessive in den kommenden Jahren rückzubauen sind. Wir gehen davon aus, dass gerade Teilrückbauten stärker zunehmen werden, weil die Fördermodalitäten zugunsten des Abbruchs nach Auslaufen des Stadtumbauprogramms entfallen. Bestätigt wird unsere Hypothese durch Aussagen von Vertretern mehrerer Wohnungsgesellschaften. Denn die Anpassung der monostrukturierten, industriell errichteten Wohnungsbestände an individuelle, veränderte Wohnwünsche wird immer notwendiger: nach dem Motto „weniger ist mehr“.

Einsatz gebrauchter Betonelemente zum Hausbau – nachhaltige Beweggründe

Die universellen Gestaltungsvarianten der entwickelten und gebauten Häuser unter Verwendung gebrauchter Betonelemente zeigen, dass trotz geometrischer Vorgaben (Elementeabmessungen) attraktive Lösungen geschaffen und Wohnwünsche erfüllt werden können. Die dabei erzielbaren Kosteneinsparungen für den Rohbau in Höhe von 10 – 30 % sprechen für sich. Unseren ersten Kostenschätzungen zufolge, werden sich bei Wiederverwendungsmaßnahmen im Raum St. Petersburg im Vergleich zu den örtlich neu hergestellten Bauelementen Kosteneinsparungen von 30 % und mehr ergeben. In diese Betrachtung eingeflossen sind die Transportkosten, Zollgebühren und voraussichtliche Zertifizierungskosten. Der Schiffstransport hat sich dabei als die kostengünstigste und ökologisch beste Variante herausgestellt. Allerdings ist damit i.d.R. ein Vor- und Nachlauf mit LKW verbunden. Die erzielbare Kosteneinsparung ist auf der Abnehmerseite (Russland) vom Umfang der Baumaßnahme, der Auslastung der Nutzlast der Transportmittel und von der infrastrukturellen Anbindung der De- und Remontagebaustellen abhängig. Insofern kann erst an einem konkret umgesetzten Pilotvorhaben die tatsächliche Kosteneinsparung nachgewiesen und allgemeingültige Schlussfolgerungen abgeleitet werden – so wie es in der Bearbeitungsphase 2 des Forschungsvorhabens geplant ist.

Angesichts der Tatsache, dass die ökologische Relevanz auch noch in 2.000 km Entfernung gegeben ist, stellt sich selbstverständlich auch die Frage, welchen Vorteil der deutsche Bauherr und das Abbruch-/ Rückbauunternehmen hat, wenn rückgebaute Betonelemente zur Wiederverwendung bereitgestellt werden sollen. Die Antwort liegt auf der Hand, denn in dem Maße, wie rückgebaute Elemente nicht entsorgt werden müssen, d.h. Transport- und Shredderkosten entfallen, können die Gesamtkosten für den Teilrückbau reduziert werden. Hier wird es sich zeigen, wie sich Angebot und Nachfrage am Markt entwickeln werden. Werden Decken-, Innen- und Außenwände eines Plattenbausystems wiederverwendet, so erübrigt sich die Entsorgung der anfallenden Betonmassen um schätzungsweise 40 – 65 %.

Zusammenfassend wird also festgestellt, dass durch die Wiederverwendung gebrauchter Betonelemente wirtschaftliche und ökologische Einsparpotenziale erzielt werden. Gerade im Hinblick der weltweiten Klimadiskussion sollte auch und gerade die Baubranche keine Chance auslassen, Energieressourcen und die daraus resultierenden Emissionen einzudämmen. Allerdings verlangt die Wiederverwendung eine Abkehr vom traditionellen Bauen mit neuen Baumaterialien. D.h. nur ein Umdenken bereits in der Planung schafft dafür die Voraussetzungen. Gefördert werden kann diese nachhaltige Option durch die Unterstützung seitens der Politiker sowie durch Wissenschaft und Forschung. Zu letzteren wollen wir weiterführende Grundlagen schaffen. Die Bearbeitungsphase 2 ist ein 1. Schritt in diese Richtung.

14 Weiterführende Arbeiten

Für die weitere Entwicklung des Wiedereinsatzes sekundärer Betonbauteile und somit dem Durchbruch des Produktrecyclings auf dem Bausektor ist es unabdingbar, Planungssicherheit für Bauherren, Architekten und Bauausführende im Umgang mit Altbetonbauteilen zu schaffen. Entscheidend dafür ist eine Richtlinie oder Normung zum Einsatz dieser Bauteile. Dies kann auf Grundlage der bisherigen und weiteren Ergebnisse zu Bauteil- und Bauausführungsuntersuchungen der Fachgruppe Bauliches Recycling in enger Zusammenarbeit mit Prüfingenieuren, Wissenschaftlern und Vertretern des Bauministeriums – verantwortliche Akteure in Deutschland und Russland - erfolgen. Um die Gütesicherung zu gewährleisten, sollten Prüfkriterien, -umfang und eine Prüfsystematik festgelegt werden, die für die Beurteilung gebrauchter Betonelemente unter Berücksichtigung der Anforderungen in der Sekundärnutzung gelten. Sie soll ein einheitliches Vorgehen bei der Begutachtung sekundärer Betonfertigteile und daraus resultierend eine Zertifizierung der Elemente für den sekundären Einsatz ermöglichen.

Um die Bauteile grenzüberschreitend vermarkten zu können, ist es unabdingbar, die ermittelten Bauteilparameter mit den Anforderungen der jeweils geltenden nationalen Normen abzugleichen. Die Regelungen der europäischen Betonnorm DIN EN 206-1:2001-07 gelten zwar EU-weit, ihre nationale Umsetzung ist jedoch länderspezifisch zu prüfen.

Auch gilt es, die vorhandenen Vorteile des Bauteilrecyclings durch die Umsetzung des geplanten Demonstrationsvorhabens in St. Petersburg deutlicher hervorzuheben und somit das teilweise immer noch relativ schlechte Image von Altbetonbauteilen aufzubessern. Das Altbetonelement muss auch in

den Köpfen der beteiligten Partner und möglicher Abnehmer als hochwertiges Bauprodukt, als Wert, mit vielseitigen Einsatzmöglichkeiten verankert werden.

Parallel zur Bearbeitungsphase des hier vorliegenden Forschungsberichtes wird die Wiederverwendung von RC-Betonelementen in 3-, 4- und 5-geschossigen Mehrfamilienhäusern, Reihen-, Doppel- und Einfamilienhäusern in Polen und Russland vorbereitet. Derzeit werden – wie oben angeführt – intensiv Wiederverwendungsmaßnahmen im Raum St. Petersburg geplant. Dort ist die Gestehung ganzer Wohnsiedlungen vorgesehen. Die Bauerlaubnis an den Standorten Selzo, Vollossova und Fjedorovskoje liegt bereits vor. Nach jetzigem Stand sollen in der 1. Bauphase ca. 2.500 Altbetonelemente für ca. 7.000 m² Wohnfläche eingesetzt werden. Zurzeit bilden deutsche und russische Entwürfe die Grundlagen im Rahmen der Entscheidungsdiskussionen. U.a. werden an der Architektur- und Bauuniversität in St. Petersburg weitere Projekte entwickelt. Grundlage für diese Arbeiten bilden die von der Fachgruppe Bauliches Recycling erarbeiteten Kataloge der Bauserien WBS 70 und P2.

Mit der Umsetzung dieses Vorhabens kann der Startschuss für einen europaweiten Einsatz sekundärer Betonelemente aus dem Rückbau industrieller Bausubstanz erfolgen. Damit wäre ein wichtiger Schritt im Prozess der Entwicklung ressourcen- und umweltschonender und somit nachhaltiger Bauformen eingeleitet. Gehen wir es an!

Abkürzungsverzeichnis

Ab	Abbruch	FZK	Fahrzeugkran
Abb.	Abbildung	GB	Grundbedingung
Abs.	Absatz	ggf.	gegebenenfalls
Abschn.	Abschnitt	H	Höhe
ADK	Autodrehkran	Hrsg.	Herausgeber
AK	Arbeitskraft	HUF	Ungarische Forint
allg.	allgemein	HWL	Holzwolle-Leichtbau
Auf.	Aufbereitung	i.d.R.	in der Regel
Ausl.	Auslastung	i.d.S.	in diesem Sinne
AW	Außenwand	IEMB	Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V.
B	Breite	i.M.	im Mittel
BE	Betonelement	incl.	inklusive
BE	Baustelleneinrichtung	IW	Innenwand
BEP	Büro Entwicklung und Planung	IW	Industrieller Wohnungsbau
bspw.	beispielsweise	K	Kosten
BZ	Badzelle	k.A.	keine Angaben
bzgl.	bezüglich	KG	Kellergeschoss
BZS	Bauzustandsstufe	Kita	Kindertagesstätte
bzw.	beziehungsweise	KMF	künstliche Mineralfasern
ca.	circa	KV	kombinierter Verkehr
CZK	Tschechische Kronen	Konv.	konventionell
D	Dicke	L	Länge
d.h.	das heißt	lfdm.	laufender Meter
De	Demontage	LGBW	Leichte Geschossbauweise Cottbus
DG	Dachgeschoss	li.	links
DKP	Dachkassettenplatte	LKW	Lastkraftwagen
DP	Deckenplatte	Log	Loggia
E	Energieaufwand	LoLo	Lift-on-Lift-off
EFH	Einfamilienhaus	LS	Lehrstuhl
EG	Erdgeschoss	lt.	laut
einschl.	einschließlich	Ltf.	Leitfaden
El.	Element	max	maximal
EM	Emissionen	Meckl.-Vorp.	Mecklenburg/Vorpommern
entspr.	entsprechend / entspricht	MFH	Mehrfamilienhaus
EQ-…	Einheitsquerroll-…	mi.	Mitte
et.al.	et alterae (und andere)	min	minimal
etc.	et cetera	min	Minute
FG	Fachgruppe	Mio.	Millionen
FoPo	Forschungsprojekt	MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe

MP	Messpunkt	Std.	Stunde
Mp	Megapond	T	Transport
Mrd.	Milliarden	TA	Teilabschnitt
MwSt.	Mehrwertsteuer	Tab.	Tabelle
n	Anzahl	TDK	Turmdrehkran
n.b.	nicht bekannt / nicht bestimmt	teilw.	teilweise
n.e.	nicht erfüllt / nicht ermittelt	TGL	Technischen Güte- und Lieferbedingungen in der DDR
n.v.	nicht vorhanden	Trapo	Transport
NG	Normalgeschoss	Tre	Treppenlauf
o.a.	oben aufgeführt / oder anderes	TRK	Technische Richtkonzentration
o.ä.	oder ähnliches	TUL	Transport-, Umschlag- und Lagerprozesse
o.g.	oben genannt	TW	Trennwand
OG	Obergeschoss	u.a.	und andere
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	u.ä.	und ähnliche
PEI	Primärenergieinhalt	u.E.	unseres Erachtens
Pkt.	Punkt	u.R.	umbauter Raum
Po	Podest	u.v.a.	und viele andere
PSA	Persönliche Schutzausrüstung	usw.	und so weiter
PVC	Polyvinylchlorid	v.	vom
RC	Recycling	v.a.	von allen / vor allem
rd.	rund	Var.	Variante
Re	Remontage	v.l.	von links
re.	rechts	v.l.n.r.	von links nach rechts
resp.	respektive	v.r.	von rechts
RoRo	Roll-on-Roll-off	VEB	Volkseigener Betrieb
Rub.	Russischer Rubel	vgl.	vergleiche
s.	siehe	WBK	Wohnungsbaukombinat
S.	Seite	WBS	Wohnbauserie
Sa.	Sachsen	WBS 70	Wohnbauserie 70
sec	Sekunde	WE	Wohneinheiten
SIT	Slowenische Tolar	Wfl.	Wohnfläche
SKK	Slowakische Kronen	WGK	Wassergefährdungsklasse
sog.	so genannt	WV	Wiederverwendung
spez.	spezifisch	z.B.	zum Beispiel
spezif.	spezifisch	z.T.	zum Teil
SRC	stoffliches Recycling / stoffliche Verwertung	zul.	zulässig
Stck.	Stück		

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 : Deutschlandweite Darstellung der Leerstandsquoten in Geschosswohnungen 2006 13
Abb. 2 : Wohnungsleerstand in den Stadtumbaukommunen 2002 und 2005 im Vergleich nach Ländern 13
Abb. 3 : Wohnungsleerstand in den Stadtumbaukommunen 2005 nach Gebietstypen 14
Abb. 4 : Bewertung der Wohnungsnachfrage in den Stadtumbaukommunen (bis 2017) 14
Abb. 5 : Entwicklung des Wohnungsleerstandes und Anzahl der Wohneinheiten (in 1.000) 17
Abb. 6 : Geförderter Rückbau nach Baualtersklassen der Rückbauobjekte zwischen 2002-2005 18
Abb. 7 : Geförderter Rückbau (Anzahl der Wohnungen) 2000 – 2006 (Ist-Stand) sowie 2006 – 2013 (Plan-Soll) 19
Abb. 8 : Anzahl der neu gebauten Wohnungen in Russland (in 1.000) und deren Anteile entsprechend der durchschnittlichen Größe) 24
Abb. 9 : Entwicklung des russischen Wohnungsbestandes nach Eigentumsformen 25
Abb. 10 : Osteuropa im Überblick 26
Abb. 11 : Durchschnittliche Anzahl der Personen je Haushalt in ausgewählten osteuropäischen Ländern und Deutschland 27
Abb. 12 : Durchschnittliche Wohnfläche je Personen in ausgewählten osteuropäischen Ländern und Deutschland 28
Abb. 13 : Vergleich der erforderlichen Wohnungsproduktion zur Angleichung der Wohnversorgung an EU-15-Verhältnisse ausgewählter osteuropäischer Länder 29
Abb. 14 : Vergleich der Baukosten als Vielfaches des Jahreseinkommens ausgewählter osteuropäischer Länder und Deutschland 31
Abb. 15 : Räumliche Darstellung eines PN 36-NO-Segmentes (Rohbaumontage), Eingangsseite 42
Abb. 16 : Räumliche Darstellung eines PN 36-NO-Segmentes (Rohbaumontage), Rückseite 43
Abb. 17 : Normalgeschossgrundriss eines 16,80 m breiten PN 36-NO-Segmentes 43
Abb. 18 : Wohnblock der Typenserie PN 36-NO (Standort Eggesin) 44
Abb. 19 : Räumliche Darstellung eines P2-Segments 50
Abb. 20 : Eingangsseite eines P2-Wohnblocks (Standort Cottbus) 50
Abb. 21 : Grundriss Normalgeschoss – Segment der Plattenbauserie P2 (5,0 t) 50
Abb. 22 : Geschlossenes Fugensystem 59
Abb. 23 : Offenes Fugensystem 59
Abb. 24 : Ringankerbewehrung und Verbindung Außenwände - Innenwände 60
Abb. 25 : Verbindung Decke – Decke, quer zur Spannrichtung 60
Abb. 26 : Verbindung Decke – Decke, längs zur Spannrichtung 60
Abb. 27 : Prinzipdarstellung eines Segments der Typenserie WBS 70 6,3t (Standort Templin) 64
Abb. 28 : Räumliche Prinzipdarstellung der WBS 70-Montagebauweise 64
Abb. 29 : Gebäude der Typenserie WBS 70/11 (Standort Berlin-Marzahn) 64
Abb. 30 : Segmentgrundriss eines WBS 70-Wohngebäudes 65
Abb. 31 : Auswahl an Wandelementen und Maßsystem 68

Abb. 32 : Schematische Darstellung der Lage der Schweißverbindungen zwischen den Fertigteilen 77
Abb. 33 : Möglichkeiten zur optimalen Nachnutzung von Gebäuden und baulichen Anlagen 81
Abb. 34 : Grundbedingungen der Wiederverwendungseignung 82
Abb. 35 : Untersuchungsprogramm Bauzustand Betonelemente 83
Abb. 36 : Häufigkeitsdiagramm ermittelter Druckfestigkeitswerte für Spannbetondeckenplatten P2 und WBS 70 95
Abb. 37 : Häufigkeitsdiagramm ermittelter Druckfestigkeitswerte für Innenwandelemente P2 und WBS 70 95
Abb. 38 : Entwicklung der Karbonatisierungstiefe in Abhängigkeit von der Festigkeitsklasse und der Zeit 97
Abb. 39 : Darstellung eines Bohrkerns (Deckenelement WBS 70, Dresden) nach der Bestimmung der Karbonatisierungstiefe – hier: alkalische (unversehrte) Bereiche mit violetter Verfärbung ... 97
Abb. 40 : Darstellung der Karbonatisierungstiefe der Deckenplatten des Typs WBS 70 98
Abb. 41 : Karbonatisierungstiefe der Innenwände des Typs WBS 70 99
Abb. 42 : Karbonatisierungstiefe der Außenwände des Typs WBS 70..... 100
Abb. 43 : Darstellung der Karbonatisierungstiefe der Deckenplatten des Typs P2 100
Abb. 44 : Darstellung der Karbonatisierungstiefe der Innenwände des Typs P2..... 101
Abb. 45 : Karbonatisierungstiefe der Außenwände des Typs P2 102
Abb. 46 : Maßgebliche Expositionsklassen im Wohngebäudebau 104
Abb. 47 : Hilti-Ferroscan-System FS 10 zur Ermittlung der Betondeckung 106
Abb. 48 : Graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung der vorhandenen mittleren Betondeckung c von 32 Spannbetondeckenplatten des Typs WBS 70..... 107
Abb. 49 : Graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung der vorhandenen mittleren Betondeckung c von 52 Spannbetondeckenplatten des Typs P2 108
Abb. 50 : Graphische Darstellungen der Häufigkeitsverteilung der vorhandenen mittleren Betondeckung c von 37 schlaff bewehrten Deckenplatten der Typenserie P2 109
Abb. 51 : Graphische Darstellungen der Häufigkeitsverteilung der vorhandenen mittleren Betondeckung c von 50 Innenwänden der Typenserie P2 110
Abb. 52 : Graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung der vorhandenen mittleren Betonfestigkeit c von 23 Geschoßdecken des Bautyps PN 36-NO..... 111
Abb. 53 : Zwischengelagerte Deckenplatten im Außenbereich 118
Abb. 54 : Belastungsanordnung und Einrichtung Spannbetondeckenplatte 22 006 (li.) und Versuchseinrichtung (re.)..... 119
Abb. 55 : Lage der Krafteinleitungslinien und Messstellen zur Untersuchung des Tragverhaltens... 120
Abb. 56 : Dehnmessstreifen in der Zugzone (li.); freigelegter Bereich zur Ermittlung der Dehnung des Spannstahles unter Lasteinwirkung (mi.); Messung der Querkraftspannung (re.) 120
Abb. 57 : Last-Zeit-Diagramm, anlehnend an DIN EN 1356: 1997-2..... 121
Abb. 58 : Kraft-Weg-Diagramm Spannbetondeckenplatte 1, Elemente-Nr. 22006..... 122
Abb. 59 : Kraft-Dehnungs-Diagramm Spannbetondecke 1, Elemente-Nr. 22006 123
Abb. 60 : Kraft-Dehnungs-Diagramm Spannbetondecke 1, Elemente-Nr. 22006 124
Abb. 61 : Last-Zeit-Diagramm anlehnend an DIN EN 1356: 1997-02..... 125

Abb. 62 : Kraft-Weg-Diagramm Stahlbetondecke 2, Elemente-Nr. 21 120 126
Abb. 63 : Kraft-Dehnungs-Diagramm Stahlbetondecke 2, Elemente-Nr. 21 120 126
Abb. 64 : Kraft-Weg-Diagramm Stahlbetondecke 3, Elemente-Nr. 21 120 127
Abb. 65 : Kraft-Dehnungs-Diagramm Stahlbetondecke 3, Elemente-Nr. 21 120 127
Abb. 66 : Infrarotaufnahmen einer Gebäuderückseite (li.); Anschluss Giebelaußenwand-Kellerdecke EG im Kinderzimmer (re. oben), im Bad (re. unten) 136
Abb. 67 : Infrarotaufnahmen Anschluss Giebelaußenwand-Kellerdecke EG im Wohnzimmer 136
Abb. 68 : Typische Wärmebrücken und Luftundichtheiten an Fensteranschlüssen mit Bestandsfenstern 137
Abb. 69 : Infrarotaufnahmen Außenwandecke Kinder- (li.) und Wohnzimmer (re.), oberstes Wohngeschoss 137
Abb. 70 : Exemplarische Darstellung der Messpunkte und des Belastungsplanes zur Untersuchung des Feuerwiderstandes – Spannbetondeckenplatte 21000 141
Abb. 71 : Brandraum (li.) und Simulation Belastung (re.) 141
Abb. 72 : Prüfanordnung / Lage der Brandraummessstellen – Spannbetondeckenplatte 21000 142
Abb. 73 : Temperaturerhöhung auf der unbeflammten Deckenoberfläche – Spannbetondeckenplatte 21000 (Probe I) 143
Abb. 74 : Durchbiegung in Richtung Brandraum – Spannbetondeckenplatten 21000 (P2-Typ) 144
Abb. 75 : Durchbiegung in Richtung Brandraum – Stahlbetondeckenplatten21119, 21120 (P2-Typ) 144
Abb. 76 : Vergleich der Anteile der Bauzustandstufen der Bauteile vor der Demontage (Fallbeispiel) 147
Abb. 77 : Vergleich der Anteile der Bauzustandstufen der Bauteile nach der Demontage (Fallbeispiel) 147
Abb. 78 : Vergleich der Anteile der Bauzustandstufen der Bauteile nach dem Transport (Fallbeispiel) 151
Abb. 79 : Zusammenstellung der Ergebnisse der Bauzustandsuntersuchungen über den gesamten Rückbauprozess (Fallbeispiel Gröditz) 152
Abb. 80 : Übersichtskarte wichtiger Eisenbahn- und Straßenstrecken 179
Abb. 81 : Drehgestellflachwagen mit vier Radsätzen der Güterwagengattung R 180
Abb. 82 : Drehgestellflachwagen mit sechs Radsätzen der Güterwagengattungen S 182
Abb. 83 : Ladeprofil für den liegenden und stehenden Transport von Betonfertigteilen 183
Abb. 84 : Übersichtskarte der "Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes" 186
Abb. 85 : Übersichtskarte europäischer Wasserstraßen 187
Abb. 86 : Temporäre Umschlaganlagen WSA Dresden 188
Abb. 87 : Zerlegbare Bündelrahmen 190
Abb. 88 : A-Bock 191
Abb. 89 : Ausfahrpaletten im Betonwerk Hoyerswerda 192
Abb. 90 : 40’ Open Top-Container (li), 20’ (mi) und 40’ (re) Flats 193
Abb. 91 : RoRo-Zugmaschine MAFI mit einem Rolltrailer 195
Abb. 92 : Rolltrailer mit 70 t max. Zuladung 195

Abb. 93 : Überblick über die geeigneten Kombinationsmöglichkeiten für den Transport gebrauchter Betonfertigteile 196
Abb. 97 : CargoLifter CL 160 (Computersimulation) 200
Abb. 98 : Mögliche Einsatzbereiche zur Nachnutzung von gebrauchten Betonbauteilen [METTKE] .. 201
Abb. 99 : Entwicklung der Rückbaukosten 212
Abb. 101 : Transportwege und –varianten für einen Bauteiltransport nach St. Petersburg 220
Abb. 102 : Darstellung möglicher Transportvarianten für einen Bauteiltransport nach St. Petersburg 220
Abb. 103 : Abhängigkeit der LKW-Transportkosten von der Transportentfernung 224
Abb. 104 : Abhängigkeit der Bahn-Transportkosten von der Transportentfernung 226
Abb. 105 : Abhängigkeit der Binnenschiff-Transportkosten von der Transportentfernung 227
Abb. 106 : Abhängigkeit der See-Transportkosten von der Transportentfernung 229
Abb. 107 : Abhängigkeit der Transportkosten von den Transportmitteln mit Bauteilumschlag 229
Abb. 108 : Vergleich der Kosten der verschiedenen Transportkombinationen 241
Abb. 109 : Vergleich der Neuteilpreise für Betonbauteile in Deutschland und Russland 245
Abb. 110 : Preisentwicklung für Betonelemente hergestellt in St. Petersburg (exkl. MwSt.) 246
Abb. 111 : Vergleich der Preise für Betonelemente hergestellt in St. Petersburg und den Transportkosten für sekundäre Betonbauteile aus Deutschland (ohne Bereitstellungs- und Prüfkosten) 248
Abb. 112 : Vergleich der Preise für Betonelemente hergestellt in St. Petersburg und den Kosten für den Einsatz sekundärer Betonbauteile aus Deutschland (mit Bereitstellungs- und Prüfkosten) 249
Abb. 113 : Vergleich der Remontagekosten mit den Kosten konventioneller Bauweisen zur Herstellung eines Quadratmeters Deckenfläche in Deutschland 252
Abb. 114 : Vergleich der Remontagekosten mit den Kosten konventioneller Bauweisen zur Herstellung eines Quadratmeters Innenwandfläche in Deutschland 253
Abb. 115 : Vergleich der Remontagekosten mit den Kosten konventioneller Bauweisen zur Herstellung eines Quadratmeters Außenwandfläche in Deutschland 253
Abb. 116 : Vergleich der Kosten für die Montage von neuen Wandelementen mit den Remontagekosten sekundärer Bauteile in Abhängigkeit der Transportentfernung (LKW) in Deutschland (beachte. verzerrte Darstellung der Transportentfernung) 254
Abb. 117 : Vergleich der Kosten für die Montage von neuen Deckenelementen mit den Remontagekosten sekundärer Bauteile in Abhängigkeit der Transportentfernung (LKW) in Deutschland (beachte. verzerrte Darstellung der Transportentfernung) 255
Abb. 118 : Vergleich der Außenwandausführung in Poroton-Mauerwerk mit den Remontagekosten sekundärer Bauteile in Abhängigkeit der Transportentfernung (LKW) in Deutschland (beachte. verzerrte Darstellung der Transportentfernung) 255
Abb. 119 : Vergleich der Innenwandausführung in Poroton-Mauerwerk mit den Remontagekosten sekundärer Bauteile in Abhängigkeit der Transportentfernung (LKW) in Deutschland (beachte. verzerrte Darstellung der Transportentfernung) 256

Abb. 120 : Vergleich der Deckenausführung in Ortbeton mit den Remontagekosten sekundärer Bauteile in Abhängigkeit der Transportentfernung (LKW) in Deutschland (beachte. verzerrte Darstellung der Transportentfernung) ... 256
Abb. 121 : Darstellung des Szenario 1 – Wiederverwendung von Betonbauteilen ... 258
Abb. 122 : Darstellung des Szenario 2 – stoffliche Aufbereitung aller rückgebauten Betonbauteile und konventioneller Neubau ... 258
Abb. 123 : Vergleich der Szenarien 1 und 2 ... 260
Abb. 124 : Gebäudelebenszyklus ... 261
Abb. 125 : Bilanzebenen einer Produktökobilanz von Gebäuden ... 262
Abb. 126 : Systemgrenzen des Öko-Screenings Szenario 1 ... 264
Abb. 127 : Systemgrenzen des Öko-Screenings Szenarien 2 und 3 ... 264
Abb. 128 : Vergleich der Energieaufwendungen für die Demontage und den Abbruch von einer Tonne Betonbauteile ... 267
Abb. 129 : Vergleich der Energieaufwendungen für die Demontage und den Abbruch von einer Tonne Betonbauteile ... 269
Abb. 130 : Grafische Darstellung der Zusammenstellung der ermittelten Energieaufwendungen für eine Tonne Betonbauteile ... 271
Abb. 131 : Vergleich der ermittelten Gesamtenergieaufwände der einzelnen Szenarien ... 274
Abb. 132 : Vergleich der SO_2-Emissionen für Demontage und Abbruch einer Tonne Betonbauteile 277
Abb. 133 : Vergleich der NO_X-Emissionen für Demontage und Abbruch einer Tonne Betonbauteile 277
Abb. 134 : Vergleich der CO_2-Emissionen für Demontage und Abbruch einer Tonne Betonbauteile 278
Abb. 135 : Grafische Gegenüberstellung der ermittelten energetisch bedingten SO_2-Emissionen der einzelnen Szenarien ... 284
Abb. 136 : Grafische Gegenüberstellung der ermittelten energetisch bedingten NO_X-Emissionen der einzelnen Szenarien ... 284
Abb. 137 : Grafische Gegenüberstellung der ermittelten energetisch bedingten CO_2-Emissionen der einzelnen Szenarien ... 285
Abb. 138 : Perspektivische Darstellung des Einfamilienhauses – Variante 1 (Generationenhaus) ... 290
Abb. 139 : Perspektivische Darstellung des Einfamilienhauses – Variante 2 (mit Dachterrasse) ... 290
Abb. 140 : Grundrisse des Einfamilienhauses Kellergeschoss (li.), Erdgeschoss (re.) ... 291
Abb. 141 : Grundrisse des Einfamilienhauses Obergeschoss - Variante 1und 2 (v.l.n.r) ... 291
Abb. 142 : Schnitte des Einfamilienhauses - Variante 1und 2; Perspektive Wohnraum (v.l.n.r) ... 291
Abb. 143 : Musterhaus, Vorderansicht oben, Hinteransicht unten ... 292
Abb. 144 : Grundriss des Musterhauses ... 293
Abb. 145 : Alternativen zur Gestaltung der Raumhöhe durch Fußbodenaufbau, Sockel, Wärmedämmung (v.l.n.r.) ... 294
Abb. 146 : Grundrisse der Shell-Haus-Konstruktionen. eingeschossig (li.), zweigeschossig EG (mi.) OG (re.) ... 295
Abb. 147 : Modell der Shell-Haus-Konstruktionen. eingeschossig ... 295
Abb. 148 : Grundrisse der Doppelhaus-Konstruktion ... 296
Abb. 149 : Modell der Doppelhaus-Konstruktion ... 296

Abb. 150 : Grundrisse der Reihenhaus-Konstruktion ... 296
Abb. 151 : Modell der Reihenhaus-Konstruktion ... 297
Abb. 152 : Ein- und zweigeschossigen Variante – EFH ... 298
Abb. 153 : Grundriss der eingeschossigen Variante (98 m²) (li.) sowie des Erd- (93 m²) und Obergeschosses (84 m²) der zweigeschossigen Variante – EFH ... 298
Abb. 154 : Rohbauzustand – EFH ... 298
Abb. 155 : Doppelhaus in Eggesin ... 299
Abb. 156 : Zweifamilienhaus in Bröthen ... 299
Abb. 157 : Stadtvillen in Cottbus, Sachsendorf ... 300
Abb. 158 : Rohbau-Einfamilienhaus in Mehrow, bei Berlin ... 300
Abb. 159 : Einfamilienhaus in Plauen ... 301
Abb. 160 : Einfamilienhaus in Leinefelde ... 301
Abb. 161 : Mehrfamilienhaus in Mühlhausen ... 302
Abb. 162 : Vereinshaus Sportverein 1911Gröditz e.V. - Modell ... 303
Abb. 163 : Vereinshaus Gröditz zwischengelagerte Platten (li.), Betonieren der Frostschürze (re.). 304
Abb. 164 : Vereinshaus VFC Plauen e.V. - Planung ... 304
Abb. 165 : Rückbau, Transport und Zwischenlagerung der sekundären Bauteile - Vereinshaus Plauen ... 305
Abb. 166 : Remontage der Wandelemente eines Segmentes - Vereinshaus Plauen ... 305
Abb. 167 : Zwischenbauzustände der Remontage eines Segmentes - Vereinshaus Plauen ... 305
Abb. 168 : Fassadengestaltung - Vereinshaus Plauen ... 306
Abb. 169 : Innenausbau - Vereinshaus Plauen ... 306
Abb. 170 : Fertiggestellte Segmente - Vereinshaus Plauen ... 306
Abb. 171 : Raumplanung - Vereinshaus Kolkwitz ... 307
Abb. 172 : Geplante Wiederverwendung von Betonfertigteilen - Vereinshaus Kolkwitz ... 307
Abb. 173 : Altes Vereinsgebäude (li.), Spendergebäude (mi.), Zwischenlager (re.) - Vereinshaus Kolkwitz ... 308
Abb. 174 : Entwurf eines Bürogebäudes Ansicht (li.) Schnitt (re.) ... 308
Abb. 175 : Entwurf eines Bürogebäudes Grundriss (li.) Deckenverlegeplan (re.) ... 309
Abb. 176 : Entwurfsidee zum Gästehaus mit Café von Prof. Jo Ackermann, Ayse Hicsasmaz, Heinrich Weid ... 310
Abb. 177 : Modellfoto zum Entwurf Gästehaus mit Café von Prof. Jo Ackermann, Ayse Hicsasmaz, Heinrich Weid ... 310
Abb. 178 : Modellfoto zum Entwurf Gästehaus mit Café von Minka Kersten, Andreas Kopp ... 311
Abb. 179 : Modellfoto einer Baueinheit als Pavillon (li.); Explosionsperspektive (re.) ... 312
Abb. 180 : Grundriss einer Baueinheit und mögliche Anordnungen mehrerer Baueinheiten ... 312
Abb. 181 : Entwurf einer Raststätte aus einer Baueinheit als quadratische Variante, mehreren Baueinheiten als Längsvariante ... 312

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Im Rahmen des Stadtumbaus realisierter Rückbau von Wohnungen in den ostdeutschen Bundesländern und Berlin 15
Tab. 2 : Strukturdaten der Bauwirtschaft in der Tschechischen Republik 21
Tab. 3: Strukturdaten der Bauwirtschaft für Rumänien 23
Tab. 4: Wohnungsbestand ausgewählter osteuropäischer Länder in Vergleich zu Deutschland (Status zwischen 2001 und 2004 27
Tab. 5: Wohnungsbestand ausgewählter osteuropäischer Länder in Vergleich zu Deutschland (Status zwischen 2001 und 2004) 28
Tab. 6: Baukosten einer durchschnittlichen Neubauwohnung im Verhältnis zum Einkommen 31
Tab. 7: Übersicht zu den Bauweisen des industriellen Wohnungsbaus der DDR 37
Tab. 8: Anwendungszeitraum und Häufigkeit der wichtigsten Typenserien im Fertigteilbau (Block-, Streifen- und Plattenbauweise von 1958 – 1990) 38
Tab. 9: Übersicht über die in den verschiedenen Typenserien errichteten Wohnungen 38
Tab. 10: Charakteristik der Plattenbauweise PN 36-NO 41
Tab. 11: Außenwandelemente der Plattenbauart PN 36-NO 44
Tab. 12: Innenwandelemente im Normalgeschoss der Plattenbauart PN 36-NO 45
Tab. 13: Innenwandelemente im Kellergeschoss der Plattenbauart PN 36-NO 45
Tab. 14: Trennwandelemente im Normalgeschoss der Plattenbauart PN 36-NO 45
Tab. 15: Trennwandelemente im Kellergeschoss der Plattenbauart PN 36-NO 46
Tab. 16: Geschossdeckenelemente der Plattenbauart PN 36-NO 46
Tab. 17: Treppenbauteile der Plattenbauart PN 36-NO 46
Tab. 18: Dachplattenelemente der Plattenbauart PN 36-NO 47
Tab. 19: Drempelelemente der Plattenbauart PN 36-NO 47
Tab. 20: Loggiaelemente der Plattenbauart PN 36-NO 47
Tab. 21: Charakteristik der Plattenbauweise P2 49
Tab. 22: Giebelwände im Normalgeschoss der Plattenbauweise P2 52
Tab. 23: Außenlängswände im Normalgeschoss der Plattenbauweise P2 53
Tab. 24: Kelleraußenwände der Plattenbauweise P2 53
Tab. 25: Tragende Längsinnenwände im Normalgeschoss der Plattenbauweise P2 54
Tab. 26: Tragende Längsquerwände im Normalgeschoss der Plattenbauweise P2 54
Tab. 27: Tragende Längsinnenwände im Kellergeschoss der Plattenbauweise P2 55
Tab. 28: Tragende Längsquerwände im Kellergeschoss der Plattenbauweise P2 55
Tab. 29: Trennwände im Normalgeschoss der Plattenbauweise P2 55
Tab. 30: Geschossdeckenelemente der Plattenbauweise P2 56
Tab. 31: Drempelelemente der Plattenbauweise P2 57
Tab. 32: Dachelemente der Plattenbauweise P2 57
Tab. 33: Loggiaelemente der Plattenbauweise P2 58
Tab. 34: Ausgewählte bezirkliche Varianten 62

Tab. 35: Charakteristik der Plattenbauweise WBS 70 (6,3t) 63
Tab. 36: Aufbau einer dreischichtigen Außenwandplatten der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t) 66
Tab. 37: Außenwandelemente im Kellergeschoss der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t) 67
Tab. 38: Außenwandelemente im Normalgeschoss der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t) 67
Tab. 39: Giebeleckelemente im Normalgeschoss der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t) 68
Tab. 40: Innenwandelemente im Normalgeschoss der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t) 70
Tab. 41: Geschossdeckenelemente der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t) mit einer Deckenspannrichtung in Längsrichtung 71
Tab. 42: Geschossdeckenelemente der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t) mit einer Deckenspannrichtung in Querrichtung 72
Tab. 43: Treppenelemente der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t) 73
Tab. 44: Kennwerte einer Sanitärraumzelle der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t) 74
Tab. 45: Dachelemente der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t) 75
Tab. 46: Loggiaelemente der Plattenbauweise WBS 70 (6,3 t) 76
Tab. 47: Entscheidungsstufen 81
Tab. 48: Rissursachen 88
Tab. 49: Arten, Erscheinungsformen und Merkmale der verschiedenen Rissformen in Folge von äußeren Kräften oder Zwang 88
Tab. 50: Rissursachen und -arten 89
Tab. 51: Anforderungen an die Begrenzung der Rissbreite nach DIN 1045-1, Abschnitt 11.2 90
Tab. 52: Zulässige Rissbreiten für Stahlbeton 90
Tab. 53: Gegenüberstellung der Mindest-Betonfestigkeitsklassen entsprechend der Projektierungsunterlagen und der geltenden Norm DIN EN 206-1:2001-07 92
Tab. 54: Anforderungen an Mindest-Betonfestigkeitsklassen lt. Projektierung angepasst an DIN EN 206-1:2001-07 für die untersuchten Wohnungsbauserien 93
Tab. 55: Ergebnisse der Auswertung der Betondruckfestigkeitsuntersuchungen nach DIN 1048-4:1991-06 94
Tab. 56: Karbonatisierungstiefen, Betonalter und Standort bei Deckenplatten des Typs WBS 70 98
Tab. 57: Karbonatisierungstiefen, Betonalter und Standort bei Innenwänden des Typs WBS 70 99
Tab. 58: Karbonatisierungstiefen, Betonalter und Standort bei Außenwänden des Typs WBS 70 99
Tab. 59: Karbonatisierungstiefen, Betonalter und Standort bei Deckenplatten des Typs P2 100
Tab. 60: Karbonatisierungstiefen, Betonalter und Standort bei Innenwänden des Typs P2 101
Tab. 61: Karbonatisierungstiefen, Betonalter und Standort bei Außenwänden des Typs P2 101
Tab. 62: Maßgebliche Expositionsklasse und resultierende Mindestbetondeckung 104
Tab. 63: Übersicht der Untersuchungsergebnisse zur Betondeckung 111
Tab. 64: Vergleich der Untersuchungsergebnisse zur Betondeckung und Karbonatisierung 112
Tab. 65: Überblick über die geprüften Altbetonplatten – rechnerische und experimentelle Nachweise zur Trag- und Nutzungsfähigkeit 112
Tab. 66: Im ausgebauten Zustand / offside belastete Deckenplatten 113
Tab. 67: Im eingebauten Zustand / in situ belastete Deckenplatten 114
Tab. 68: Lastannahmen 115

Tab. 69: Spannbetondecken – Ergebnisse der rechnerischen Nachweise zur Tragfähigkeit 116
Tab. 70: Deckenplatten im Geltungsbereich der Bewertung..... 117
Tab. 71: Bewertung der Tragfähigkeit ausgewählter Stahlbetondeckenplatten nach DIN 1045-1 117
Tab. 72: Ergebnisse der Beprobungen bzgl. Permeabilität, totale Porosität, Wassereindringtiefe, Karbonatisierungstiefe 129
Tab. 73: Anforderungen und Ist-Werte zum Luft- und Trittschallschutz für Bauteile des P2-Typs (Standardkonstruktion) 132
Tab. 74: Wärmeschutz – Bewertung der Bestandssituation 135
Tab. 75: Feuerwiderstandsklassen nach DIN 4102-4:2004-11..... 140
Tab. 76: Ergebnisse der Brandversuche..... 143
Tab. 77: Schadensbilder von demontierten Deckenplatten der WBS 70..... 155
Tab. 78: Schadensbilder von demontierten Deckenplatten der WBS 70..... 156
Tab. 79: Schadensbilder von demontierten Innenwandelementen der WBS 70 157
Tab. 80: Schadensbilder von demontierten Außenwandelementen der WBS 70..... 158
Tab. 81: Synopse der Vor- und Nachteile von Oberflächenschutzsystemen..... 163
Tab. 82: Rissfüllspezifische Anwendungen für Injektionen nach Instandsetzungs-Rili 164
Tab. 83: Instandsetzungsmaßnahmen bei typischen Bauschäden im Plattenbau 166
Tab. 84: Übersicht einiger Fahrzeuge, geeignet für den Fertigteiltransport..... 174
Tab. 85: Übersicht von Güterwagentypen der Gattung R 180
Tab. 86: Übersicht von Güterwagentypen der Gattung S 182
Tab. 87: Anhang zu Abbildung 81 187
Tab. 88: Container und Abmessungen..... 193
Tab. 89: Montagefolge der Nass- und Trockenmontage bei Wandkonstruktion (TGL 22720/02) 205
Tab. 90: Vorschlag einer Remontageanleitung für Wandbauteile..... 207
Tab. 91: Vorschlag einer Remontageanleitung für Deckenbauteile..... 208
Tab. 92: Ermittelte Rückbaukosten je Quadratmeter Rückbaufläche an untersuchten Fallbeispielen212
Tab. 93: Ermittelte Rückbaukosten je Quadratmeter Bauteilfläche am untersuchten Fallbeispiel 213
Tab. 94: Ermittelte Abbruchkosten je Quadratmeter Bauteilfläche am untersuchten Fallbeispiel 214
Tab. 95: Ergebnisse der Preisrecherche zu Bauzustandsuntersuchungen Febr. 2005 216
Tab. 96: Aufarbeitungskosten nach Baukostenkatalog 2006..... 218
Tab. 97: Ergebnisse der Nachkalkulation der Be- und Entladevorgänge am Fallbeispiel 221
Tab. 98: Ergebnisse der Nachkalkulation der Be- und Entladevorgänge am Fallbeispiel 222
Tab. 99: Ergebnisse der Nachkalkulation der Be- und Entladevorgänge am Fallbeispiel 222
Tab. 100: Ergebnisse der Recherchen zu LKW-Transportkosten 223
Tab. 101: Ergebnisse der Recherchen zu Bahn-Transportkosten..... 225
Tab. 102: Ergebnisse der Recherchen zu Binnenschiff-Transportkosten..... 227
Tab. 103: Ergebnisse der Recherchen zu See-Transportkosten..... 228
Tab. 104: Elementesortiment für den Transport nach St. Petersburg 230
Tab. 105: Vergleich der Kosten der verschiedenen Transportkombinationen..... 240
Tab. 106: Übersicht zu Remontagekosten von Wand- und Deckenelementen verschiedener Wiederverwendungsprojekte 243

Tab. 107: Neuteilpreise in Deutschland – Umfrage vom Februar 2007 der FG Bauliches Recycling 244
Tab. 108: Neuteilpreise in Russland von 2007 244
Tab. 109: Ausführungskosten des Neubaus in konventionellen Bauweisen 247
Tab. 110: Überschlagsrechnung zum Vergleich des Baus eines EFH mit Neuteilen und RC-Bauteilen in Russland 248
Tab. 111: Übersicht der ermittelten Einzelpositionskosten 250
Tab. 112: Kosten der Remontage sekundärer Bauteile 251
Tab. 113: Vergleich der Remontagekosten mit den Kosten konventioneller Bauweisen zur Herstellung eines Quadratmeters Wand- oder Deckenfläche (vgl. Tab. 109, Tab. 106)..... 252
Tab. 114: Übersicht der ermittelten Einzelpositionskosten 259
Tab. 115: Übersicht der ermittelten durchschnittlichen Einzelpositionskosten bezogen auf den Quadratmeter Bauteilfläche 260
Tab. 116: Bewertungsgrundlagen von Produktökobilanzen..... 261
Tab. 117: Materialeinsparung durch die Wiederverwendung Betonbauteilen zur Errichtung einer Wohneinheit 265
Tab. 118: Energetischer Inhalt der Alt-/RC-Betonelemente – dargestellt für eine WE 266
Tab. 119: Energetischer Aufwand für die Demontage und den Abbruch..... 267
Tab. 120: Durchschnittlicher Energiebedarf für Teile einer Aufbereitungsanlage für mineralische Bauabfälle 268
Tab. 121: Gesamtenergiebedarf für die stoffliche Aufbereitung..... 268
Tab. 122: Energieaufwände der verschiedenen Transportmittel 269
Tab. 123: Energiebedarf für den LKW-Transport: Demontage- bzw. Abbruchstelle – RC-Anlage..... 270
Tab. 124: Energiebedarf für den LKW-Transport der Betonfertigteilelemente in Vorbereitung der Wiederverwendung resp. Neuteilproduktion 270
Tab. 125: Energiebedarf der Transportkombination b) (RoRo-Fähre mit Trailer) inkl. Vor- und Nachlauf für die Wiederverwendung der Bauteile 1 WE in St. Petersburg 270
Tab. 126: Zusammenstellung der ermittelten Energieaufwände je Tonne Bauteil 271
Tab. 127: Berechnung des Gesamtenergieaufwandes für das Szenario 1 272
Tab. 128: Berechnung des Gesamtenergieaufwandes für das Szenario 2 273
Tab. 129: Berechnung des Gesamtenergieaufwandes für das Szenario 3 273
Tab. 130: Gegenüberstellung der ermittelten Gesamtenergieaufwände der einzelnen Szenarien 274
Tab. 131: Berechnung des Energieaufwandes für die Szenarien 1 und 3 für eine Tonne Bauteil (vgl. Tab. 126) 275
Tab. 132: Quelle und Wirkung klimarelevanter Schadstoffe 275
Tab. 133: Emissionsdaten für Strombereitstellung (Stromnetz-lokal, GEMIS 4.2, 2004)..... 276
Tab. 134: Emissionen von Systemen zur Energiebereitstellung (GEMIS 4.2, 2004)..... 276
Tab. 135: Energetisch bedingte Emissionen zur Neuherstellung 1 Tonne Fertigteilbeton 276
Tab. 136: Emissionen bei Demontage und Abbruch von einer Tonne Betonbauteil 277
Tab. 137: Durchschnittlicher Energiebedarf für Teile einer Aufbereitungsanlage für mineralische Bauabfälle 278
Tab. 138: Energetisch bedingte Emissionen für die stoffliche Aufbereitung je Tonne Bauteil..... 279

Tab. 139: Energetisch bedingte Emissionen für die stoffliche Aufbereitung der Szenarien 1 - 3 279
Tab. 140: Energetisch bedingte Emissionen für die Transporte bei einer regionalen Wiederverwendung mit einer Transportentfernung von 30 km 279
Tab. 141: Energetisch bedingte Emissionen der verschiedenen Transportmittel 280
Tab. 142: Energetisch bedingte Emissionen der Transportkombination b) (RoRo-Fähre mit Trailer) für die Wiederverwendung der Bauteile einer WE in St. Petersburg 280
Tab. 143: Energetisch bedingte Emissionen der Transportkombination b) (RoRo-Fähre mit Trailer) für die Wiederverwendung der Bauteile einer WE in St. Petersburg 280
Tab. 144: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für 1 t Bauteil 281
Tab. 145: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für das Szenario 1 282
Tab. 146: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für das Szenario 2 282
Tab. 147: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für das Szenario 3 283
Tab. 148: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für alle Szenarien 283
Tab. 149: Verwendete Altbetonelemente der Typenserie P2 292
Tab. 150: Aufstellung der zur Wiederverwendung geplanten WBS-70 Betonfertigteile 293

Literaturverzeichnis

Achenbach, Helmut: Der Montagebau – Großblockbauweise, Streifenbauweise, Plattenbauweise und Skelettbauweise, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin, 1961.

Achenbach, Helmut: Montagebauten – Heute und morgen, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1962.

Achenbach, Helmut: WBS 70 – Grundregeln für Bauelemente, Heft 30, Bauakademie der DDR, Berlin, 1975, GRE 21.

Achenbach, Helmut; Looke, Gunther: Das Baukastensystem als Bestandteil der Industrialisierung im Bauwesen, Deutsche Bauinformation, Berlin, 1962.

Achenbach, Helmut; Looke, Gunther: WBS 70 – Grundregeln für Bauelemente – Beton, Stahlbeton, Spannbeton, Schriftenreihen der Bauforschung, Reihe Wohn- und Gesellschaftsbauten, Heft 30, Bauakademie der DDR, Institut für Wohnungs- und Gesellschaftsbau, Deutsche Bauinformation, Berlin, 1975.

Asam, C.: Zukunftsorientierter Umgang mit Plattenbaustrukturen: Untersuchung der Wiederverwendungsmöglichkeiten von demontierten Fertigteilelementen aus Wohnungsbautypen der ehemaligen DDR für den Einsatz im Wohnungsbau, IEMB, 2005.

Assam, Claus et.al.: Untersuchungen der Wiederverwendungsmöglichkeiten von demontierten Fertigteilelementen aus Wohnungsbautypen der ehemaligen DDR für den Einsatz im Wohnungsbau, IEMB, Bericht Nr. 1-15/2004.

Ausführungsunterlagen IW 76 / P2 (Bezirk Halle), Teilkatalog 1 (5- und 11-gesch.), Elementedatenblätter, VEB Projektierung u. Technologie Halle – Kombinationsbetrieb des VEB WBK Halle, November 1978.

Ausführungsunterlagen P2 5- und 8-geschossig, Elementedatenblätter / Montagepläne, VE WBK Cottbus, KB Projektierung, 1975.

Ausführungsunterlagen P2 5- und 8-geschossig, Elementedatenblätter / Montagepläne, VE Wohnungsbaukombinat Cottbus, KB Projektierung, 1973-1981.

Ausführungsunterlagen PN 36-NO, BEP WBK Neubrandenburg, 1973-1979.

Ausführungsunterlagen WBS 70 / 10,80 (Typ Dresden, Ratio II), Elementedatenblätter / Montagepläne, VEB Projektierung Dresden im VEB (B) WBK Dresden, 1978-1990.

Ausführungsunterlagen WBS 70 Katalog V, Verbindungsdetails / Montagepläne, Zusammenstellung aus Katalog Verbindungsdetail W 7413 L für WBS 70 / 12000 6-gesch. Leipzig, auf der Grundlage von Katalog Verbindungsdetails W 7413 / ADV, Kooperationsverband WBS 70, VEB Baukombinat Leipzig, Kombinatsbetrieb Produktionsvorbereitung, Produktionsabteilung 1-72 WBS 70 / 6-gesch., Berlin, 1975.

Ausführungsunterlagen WBS 70/11 (Berlin), Elementedatenblätter / Montagepläne, VEB Projektierung Kombinatsbetrieb Berlin im VEB Wohnungsbaukombinat Berlin, 1974-1988.

Ausführungsunterlagen WBS 70-10,8 C - Elementekatalog, Ingenieurhochschule Cottbus, WB WGB, nach Projektunterlagen des VEB Wohnungsbaukombinat Cottbus, KB Projektierung, Cottbus, 1983.

Baasch, Helga; Paap, Helga; Rietz, Andreas: Sanierungsgrundlagen Plattenbau - Wohnwertverbesserung durch Grundrissveränderungen, Fraunhofer IRB Verlag, 1999.

Baller, Inken; Bader [Hrsg.]: Das Gästehaus, LS Entwerfen, Bauen im Bestand, BTU Cottbus, 2003.

Bekanntmachung der Bundesagentur für Bauwesen und Kommunalwirtschaft Nr. CK-185/02 vom 23.01.2007.

BKI Baukostenkatalog 2006, Teil 2 Statistische Kostenwerte für Bauelemente, Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern, Stuttgart 2006.

Borowski, Judith: Zufrieden im Plattenbau, Exkursion: Plattenbau, www.journalisten-ost-west.de/dokumentation_07/Exkursionsberichte/Exkursion_Plattenbau.doc.

Bundesvorstand des FDGB: Montage von Fertigteilen, Verlag Tribüne Berlin, 1970.

CEN – Europäisches Komitee für Normung: Compass Europäische Normung in Kürze, Brüssel, Sept. 2004.

Cziesielski, Erich: Sanierungsgrundlagen Plattenbau, Katalog Instandsetzung und Modernisierung von vorgefertigten Außenwänden, Fraunhofer IRB Verlag, 1998.

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.

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.

FO-Stelle für Energiewirtschaft: Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen Halbzeugen, Teil 2 Baustoffe, 1999.

Fuhrich, Manfred; Liebmann, Heike; et.al.: Statusbericht 5 Jahre Stadtumbau Ost – eine Zwischenbilanz, Bundestransferstelle Stadtumbau Ost, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung, Druckhaus Köthen, Berlin, Mai 2007.

Grosch, Volker; Pöthing, Steffen: Wärmeschutz von Standardkonstruktionen des Wohnbautyps P2, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, 2002.

Hebel, Christina; Lechler, Katrin: Öde und doch belebt – die tschechische Platte, Exkursion: Plattenbau, www.journalisten-ost-west.de/dokumentation_07/Exkursionsberichte/Exkursion_Plattenbau.doc.

Henschel, Wolfgang: Technologie der Bau- und Ausrüstungsmontage, Verlag für Bauwesen, Berlin, 1981.

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.

Hilsdorf, Hubert K.: Dauerhaftigkeit von Betonen, Schlussbericht zum Forschungsauftrag der Forschungsgemeinschaft Transportbeton e. V. (FTB), 2. überarb. Fassung, Stuttgart, IRB-Verlag, 1991.

IEMB: Leitfaden für die Instandsetzung und Modernisierung von Wohngebäuden in der Plattenbauweise – Typenserie P2 5,0 t, Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken (IEMB), hrsg. vom Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Berlin, 1992.

IEMB: Leitfaden für die Instandsetzung und Modernisierung von Wohngebäuden in der Plattenbauweise – WBS 70, Wohnungsbauserie 70 6,3 t, Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e. V. (IEMB), hrsg. vom Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, IRB Verlag., Stuttgart, 1997.

IEMB: Sanierungsgrundlagen Plattenbau, Wohnbauten in Fertigteilbauweise (Baujahre 1958-1990), IRB Verlag Stuttgart, 1996.

IEMB: Wohnbauten in Fertigteilbauweise (Baujahre 1958 – 1990), Einleitung, IRB Verlag, Stuttgart, 1996.

IMMOEAST: Geschäftsbericht 1005/06, Länderberichte, http://ieag0506.genesto.com/dateien/-Laenderberichte.pdf.

Ivanov, Evgeny: Vermarktung gebrauchter Stahlbetonelemente im Raum St. Petersburg, Studienarbeit, Fachgruppe Bauliches Recycling, BTU Cottbus, 2007.

IXPOS: Markt des Monats Bauwirtschaft MOE" Rumänien: Bauwirtschaft kompakt, 02/2006.

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.

Jûrczek, P.; Köppen, B.: Aufbau oder Abriss Ost, Konzeptionelle Überlegungen zur nachhaltigen Stadtentwicklung in den neuen Ländern, Zukunftsforum Politik ; 63, Konrad-Adenauer-Stiftung, Sankt-Augustin, 2005.

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.

Koenitz, Ulrich: Wohngebäude in Montagebauweise – Geschichte und Perspektive am Beispiel der Wohnungsbauserie 70, Dissertation TU Dresden, 2007.

Kratschmann, Astrid, Gröger, Monika: Wohnungsmarkt in den neuen EU-Ländern, Tschechien, Ungarn, Slowenien und Kroatien (als Beitrittsbewerber), Forschungsgesellschaft Wohnen, Bauen und Planen, Wien, 2004.

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.

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 et.al.: Rückbau und Nachnutzung im Zeichen des Stadtumbau-Ost – Ein Ergebnisbericht, Teil 2: Wieder- und Weiterverwendung großformatiger Betonbauteile, FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, Jan. 2008.

Mettke, Angelika et.al.: Rückbau und Nachnutzung im Zeichen des Stadtumbau-Ost – Ein Ergebnisbericht, Teil 1: Krangeführter Rückbau, FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, Jan. 2008.

Mettke, Angelika, Lassan, Bärbel, Britze, Matthias: Betoninstandsetzung und Oberflächenschutz von Betonfertigteilelementen, FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, 2005.

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: Qualitätsmerkmale gebrauchter Betonelemente – Potenziale und Facetten der Nachnutzung, in: Alte Platte – Neues Design – Teil 2, [Hrsg.] Angelika Mettke FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, 2007.

Mettke, Angelika: Rückbau von Plattenbauten – Wieder- und Weiterverwendbarkeit gebrauchter Betonbauteile, in: Holschemacher (Hrsg.) Stahlbetonplatten, 2005.

Mettke, Angelika: Schadensanalyse Außenwände, im Auftrag der WBG Weißwasser mbH, FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, 2006.

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, FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, 2003.

Mettke, Angelika; Heyn Sören: Partieller Rückbau eines Schulgebäudes des Schultyps „Dresden“, FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, 2004.

Mettke, Angelika; Heyn Sören: Zwischenbericht – Freizeitpark Gröditz 1. Bauabschnitt, FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, 2005.

Mettke, Angelika; Heyn, Sören: Ergebnisse der Untersuchungen zu den zwischengelagerten Betonelementen für das Vereinshaus Gröditz 1911 e.V., FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, 2005.

Mettke, Angelika; Heyn, Sören: Geschossweiser Rückbau eines Wohngebäudes WBS 70 mit anschließendem Totalabbruch in Osterburg, Cottbus, 2006.

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; 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.

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.

Müller, Ernst: Technische Entwicklungstendenzen in der Binnenschifffahrt, in Schiff & Hafen 7/99, http://www.dst-org.de/projekte/tendenzen/tendenzen.htm, aufgerufen am 28.04.2008.

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.

Oswald, Rainer et.al.: Wohnbauten in Fertigteilbauweise in den neuen Bundesländern, Bauforschung für die Praxis, Band 2, IRB Verlag, Stuttgart, 1995.

Oswald, Rainer et.al.: Wohnbauten in Fertigteilbauweise in den neuen Bundesländern – Ausmaß und Schwerpunkte der Bauschäden, Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik Gemeinnützige GmbH, Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn, 1993.

Oswald, Rainer et.al.: Wohnbauten in Fertigteilbauweise in den neuen Bundesländern – Bauformen und Konstruktionsmerkmale, Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik Gemeinnützige GmbH, Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn, 1992.

Platte plus, Hrsg. Verband Thüringer Wohnungswirtschaft e.V., 2003.

Pressemitteilung Bundesagentur für Außenwirtschaft: Rumänischer Wohnungsbau im Aufwind, 02.08.2005.

Pressemitteilung Schwäbisch Hall: Exportschlager Bausparen, 30.01.2006.

Projektierungsunterlagen PN 36-NO Neubrandenburg, Projekt 3/19 und 3/20, September 1973 / August 1974 sowie Projektierungsunterlagen PN-Neubrandenburg, Projekt 08, VEB (B) WBK Neubrandenburg, Februar 1972.

Prüfbericht - Ermittlung Durchlässigkeitsbeiwert und totale Porosität: IBeWa-Ingenieur-Partnerschaft für Bergbau, Wasser und Deponietechnik, Freiberg, Dez. 2004.

Reuschel, Matthias: Gebäudediagnose aus bauphysikalischer Sicht. Energieeffiziente Gebäudesanierung, in: Tagungsband Alte Platte – Neues Design – die Platte lebt, Hrsg. Angelika Mettke, Cottbus, 2005.

Röhling, Stefan; Eifert, Helmut; Kaden, Reiner: Betonbau: Planung und Ausführung, Verl. Bauwesen, Berlin, 2000.

Sächsische Aufbaubank: Wohnungsbaumonitoring 2005/2006.

Schade, Diethard: Energiebedarf, Energiebereitstellung, Energienutzung, Springer Verlag, Berlin, 1995.

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.

Shamaeva, Maria: Wohnen in Russland, Schwierige Wohnverhältnisse und ein Markt ohne Regeln, Mieterecho 321/April 2007.

Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch 2006, http://www.destatis.de.

Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch 2007, http://www.destatis.de.

StrojZena, offizielle Ausgabe Nr. 6, 2004, СТРОЙЦЕНА: *Ежемесячный информационно-аналитический журнал сметных цен в строительстве*. Координационный центр по ценообразованию и сметному нормированию в строительстве. № 6, 2004 год. С.-Петербург.

Thamm, Thomas: Analyse von Energie- und Stoffströmen im Bauwesen, Diplomarbeit, Lehrstuhl Baustoff-Neuwerttechnik, BTU Cottbus, 1997.

Thomas, Cynthia; Birle, Andreas: „Stoff- und Energieflüsse bei der Aufbereitung mineralischer Baureststoffe“, Studienarbeit am Lehrstuhl Baustoff-Neuwerttechnik, BTU Cottbus; aktualisiert 2007.

Tschetwernina, Tatjana et.al.: Russlandanalysen, Nr. 111, 29.09.2006, Otto-Wolff-Stiftung, Deutsche Gesellschaft für Osteuropakunde, Forschungsstelle Osteuropa, Bremen, 2006.

Uhl, M.: Bauen in und mit dem Bestand „Vereinshaus Fußballverein Gröditz – Metamorphose der Platte“, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“.

Ullrich, Peter: Wohnungsleerstand in ostdeutschen Städten, Auszug einer Diplomarbeit in www.asl.uni-kassel.de.

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.

WKO Wirtschaftskammer Österreichs, aktualisiert im Nov. 2007, http://wko.at/statistik/eu/europa-wirtschaftswachstum.pdf.

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.

Zement-Merkblatt Betontechnik B9 „Expositionsklassen und besondere Betoneigenschaften, Bauberatung Zement, Hrsg. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V., Köln, 01.2003.

Gesetz-, Normen- und Richtlinienverzeichnis

Gesetze und Verordnungen

Baugesetzbuch (BauGB) vom 23.06.1960, zuletzt geändert am 21.12.2006.

Brandenburgische Bauordnung (BbgBO) vom 16.07.2003, zuletzt geändert am 28.06.2006.

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

Sächsische Bauordnung (SächsBO) vom 28.05.2004.

Straßenverkehrsordnung (StVO) vom 16.11.1970, zuletzt geändert am 28.11.2007.Güterkraftverkehrsgesetz (GüKG) vom 22 Juni 1998

Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO) vom 13.11.1937, zuletzt geändert am 24.05.2007.

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

Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energiesparverordnung – EnEV) vom 24.07.2007.

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 (DDR)

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.

GOST- und SNIP-Regelungen (Russland)

GOST 12767-94 Volle Stahlbetondeckenplatten für großformatigen Platenbaugebäuden. Allgemeine technische Anforderungen.

GOST 26434-85 Stahlbetondeckenplatten für Wohngebäuden. Typen und allgemeine Parameter.

GOST 8829-94 Beton- und Stahlbetonfertigteile industrieller Herstellung. Methoden der Belastungsuntersuchungen. Bewertungsgrundsätze für Festigkeit, Betonsteife und Rissbeständigkeit.

GOST 13015.4-84 Betonfertigteile. Vorschriften für Transport und Lagerung.

SNiP 2.03.01-84* Beton- und Stahlbetonkonstruktionen.

SNiP 3.09.01-85 Herstellung von Betonfertigteilen und -konstruktionen.

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).

Internationalen Verlade- und Transportbedingungen für die Binnenschifffahrt (IVTB) des Vereins für europäische Binnenschifffahrt und Wasserstraßen e.V. (VBW)

Verladerichtlinie der Railion Deutschland AG, A

Zement-Merkblatt Betontechnik B 18 „Risse im Beton“, Bauberatung Zement, Hrsg. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V., Köln, 02.2003.

Zement-Merkblatt Betontechnik B9 „Expositionsklassen und besondere Betoneigenschaften, Bauberatung Zement, Hrsg. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V., Köln, 01.2003.