
**Zwischenbericht
zum Forschungsprojekt:**

**Ökonomische und ökologische Bilanzierung des Transportes von
Betonplattenbauteilen aus dem Rückbau von Wohnbauten in
Deutschland in Länder Osteuropas und dortige Wiederverwendung
beim Neubau von Wohngebäuden**

(gefördert von der DBU; FKZ: AZ 22286/02-23)

– Teil B –

**Wiederverwendung von Plattenbauteilen in einem Vorort
von Sankt Petersburg**

Projektleiterin: PD Dr.-Ing. habil. Angelika Mettke

Bearbeiter/in: Dipl.-Ing. Stefan Asmus M.A.
PD Dr.-Ing. habil. Angelika Mettke
Dipl.-Übers. Evgeny Ivanov
Dipl.-Ing. Sören Heyn

Cottbus, 31.03.2011

Die Bearbeitung des Projektes
wurde konsultativ unterstützt durch:

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Spyra
Dr. rer. nat. habil. Ing. Reinhard Frey

Technische Mitarbeiterin:

Katja Böhm

Brandenburgische Technische Universität Cottbus
Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik
Lehrstuhl Altlasten
Fachgruppe Bauliches Recycling
PD Dr.-Ing. habil. Angelika Mettke

Siemens-Halske-Ring 8
03046 Cottbus
Tel.: 0355 / 69 22 70
Fax: 0355 / 69 31 71
E-Mail: mettke@tu-cottbus.de
URL: <http://www.tu-cottbus.de/altlasten>

Inhalt

1	Erläuterung des Pilotvorhabens	3
2	Wiederverwendungspotenzial	5
2.1	Gewinnung wiederverwendungsgerechter Betonelemente	7
2.2	Bedarf an Betonelementen für die Umsetzung des Pilotvorhabens.....	10
2.3	Beispielhafte Bewertung eines Spendergebäudes (WBS 70) zur Ermittlung des verfügbaren Elementesortiments	13
3	Transportkonzeption	15
3.1	Grundsätzliches	15
3.2	Allgemeine Anforderungen an den Transport der Betonelemente von der Rückbau-/Demontagebaustelle zum Fährhafen Sassnitz.....	17
3.3	Generelles zum Seetransport.....	18
3.4	Allgemeines zum Transport der Betonelemente vom Hafen Sankt Petersburg zur (Re)Montagebaustelle	21
3.5	Empfehlung.....	21
4	Kosten Transporte, Umschläge und Zwischenlagerungen	22
4.1	Zusammensetzung der Transport- und Umschlagkosten.....	23
4.2	Übersicht zu Transporttarifen und –kosten.....	26
4.3	Kosten und Bedingungen für die Zwischenlagerung der Betonelemente	27
4.4	Kalkulation der Transportkosten für das angesetzte Elementesortiment im (Wieder-)Neubau	27
5	Wirtschaftliche Aspekte der Wiederverwendung von Betonbauteilen	31
5.1	Preise für neue Stahlbetonfertigteile in Sankt Petersburg.....	31
5.2	Gesamtkosten zur Vorbereitung und zum Transport der Altbetonbauteile	33
5.3	Preisvergleich für neue Betonfertigteile und angelieferte Altbetonelemente.....	37
5.4	Ermittlung des Break-Even-Point für den Teilprozess Vorlauf einzelner Betonelemente und Bauteilgruppen.....	40
5.5	Ermittlung des Kostenvorteils durch Wiederverwendung bei festgelegter Vorlaufstrecke	51
5.6	Ermittlung des Break-Even-Point für den Teilprozess Vorlauf für das gesamte Bauteilsortiment zur Errichtung des Pilotvorhabens.....	57

5.7	Ermittlung zu erwartender Kostenvorteile durch Wiederverwendung unter Berücksichtigung verschiedener Rückbaustandorte	59
5.8	Ermittlung zu erwartender Kosteneinsparungen durch Wiederverwendung anhand von Fallbeispielen mit zwei Spendergebäuden zur Bauteilgewinnung für das Pilotvorhaben	67
5.9	Fazit der wirtschaftlichen Betrachtungen	73
6	Ökologische Relevanz	75
6.1	Energieaufwand für vergleichbare Betonneuteilproduktionen	75
6.2	Energieaufwand für den Transport der Betonelemente	77
6.2.1	Vorbemerkungen	77
6.2.2	Ermittlung Energieaufwand	77
6.3	Energieaufwand für die Umschläge der Betonelemente	81
6.3.1	Energieaufwände für das Be- und Entladen der Betonelemente mittels Fahrzeugkran	83
6.3.2	Energieaufwände für das Be- und Entladen mittels Portalkran	87
6.3.3	Zusammenstellung der Energieaufwände für die Umschläge der Betonelemente	88
6.4	Emissionsbetrachtungen	90
6.4.1	Herstellung von neuen Betonbauteilen	90
6.4.2	Energetisch bedingte Emissionen der Transportkombination LKW- / Schiffstransport	90
6.4.3	Energetisch bedingte Emissionen der Umschlagprozesse	92
6.5	Fazit Energieaufwand und Emissionsbetrachtungen zum Bauteiltransport und Bauteilumschlag	93
7	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	96
	Abkürzungen	99
	Abbildungsverzeichnis	101
	Tabellenverzeichnis	103
	Literaturverzeichnis	105
	Anlagen	107

1 Erläuterung des Pilotvorhabens

Das wichtigste Vorhaben zur Wiederverwendung von Betonbauteilen im Rahmen des Forschungsvorhabens „Ökonomische und ökologische Bilanzierung des Transportes von Betonplattenbauteilen aus dem Rückbau von Wohnbauten in Deutschland in Länder Osteuropas und dortige Wiederverwendung beim Neubau von Wohngebäuden“ stellt das Pilotprojekt in Sankt Petersburg dar.

Gegenüber den bisherigen Untersuchungen – veröffentlicht im Endbericht - Teil I¹ – hat sich der grundlegende Charakter des Pilotvorhabens / Bauwerks und somit auch das erforderliche Betonelementesortiment verändert. Anstelle der ursprünglich geplanten Siedlung aus Ein- und Zweifamilienhäusern tritt der Bau eines Mehrfamilienhauses.

Grund für die Überarbeitung des Gebäudecharakters ist die im Vergleich zu den Vorjahren veränderte Lage auf dem russischen Immobilienmarkt. Resultierend aus der hohen Nachfrage für preisgünstige Wohnraumangebote, der Senkung der Preise für Baumaterialien sowie der Bauselbstkosten und des u.a. Liegenschaftscharakters trafen die russischen Investoren die Entscheidung, ein dreigeschossiges Mehrfamilienhaus mit 5 Sektionen (Hauseingängen) und einer Gesamtfläche von etwa 3.000 bis 3.200 m² zu errichten.

Ein solch hohes Bauvolumen ist für ein Pilotprojekt eine Herausforderung, dessen erfolgreiche Realisierung zudem eine Marktnische für Ein- und Zweifamilienhäuser eröffnen kann. Die Entscheidung, ein mehrgeschossiges Gebäude mit 30 – 40 Wohnungen (WE) in kurzer Bauzeit zu errichten, entspricht den Anforderungen des russischen staatlich geförderten Bundesprogramms „Erschwingliches Wohnen – Sozialwohnungsbau für junge Familien und Militärangehörige“.

Als Standort für den Bau des Demonstrations-/Pilotprojektes ist ein entsprechendes Grundstück in der Ortschaft Nevskaja Dubrovka, Landkreis Vzevoloshsk, Leningrader Gebiet ausgewählt worden. Nevskaja Dubrovka ist ca. 70 km östlich von Sankt Petersburg entfernt und liegt am Ufer der Neva. Das Pilotvorhaben wird in direkter Nachbarschaft bereits vorhandener Siedlungsstrukturen integriert (s. Abb. 1, 2). Für dieses Bebauungsgebiet laufen derzeit konkrete Planungen zur städtebaulichen und stadträumlichen Erweiterung. Darunter befindet sich auch das Pilotvorhaben mit einem Angebot von 1-, 2- und 3-Raum-Wohnungen.

¹ vgl. Mettke, A. et.al.: Wiederverwendung von Plattenbauteilen in Osteuropa. Endbericht – Bearbeitungsphase I, FO-Vorhaben DBU-AZ 22286-23, BTU Cottbus, 2008.

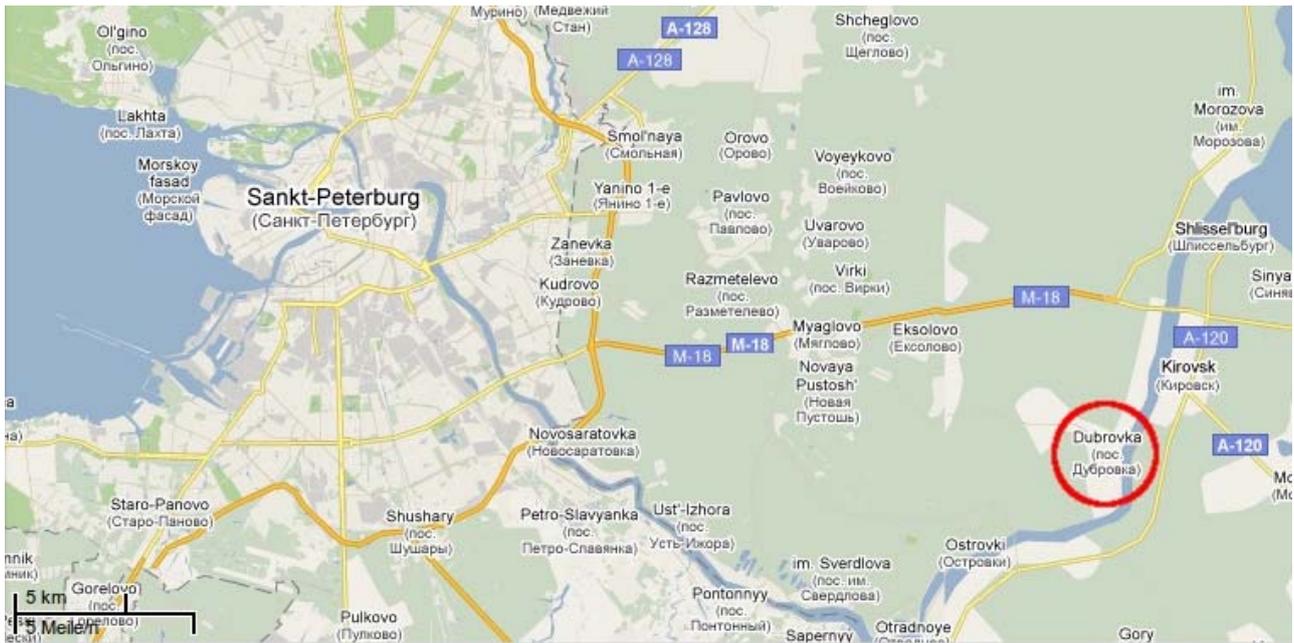


Abb. 1: Siedlung Nevskaja Dubrovka östlich von Sankt Petersburg²



Abb. 2: Siedlung Nevskaja Dubrovka. Blick auf Bebauungsgebiet³

Der Bau des Mehrfamilienhauses erfordert eine Anpassung der bisherigen Transportkonzeption (s. FN 1; vgl. Pkt. 2.2 und 3), denn die bisherigen Untersuchungen zielten – seitens der russischen Vorgaben / Entscheidungen – auf ein weniger vielfältiges Elementesortiment und eine höhere Elementanzahl ab. Folglich sind die logistischen Prozesse auf ein weitaus größeres Bauteilspektrum auszurichten. Gleiches trifft für die Akquise von Spendergebäuden zur Bauteilgewinnung zu.

² <http://www.maps.google.de/maps>

³ <http://www.panoramio.com/photo/6563299>

Die Realisierung des Pilotprojektes ist als deutsch-russisches Gemeinschaftsvorhaben geplant. Investor ist die russische Baufirma „Petrostrojprojekt“ (Generaldirektor Herr S. W. Shomin) unter Mitwirkung von russischen Beratern und Direktoren für Unternehmensentwicklung aus Sankt Petersburg. Dies sind die Newa-Invest-S Engineering- und Bau GmbH (Generaldirektor Herr M. G. Nikiforov) sowie Vertreter der Staatlichen Universität für Architektur und Bauwesen Sankt Petersburg (Prof. Dr. sc. A. Trofimov, Prof. Dr. sc. V. Morozov, Dr. sc. J. Panibratov). Auf deutscher Seite wurde die Ecosoil Ost GmbH (Geschäftsführer Herr Lothar Magoltz) als bauausführende Firma und Kooperationspartner für das Vorhaben gewonnen, um bei den vorbereitenden Maßnahmen bis zur Umsetzung mitzuwirken. Die deutsche Baufirma hat Referenzen sowohl zur Demontage als auch zur (Wieder-)Montage industriell errichteter Gebäude. Zur Erstellung des Rohbaus wird die Firma 2 Mitarbeiter nach St. Petersburg entsenden, um den russischen Bauleuten fachlich beratend sowie ausführend, d.h. anleitend, zur Seite zu stehen.

Die Fachgruppe Bauliches Recycling hat die (Wieder-)Neubaumaßnahme initiiert und begleitet das Vorhaben wissenschaftlich.

Mit einem konkreten Maßnahmenbeginn ist noch im II. Quartal 2011 / spätestens III. Quartal 2011 zu rechnen.

Geplant ist, die Ergebnisse der Wiederverwendungsmaßnahme auf einer Fachtagung an der BTU Cottbus und an der Staatlichen Architektur- und Bauuniversität in Sankt Petersburg zu präsentieren und zu diskutieren, um nachhaltige Lösungen resp. Folgeprojekte auf dem Bausektor öffentlich wirksam anzuregen.

2 Wiederverwendungspotenzial

Da ein Pilotvorhaben immer zum Ziel hat, einen Impuls für Folgevorhaben zu liefern, ist der Frage nachzugehen, ob und in welchem Zeitfenster gebrauchsfertige Betonelemente im Zuge von Rückbaumaßnahmen anfallen werden. Die Bestandsaufnahme lässt sich wie folgt skizzieren:

Die aktuelle Situation ostdeutscher Städte ist nach wie vor in weiten Teilen von hohen Wohnungsleerständen gekennzeichnet. Aufgrund der anhaltenden Leerstandproblematik wurde die Förderung zu deren Bewältigung durch das Programm „Stadtumbau-Ost II“ der Bundesregierung (zunächst) bis zum Jahr 2016 fortgeschrieben.

Für den Zeitraum 2010 – 2016 ist vorgesehen, weitere 200.000 – 250.000 Wohnungen vom Markt zu nehmen.⁴ Aber auch in Südniedersachsen, Nordhessen, Nordostbayern und im zentralen Ruhrgebiet sind Wohnungsüberhänge erkennbar. Hier greift das Förderprogramm „Stadtumbau-West“. Bundesweit wird der Überhang mit 0,9 – 1,0 Mio. Wohneinheiten (WE) beziffert.⁵ Betroffen sind alle Bauarten und -altersgruppen: traditionell sowie seriell / industriell errichtete Wohngebäude.

⁴ Deutscher Bundestag Drucksache 16/2284, 18.03.2009.

⁵ Günther, M.; Hübl, L.: Wohnungsmangel in Ostdeutschland? Regionalisierter Wohnungsbedarf bis zum Jahr 2005, Studie des Eduard Pestel Instituts, März 2009, S. 3.

Umfangreiche Recherchen der Fachgruppe Bauliches Recycling sowie zahlreiche Gespräche mit Vertretern von ostdeutschen Wohnungsunternehmen belegen, dass die Ära des klassischen Abbruches von Wohnbauten, auch und gerade von Plattenbauten, weitgehend abgeschlossen ist. Der Fokus der Stadterneuerung verlagert sich auf Großwohnsiedlungen resp. Plattenbaugebiete neben der Stärkung der Innenstädte. Relevanz hat v.a. die Thematik „Bauen im Bestand“. Durch die Umgestaltung der seriell errichteten Gebäudetypen mittels Teilrückbaumaßnahmen können Teile der Gebäudebestände erhalten und modernisiert sowie die vorhandene Infrastruktur wie Straßen, Beleuchtung, anliegende Medien usw. weiter genutzt werden. Durch geometrische Veränderungen dieser in Stahlbetonmontagebauweise errichteten Wohnbauten in ihrer Höhe und Gestalt und der Anpassung der Wohnungszuschnitte an die heutigen, neuen Nutzungsanforderungen wird den städtebaulichen Umgestaltungsmaßnahmen unter der Zielsetzung der Leerstandverminderung bei Beachtung der Nutzerwünsche entsprochen. Unter der Annahme, dass sich von den zu beseitigenden 200.000 – 250.000 WE etwa 60 – 70 % in Plattenbauten befinden, würden ~120.000 – 175.000 Platten-WE rückgebaut werden. Unter dem Ansatz, dass i.M. 30 Betonelemente pro WE verbaut wurden und davon etwa 68 % Wände und Decken ausmachen (AW 17 %, IW 22 %, Decken 29 %; s. Abb. 4), werden etwa 2,4 Mio. – 3,5 Mio. gebrauchsfertige Betonelemente anfallen. Hinzu kommen Treppen- und Drempelelemente sowie sonstige Betonelemente (s. Abb. 4, Tab. 1).

Es kann also davon ausgegangen werden, dass wiederverwendungsgeeignete Betonelemente, die im Zuge von Rückbauten anfallen, noch mehrere Jahre verfügbar sein werden. Im Zuge des Stadtumbau-Programms „Stadtumbau Ost“ wurden im Zeitraum 2002 – 2009 rd. 290.000 WE abgebrochen und rückgebaut.⁶

Aufgrund der auch praktisch nachgewiesenen Rückbaufähigkeit der in der DDR gebauten Plattenbauten kann jedes geplante Teilrückbauvorhaben als potenzielles Spendergebäude betrachtet werden. Die am häufigsten vertretenen Ausführungen des industriellen Wohnungsbaus in Ostdeutschland sind die Wohnbauserie 70 (WBS 70) und die Typenserie P2, mit seinerzeit z.T. bezirklichen Anpassungen. Bspw. ist im ehemaligen Bezirk Mecklenburg-Vorpommern oft die Bauserie PN 36-NO vertreten, im Freistaat Thüringen die WBR Erfurt.⁷

Auf der Basis der erarbeiteten Kataloge⁸ zum Standardsortiment der Wohnungsbautypen P2 und WBS 70 und umfangreicher Varianten, die mit den russischen Projektpartnern diskutiert wurden, orientiert sich die Pilotprojektplanung auf das Bauteilsortiment der WBS 70.

⁶ Workshop „Zukunftschancen ostdeutscher Großwohnsiedlungen“ am 04.03.2011 in Leipzig, Veranstalter UFZ.

⁷ Die industriellen Bauweisen sind in: Mettke, A. et.al.: Wiederverwendung von Plattenbauteilen in Osteuropa. Endbericht – Bearbeitungsphase I, FO-Vorhaben DBU-AZ 22286-23, BTU Cottbus, 2008, S. 36 ff. charakterisiert. Der Endbericht ist unter <http://www.tu-cottbus.de/fakultaet4/de/altlasten/fachgruppen/bauliches-recycling.html> abrufbar.

⁸ Mettke, A. (Hrsg.): Elementekatalog. Übersicht: Elementesortiment des Typs WBS 70 am Beispiel Gebäudetyp WBS 70/11. BTU Cottbus, 2007; Mettke, A. (Hrsg.): Elementekatalog, Übersicht: Elementesortiment des Typs P2, . BTU Cottbus, 2003.

2.1 Gewinnung wiederverwendungsgeeigneter Betonelemente

Im Zuge der wissenschaftlich begleitenden Untersuchungen der FG Bauliches Recycling an einer Vielzahl von verschiedenen Rückbauobjekten des industriellen Wohnungs- und Gesellschaftsbaus wurde deutlich, dass auch innerhalb der Typenserien Unterschiede bestehen: vor allem in den Bauelementeabmaßen und –massen sowie in der Elementeanzahl je Wohneinheit. Dies wirkt sich auf die Planung und Ausführung des krangeführten Rückbaus aus. Das betrifft die Kranauswahl und den Umfang an Trennarbeiten (Anzahl an zu öffnenden Fugen und freizulegenden Tragösen) sowie die Mengen an anfallendem Bauschutt. Dies wiederum wirkt sich vor allem auf die Dauer der Ausführung eines Rückbauvorhabens sowie auf die Transport-, Umschlag- und Lager- inkl. Entsorgungs- und Nachnutzungsprozesse aus.

Daher ist das Wissen um den konstruktiven Aufbau und die Ausführung des Spendergebäudes eine unabdingbare Voraussetzung sowohl für den Rückbau als auch in Vorbereitung des Wiedereinsatzes von Altbetonelementen in neuen Wohngebäuden.

Nachstehende Abb. 3 soll lediglich einen Überblick zum verbauten Betonelemente-Sortiment je Wohneinheit zu den verschiedenen Bauweisen / Bauarten geben. Insbesondere bei der WBS 70 wird deutlich, dass hier der größte Rationalisierungsgrad bezüglich der in Summe verbauten Betonelemente je Wohneinheit (26 BE/WE) erreicht wurde.

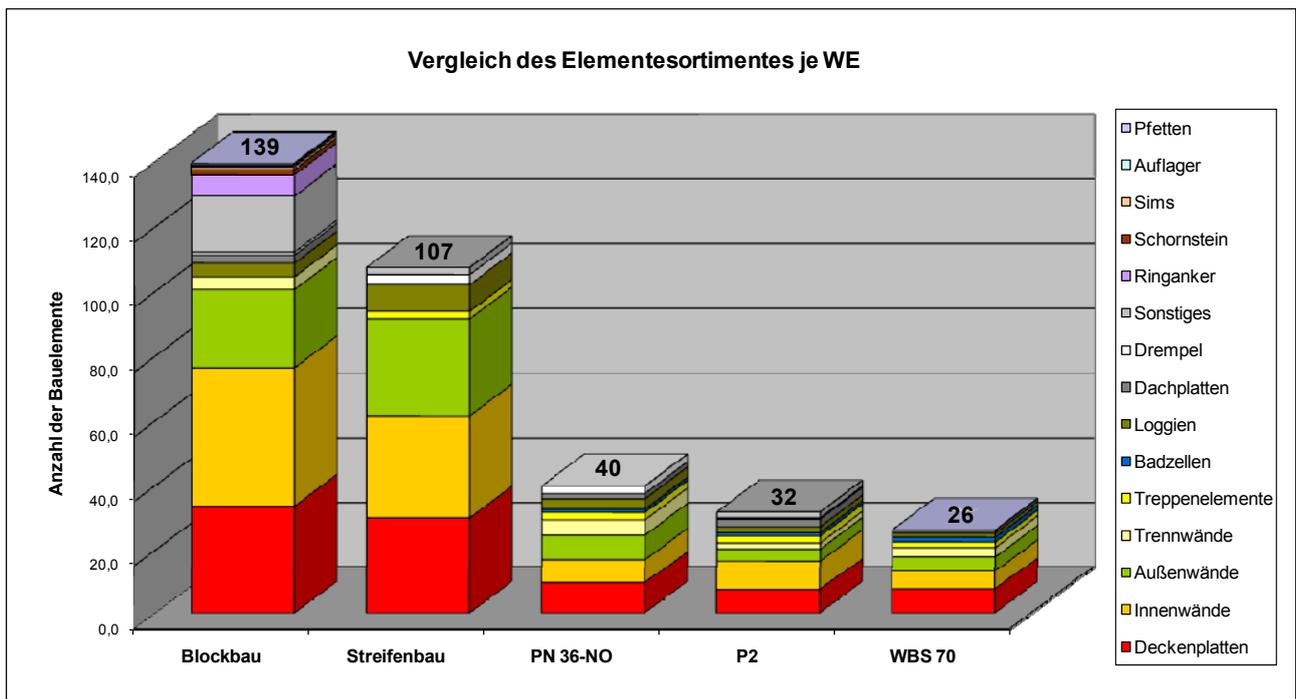


Abb. 3: Vergleich der Anzahl verbauter Betonfertigteile je Wohneinheit in Abhängigkeit des Gebäudetyps

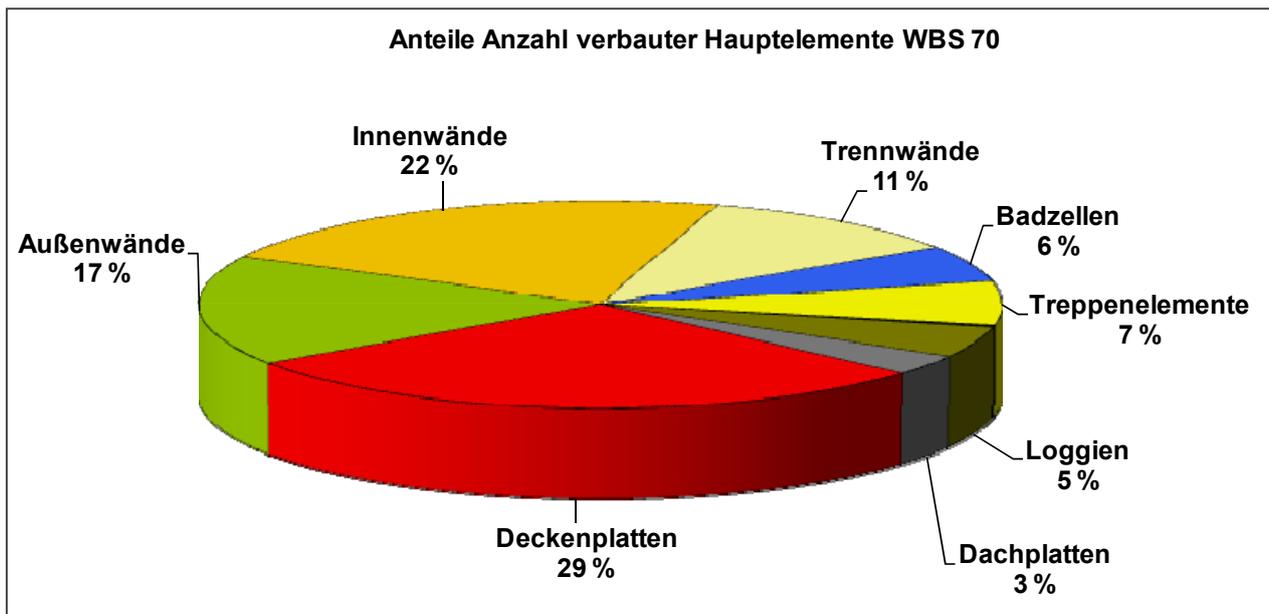


Abb. 4: WBS 70 - Verbautes Betonelementesortiment je Wohneinheit (Normalgeschoss)

Beispielsweise sind Unterschiede in der Planung und im verbauten Elementesortiment für 8- bzw. 11-geschossige Gebäude der WBS 70 gegenüber der 4- bis 6-geschossigen Ausführung festgestellt worden. Dies ist – wie o.a. – auf die örtlichen Anpassungen der Typenprojekte in Abhängigkeit der damaligen lokalen Verfügbarkeit von Baustoffen und der Kapazitäten der Betonfertigteilwerke sowie auf die regionale Fokussierung bestimmter Bauserien und den Kombinationen von Betonelementen aus verschiedenen Bauserien (Elementemix) zurückzuführen.

Die erarbeiteten Elementekataloge⁹ zur Übersicht verbauter Betonelemente können daher nur eine Hilfestellung darstellen, um erste Informationen zu den Bauteilen abzugreifen. Sie entbinden nicht von einer direkten Vorortaufnahme des Spenderobjektes.

D.h. die Auswahl der Betonelemente für eine Wiederverwendung erfordert eine genaue Erfassung des Spendergebäudes analog der Bestandserfassung in Vorbereitung von Sanierungs- und/oder Modernisierungsmaßnahmen. Im Idealfall helfen Bestandspläne und Projektierungsunterlagen – sofern vorhanden – weiter. Dennoch ist eine Begehung des Spendergebäudes unabdingbar. Erfahrungsgemäß stimmen die vorliegenden Projektierungsunterlagen nur in den seltensten Fällen mit der Ausführung überein.

Ziel der Gebäudeerfassung in Vorbereitung von Wiederverwendungen ist eine genaue Bauteil- resp. Bauelementeaufnahme. An der Rohbaukonstruktion (Tragkonstruktion ohne Tapeten und ohne Paneele o.ä.) ist der Bauzustand der Betonelemente im eingebauten Zustand mit entsprechenden Hilfsmitteln zu bewerten.¹⁰

⁹ Mettke, A. (Hrsg.): Elementekatalog. Übersicht: Elementesortiment des Typs WBS 70 am Beispiel Gebäudetyp WBS 70/11. BTU Cottbus, 2007; Mettke, A. (Hrsg.): Elementekatalog, Übersicht: Elementesortiment des Typs P2, . BTU Cottbus, 2003.

¹⁰ vgl. Mettke, A. et.al.: Wiederverwendung von Plattenbauteilen in Osteuropa. Endbericht – Bearbeitungsphase I, FO-Vorhaben DBU-AZ 22286-23, BTU Cottbus, 2008, S. 80 ff.

Die bisherigen umfangreichen Untersuchungen an rückgebauten Betonelementen ergaben, dass diese bei sachgemäßem Rückbau, Umschlag, Transport und Zwischenlagerung zu 80 – 90 % in die Bauzustandsstufe (BZS) 1 und 2 eingestuft werden konnten.¹¹

Dieses Bauteilsortiment macht insgesamt – wie o.a. – knapp 70 % (vgl. Abb. 4) des gesamten Elementesortiments der WBS 70 aus.

Wiederverwendungsgeeignete Betonelemente (Einordnung in BZS 1 und 2¹²) sind zu erfassen, zu kennzeichnen und zu listen. Erst dann ist es möglich, die tatsächlich verfügbare Anzahl an wiederverwendungsgeeigneten Betonelementen zu beziffern.

Nachweislich (rechnerisch, messtechnisch sowie baupraktisch) ist, dass sich folgendes Elementesortiment besonders zur Wiederverwendung resp. zum Bau von Häusern eignet:

- die mehrschichtigen Außenwände ohne Kamilit (als verbauter Dämmstoff),
- ehemals tragende Innenwände,
- Deckenplatten der Normalgeschosse.

Einen zusammenfassenden Überblick zur sekundären Verwendung von Betonelementen in Wohnbauten gibt nachstehende Tab. 1. Als nicht wiederverwendungsgeeignet sind lediglich die Trennwände eingestuft.

Tab. 1: Bewertung Eignung rückgebauter Bauteile zur Wiederverwendung aus bautechnischer Sicht

Betonelemente-Sortiment	Wiederverwendungseignung in Wohnbauten (Deutschland)	
	Bewertung	Bemerkungen
Deckenplatten	besonders geeignet	aufgrund der Qualität und geometrischer Abmaße und verbauter Anzahl
Innenwände		
Außenwände	geeignet	Außenwände ohne Kamilit als Dämmstoff
Kellerwände		Anzahl begrenzt
Drempelwände		
Treppenstufenelemente, -podeste	bedingt geeignet	ästhetische Anforderungen sind im Wohnbau z.T. nicht mehr ausreichend; bevorzugt geeignet als Kellertreppe oder in Wirtschaftsgebäuden
Loggiaelemente		6,00 m lange Brüstungselemente z.T. sichtbar verformt, an Loggiabrüstungselementen z.T. Betonabplatzungen durch zu geringe Betonüberdeckung
Dachkassettenplatten		nur geeignet ohne teerhaltige Schadstoffe
Trennwände	nicht geeignet	zu geringe Bauteildicke; zerstörungsfreie Demontage kaum möglich

¹¹ vgl. Mettke, A. et.al.: Wiederverwendung von Plattenbauteilen in Osteuropa. Endbericht – Bearbeitungsphase I, FO-Vorhaben DBU-AZ 22286-23, BTU Cottbus, 2008, S.152 ff.

¹² Erkennungsmerkmale Bauzustandsstufen: BZS 1: keine Mängel und Schäden bis geringfügige Qualitätsminderung an der Oberfläche der BE, BZS 2: örtlich begrenzte Abplatzungen an der Oberfläche der BE, äußere Sichtflächen teilweise verwittert, örtlich begrenzte Durchfeuchtungen.

2.2 Bedarf an Betonelementen für die Umsetzung des Pilotvorhabens

Die Zusammenstellung des Bedarfs an Betonelementen zur Errichtung des Pilotvorhabens aus der WBS 70-Serie basiert im Rahmen des Vorentwurfs auf der Grundrisslösung anhand des Gebäudetyps WBS 70/11¹³ als 3-Spänner.

Die verbauten Elemente über 3 Etagen und 3 Sektionen ergeben etwa eine Fläche von 2.700 m² (s. Abb. 5). Das Pilotprojekt soll ohne Keller errichtet werden. Auf dieser Basis können 9 Wohnungen pro Eingang angeboten werden. Pro Sektion werden im Erdgeschoss wie auch in den Normalgeschossen je 3 WE angesetzt. Die Wohnungsgrößen reichen von ~70 m², ~90 m² bis ~105 m² (ohne Loggia). 27 WE ergeben sich somit insgesamt für den (Wieder-)Neubau / Pilotgebäude.

In Tab. 2 sind die einzelnen Betonelemente gelistet.

Erforderlich sind demzufolge:

- 297 Decken,
- 93 Innenwände,
- 102 Außenwände,
- 28 Drempelemente,
- 93 Loggiaelemente,
- 45 Treppenelemente.

Insgesamt werden **658 Betonelemente** benötigt. Die Gesamtmasse beträgt in Summe ~ 2.433 t (s. Tab. 2)

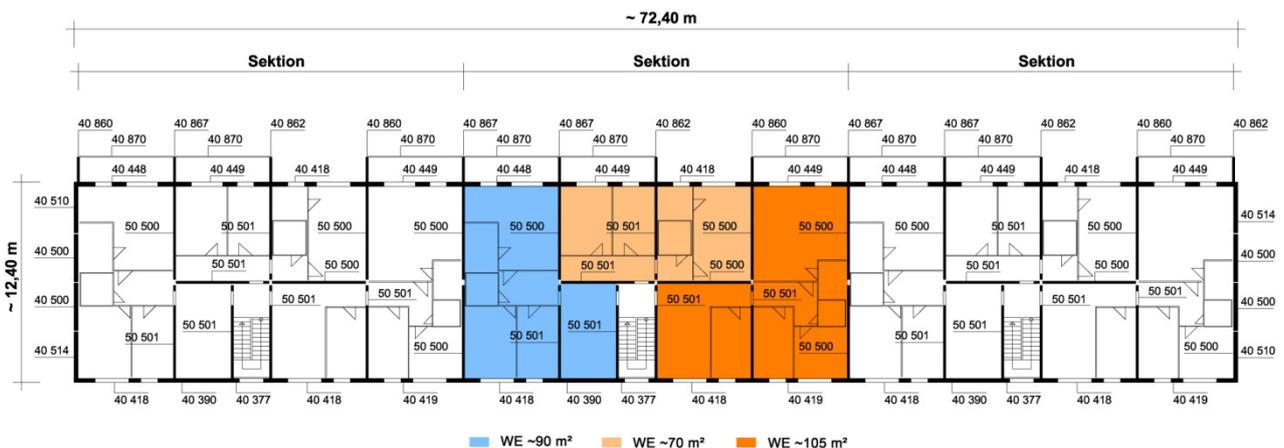
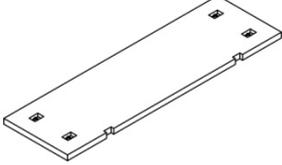
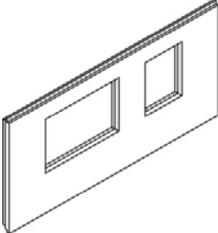
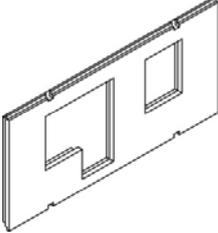
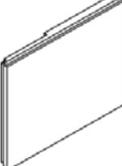
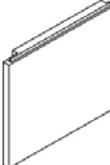
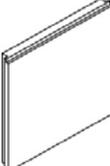
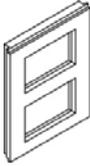
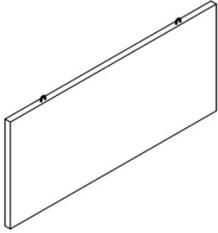
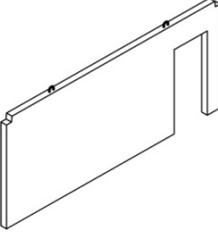
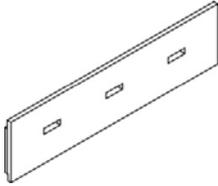
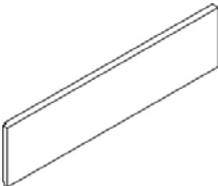
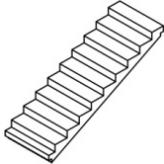
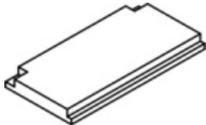
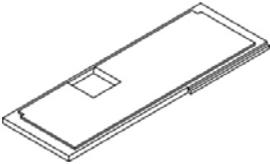


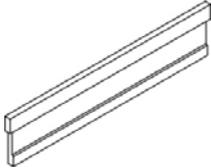
Abb. 5: Vereinfachte Darstellung Grundriss Normalgeschoss WBS 70 (Wandplan, 3 Sektionen)

¹³ Mettke, A. (Hrsg.): Elementekatalog. Übersicht: Elementesortiment des Typs WBS 70 am Beispiel Gebäudetyp WBS 70/11. BTU Cottbus, 2007.

Tab. 2: Betonelementesortiment (WBS 70/11) zur Errichtung Wohngebäudes (ca. 3.000 m² Grundfläche)

Betonelement	Elem.-Nr.	Isometrie	Anzahl	Maße [m]	Masse [t]	
					je BE	∑ BE
Deckenelemente						
Deckenplatte	DP-20040		297	5,98 x 1,78 ⁵ x 0,14	3,42	1.016
Außenwände						
Außenwand (2 Fenster)	AW-40418 / AW-40419		36	5,98 x 2,86 x 0,26	5,80	209
Außenwand (Balkontür)	AW-40448 / AW-40449		27	5,98 x 2,86 x 0,26	5,65	152,5
Außenwand (ohne Fenster)	AW-40390		9	3,58 x 2,86 x 0,26	4,78	43
Giebelaußenwand	AW-40510 / AW-40514		12	3,17 x 2,86 x 0,26	3,97	48
Giebelaußenwand	AW-40500		12	2,98 x 2,86 x 0,26	3,96	47,5
Außenwand/Treppenhaus	AW-40377		6	2,38 x 2,86 x 0,26	2,16	13

Innenwände						
Innenwand voll	IW-50500		39	5,81 x 2,63 x 0,15	5,45	212,5
Innenwand (mit Tür)	IW-50501		54	5,81 x 2,63 x 0,15	4,86	262
Drempel Elemente						
AW-Drempel Element	DW-10300		24	5,98 x 1,15 x 0,26	4,26	102
AW-Giebelecke	DW-10200 / DW-10201		4	6,17 x 1,15 x 0,26	4,02	16
Treppenelemente						
Treppenstufenelement	TS-30000		18	2,84 x 1,08 x 0,19	1,50	27
Treppenpodest	TP-30120		18	2,22 x 1,10 x 0,19	1,03	18,5
Treppenpodest	TP-30201		9	5,98 x 2,08 x 0,19	4,88	44

Loggiaelemente						
Loggiabrüstung	LB-40870		27	5,98 x 1,28 x 0,15	2,48	67
Loggiawand	LW-40860 / LW-40862		24	1,55 x 2,78 x 0,15	1,30	31
Loggiawand	LW-40867		15	1,55 x 2,78 x 0,15	1,59	24
Loggiadecke	LD-40900		27	5,98 x 1,30 x 0,23	3,71	100
Gesamt Σ			658	Gesamtmasse Σ		2.433 t

2.3 Beispielhafte Bewertung eines Spendergebäudes (WBS 70) zur Ermittlung des verfügbaren Elementesortiments

In Vorbereitung der (Wieder-)Neubaumaßnahme in Nevskaja Dubrovka wurde im Rahmen der Akquise ein repräsentatives Spendergebäude hinsichtlich des erforderlichen Bauteilsortiments bewertet. Es handelt sich um ein 6-geschossiges Wohngebäude der Typenserie WBS 70 C 7.1 (Projekt WBK Neubrandenburg) am Standort Templin in der Strahl-Goder-Straße 1 - 4 (Abb. 6, 7). Zur Veranschaulichung sind ergänzend in der Anlage 1.1 – 1.4 Grundriss- und Deckenpläne (5. und 6. OG) beigefügt.¹⁴

Der Teilrückbau wurde im Juli / August 2010 durchgeführt und umfasste zwei Geschosse des Wohnhauses mit 4 Sektionen. Die Objektbegehung und Analyse der Projektierungsunterlagen ergaben ein verfügbares Betonelementesortiment von 144 Betonelementen: gelistet in Anlage 1.5. Dies ergibt lediglich ca. 1/5 des veranschlagten Elementebedarfs für das Pilotvorhaben. Somit wurde schnell offenkundig, dass mehrere Teilrückbauvorhaben als potenzielle Spendergebäude heranzuziehen sind, um 658 Betonelemente bereit stellen zu können.

¹⁴ Grundriss- und Deckenpläne erstellt auf Basis der Projektierungsunterlagen / Montagepläne WBS 70 C 7.1 5- und 6-geschossig, VEB(B) WBK Neubrandenburg, KB Projektierung, Angebotsprojektierung, 1988.



Abb. 6: Beispiel eines Spendergebäudes der Typenserie WBS 70 (Templin). Ansicht von SW



Abb. 7: Beispiel eines Spendergebäudes der Typenserie WBS 70 (Templin). Ansichten SO / N

Abb. 7 zeigt hier bspw. u.a. die unterschiedliche Giebelausbildung (unterschiedlich verbaute Betonelemente) innerhalb eines Gebäudes. Daraus folgt, dass bereits im Rahmen der Akquise von Spendergebäuden nicht nur auf die Bauart / den Gebäudetyp zu achten ist, sondern die Ausführungsart mit dem verbauten Betonelementesortiment wesentlich für die Wiederverwendungsmaßnahme ist (geometrische Passbarkeit).

3 Transportkonzeption

3.1 Grundsätzliches

Nachfolgend werden beispielhaft die Eckdaten zum Transportaufwand der Betonelemente dargestellt. Betrachtet wird der Aufwand ab der Rückbaubaustelle bis zur (Re)Montagebaustelle in Nevskaja Dubrovka. Zu transportieren sind 658 Betonelemente der Typenserie WBS 70 (vgl. Pkt. 2.2).

Im Teil I dieses Forschungsvorhabens¹⁵ wurde herausgearbeitet, dass die Kombination aus Landtransport per LKW / Sattelzug¹⁶ und Seetransport von Deutschland nach Sankt Petersburg die kostengünstigste Lösung für den Bauteiltransport ist (Skizzierung Transportkonzeption s. Abb. 9). D.h. zu betrachten sind die Aufwendungen für die Verkehrsträger Straßenverkehrsnetz und Hochsee unter den veränderten Vorgaben wie in Pkt. 1 erläutert. Die Transportmittel und -hilfsmittel, die sortimentsbezogen dafür hauptsächlich eingesetzt werden, sind in der Abb. 8 zusammengestellt.

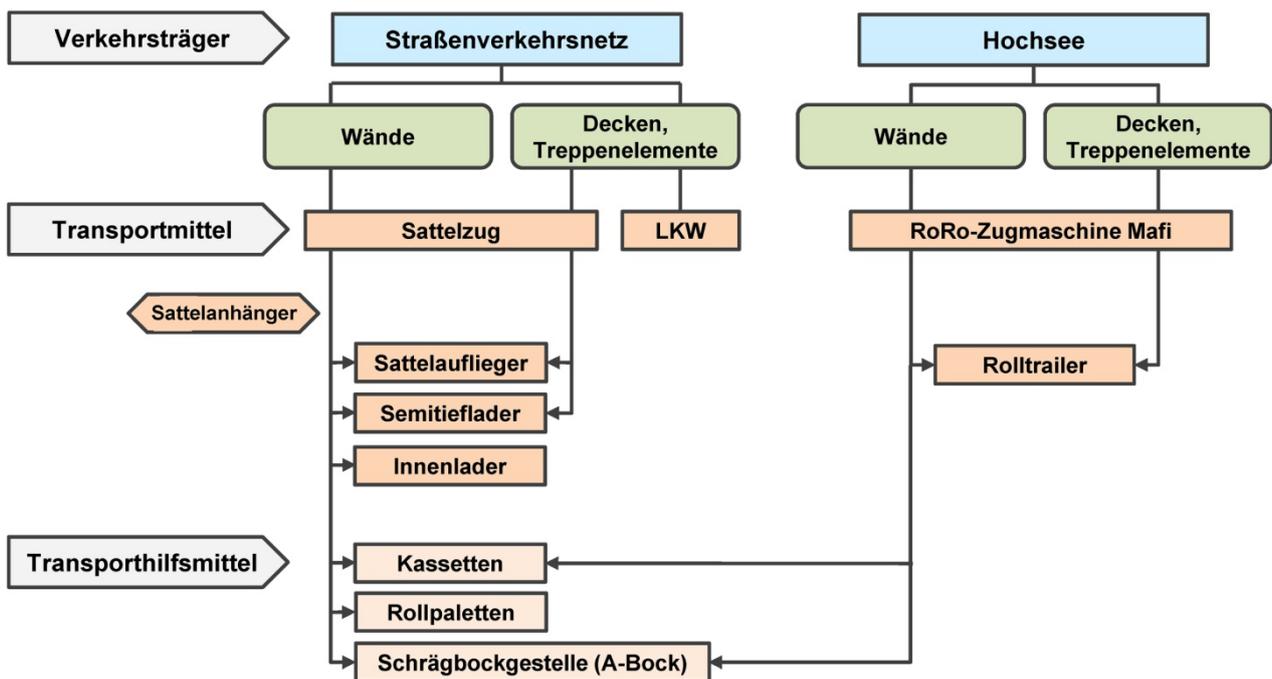


Abb. 8: Übersicht zu hauptsächlich eingesetzten Transportmitteln und -hilfsmitteln

¹⁵ vgl. Mettke, A. et.al.: Wiederverwendung von Plattenbauteilen in Osteuropa, Endbericht – Bearbeitungsphase I, FO-Vorhaben DBU-AZ 22286-23, BTU Cottbus, 2008, S. 172 ff.

¹⁶ LKW / Sattelzug: nachfolgend wird der Landtransport mit LKW titulierte, gemeint ist immer ein LKW bzw. Sattelzug; Angabe lässt noch offen, ob ein einzelner LKW oder ein Sattelaufleger, Semitiefelader bzw. Innenlader zum Einsatz kommt.

Die ermittelte Vorzugsvariante zum Bauteiltransport – Vorlauf per LKW, Schiffstransport, Nachlauf per LKW – wurde gegenüber dem zuvor genannten Endbericht-Bearbeitungsphase I weiter konkretisiert sowie aktualisiert. Als Hafen in Deutschland wurde der Fährhafen Sassnitz auf der Insel Rügen aufgrund der ausreichend zur Verfügung stehenden RoRo-Trailer¹⁷ (s. Pkt. 3.2) gewählt. Alternativ kann jedoch auch der Hafen Rostock in Betracht gezogen werden.

Geplant ist, die Betonelemente per LKW, Innenlader oder Sattelzug, von der Rückbaubaustelle – vorzugsweise ohne Zwischenlagerung – direkt zum Hafen zu fahren. Dort sind die Betonelemente auf Rolltrailer zu verladen und zu sichern. Mit einer speziellen Zugmaschine (Mafi) werden dann die Rolltrailer auf die RoRo-Fähre der regulären Linienverbindung Sassnitz – Sankt Petersburg verbracht.

Für den Seetransport sind 2 Tage¹⁸ veranschlagt. Nach Ankunft im Zielhafen sind die Betonbauteile per LKW über 70 km bis zur (Re)Montagebaustelle zu transportieren (Abb. 9):

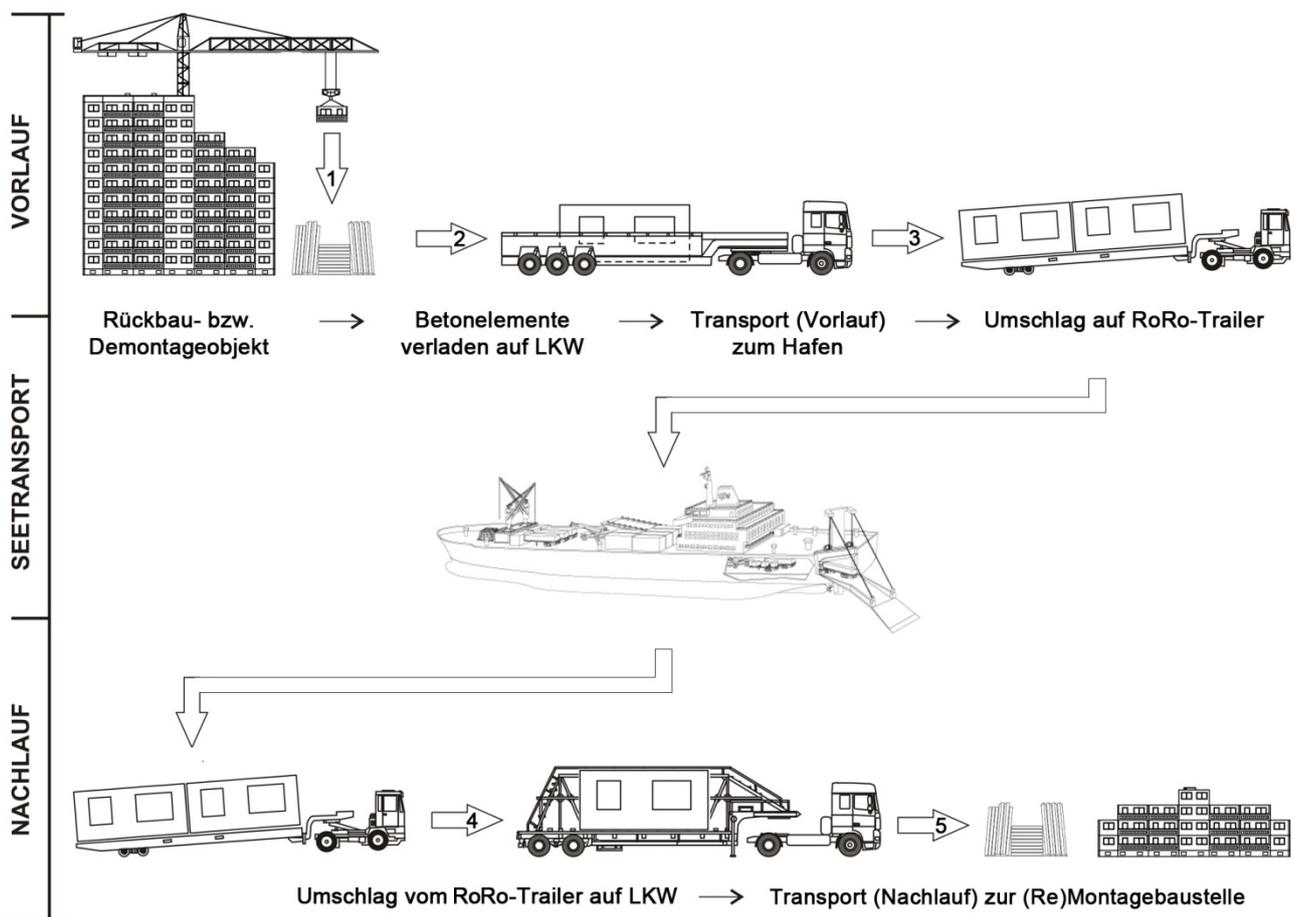


Abb. 9: Transportkonzept des Wiederverwendungsvorhabens in Nevskaja Dubrovka

¹⁷ Auskunft Transportunternehmen A.

¹⁸ Fährhafen Sassnitz, URL: <http://www.faehrhafen-sassnitz.de/index-fl.htm>.

Der Transport erfordert eine Mindestzahl an Umschlägen; im Idealfall sind 4 Umschläge bei direkter Beladung der BE auf LKW's nach der Demontage zu realisieren. Realistisch sind jedoch 5 – 6 Umschläge (s. Abb. 9, Nummerierung der Umschläge im Pfeil):

- (1) Zwischenlagern der Betonelemente auf der Rückbaubaustelle / am Spendergebäude,
- (2) Verladung der demontierten Bauteile auf der Rückbaustelle auf den LKW,
- (3) Umschlag der Betonelemente am (Ausgangs-)Hafen in Sassnitz vom LKW auf den RoRo-Trailer,
- (4) Umschlag der Betonelemente am (Ziel-)Hafen Sankt Petersburg vom RoRo-Trailer auf den LKW,
- (5) Abladen der Betonelemente auf der (Re)Montagebaustelle / Anlieferung der Bauteile; im Idealfall (Re)Montage just-in-time.¹⁹

Im ungünstigsten Fall erhöht sich der Transportprozess auf 7 – 8 Umschläge, die technologisch bedingt resp. sich aus notwendigen Zwischenlagerungen ergeben können.

Die benötigte Anzahl an Betonelementen für das Pilotvorhaben wird – wie o.a. – voraussichtlich aus mehreren Spendergebäuden stammen (s. Pkt. 2.3). In Anbetracht der Auslastung der Trailer wäre es von Vorteil, ein Zwischenlager für die Trailer im Hafen oder in Hafennähe einzurichten. Im Fährhafen Sassnitz wie auch Rostock besteht die Möglichkeit, die Fracht (Betonelemente) bis zu 4 Wochen kostenfrei zwischenzulagern. Praktischen Erfahrungen zu Folge werden voraussichtlich – wie o.a. – bereits Zwischenlager auf der Rückbaustelle erforderlich. Inwiefern zudem am Zielhafen eine Zwischenlagerfläche bereitgestellt werden muss, sollen die wissenschaftlichen Begleituntersuchungen im Zuge der Umsetzung der Pilotmaßnahme ergeben (2. Bearbeitungsstufe des FO-Projektes). Am Einsatzort der Betonbauteile (Baustelle) sind diese entsprechend dem geplanten (Re)Montageablauf sortiert nach Sortiment bereitzustellen. Insofern sind im Baustelleneinrichtungsplan entsprechende Zwischenlagerflächen auszuweisen.

Jede Zwischenlagerung und die damit verbundenen Umschläge sind mit Kosten verbunden. Zudem können durch unsachgemäßes Handling oder/und falsche Lagerung der Bauteile Beschädigungen hervorgerufen werden. Daher kommt dem logistischen Prozess besondere Aufmerksamkeit zuteil. Die Planung des Prozesses wird deshalb so vorbereitet, dass die Anzahl der Umschläge auf ein Minimum abzielt.

3.2 Allgemeine Anforderungen an den Transport der Betonelemente von der Rückbau-/Demontagebaustelle zum Fährhafen Sassnitz

Bekanntermaßen gilt: Je geringer die Entfernung vom Spendergebäude zum Hafen ist, desto kürzere Transportwege sind zu absolvieren, desto geringer fallen die Transportkosten aus und desto geringer ist die Transportbelastung auf der Straße. Die Höhe der Transportkosten und Emissionen des LKW-Einsatzes korrelieren mit der Höhe der Transportentfernung.

¹⁹ Ob ein solch optimierter Verfahrensablauf unter praktischen Bedingungen umsetzbar ist, soll im Rahmen der 2. Bearbeitungsstufe des FO-Projektes geprüft werden.

Um abschätzen zu können, wie viele LKW-Fahrten für den Bauteiltransport notwendig sind, wird das maximal zulässige Ladegewicht von 20 bis 24 t pro Fahrzeug zugrunde gelegt. Daraus resultiert, dass pro LKW-Ladung jeweils max. 4 – 5 Außen- oder Innenwände oder 7 Deckenplatten des WBS 70-Sortiments transportiert werden können (vgl. Tab. 2). Hochgerechnet auf die erforderliche Betonelementeanzahl ergeben sich etwa 100 – 120 LKW-Fahrten vom Spendergebäude bis zum Hafen Sassnitz. Gleiches trifft zu für die LKW-Fahrten vom Hafen Sankt Petersburg bis zur (Re)Montagebaustelle.

Detaillierte Anforderungen an die Beladung beim LKW-Transport sind dem Bericht „Wiederverwendung von Plattenbauteilen in Osteuropa“²⁰ entnehmbar.

Die Organisation des Vorlaufprozesses ist abhängig vom Demontageablauf der jeweiligen Rückbaumaßnahme, den örtlichen Bedingungen und Platzverhältnissen am Rückbaustandort. Beengte Platzverhältnisse erfordern immer sukzessiv einen Abtransport der Bauelemente.

Ideal wäre es zwar, die Betonelemente auf dem Gelände des Fährhafens in Deutschland zwischenzulagern, um die gesamte Fracht (658 BE) mit einem Schiff zu transportieren. Aber die 4-wöchige kostenfreie Lagerung im Hafen wird nicht ausreichen für den Antransport der gesamten Bauteilmenge aus verschiedenen Spendergebäuden. Außerdem wird die begrenzt verfügbare Anzahl an Transportgestellen für die Wandtransporte voraussichtlich dazu führen, dass mehrere Schiffstransporte zu planen sind (s. Pkt. 3.3).

3.3 Generelles zum Seetransport

Während die Transporte mit LKW relativ flexibel gestaltet werden können bzw. an veränderte terminliche Bedingungen operativ anpassbar sind, ist der Seetransport an feste Vorgaben gebunden wie z.B. an Abfahrtstermine. Die deutschen Ostseehäfen Sassnitz (und Rostock) verfügen über eine gut ausgebaute Infrastruktur und reguläre Fährverbindungen nach Sankt Petersburg.

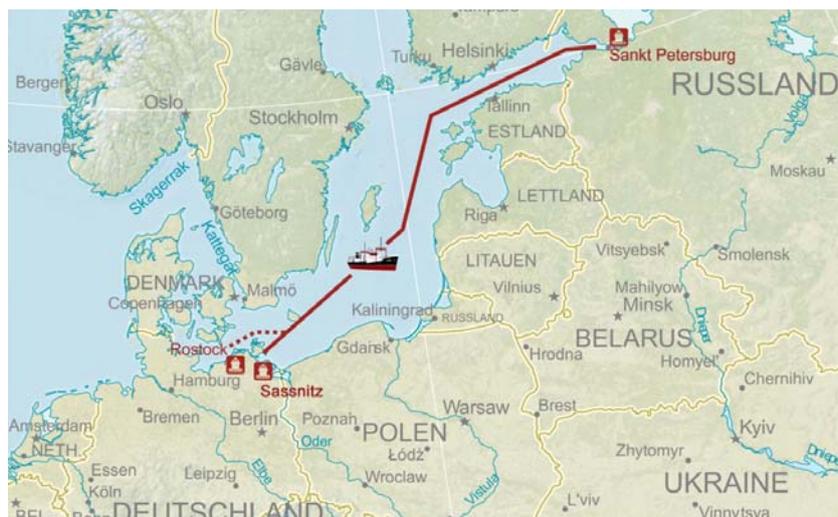


Abb. 10: Übersichtskarte des Linienverkehrs per Schiff nach Sankt Petersburg

²⁰ Mettke, A. et.al.: Wiederverwendung von Plattenbauteilen in Osteuropa, Endbericht – Bearbeitungsphase I, FO-Vorhaben DBU-AZ 22286-23, BTU Cottbus, 2008, S. 173 ff.

Vom Fährhafen Sassnitz zum Hafen Sankt Petersburg verkehren zwei RoRo-Fährschiffe: die „TransRussiaExpress“ (Reeder Finnlines Group) als reguläre Direktverbindung, die MS Transeuropa und die MS Translubeca mit 1.800 und 3.200 Ladungsmetern. Sie bedienen die Verbindung einmal pro Woche und haben eine Ladekapazität von ca. 130 und ca. 230 Trailern. Die Fahrzeit beträgt 48 Stunden²¹.

Im Fährhafen Sassnitz stehen einheitliche 40'RoRo-Trailer²² (Länge: 12,0 m; Breite: 2,50 m, s. Abb. 11) in ausreichender Anzahl – wie o.a. – zur Verfügung. Je nach Ausführungsart ist eine Zuladung bis zu 60 t bzw. 95 t möglich. Im Hinblick auf die Geometrie der Betonelemente würden sich 60'RoRo-Trailer (18,0 m Länge) am besten eignen. Diese sind jedoch nur im Hafen Rostock verfügbar und nach Auskünften der Reederei durch anderweitige Transporte ausgelastet. Daher konzentrieren sich die weiteren Ausführungen auf die Rahmenbedingungen des Seetransports ab Fährhafen Sassnitz mit 40'RoRo-Trailern.



Abb. 11: Rolltrailer für RoRo-Fähre im Hafen Sassnitz 40' Länge (li.) und Rostock 60' (re.) Länge

Um eine optimale Auslastung der Rolltrailer zu gewähren, wurden mehrere Beladungsvarianten betrachtet. In der Anlage 2 ist für die Gesamtzahl der zu transportierenden Betonelemente für das Pilotprojekt (658 BE) ein Beladungsvorschlag aufgeführt. Berücksichtigt wurden die Vorgaben zur Beladung mit Betonelementen aus Sicht des Beförderers (Überbreite, Überlänge, Ladungssicherung, Anschlagmöglichkeiten etc.) sowie aus bautechnischer Sicht (Einbaulage, Zwischenhölzer etc.).

Die Verladung und der Transport der Betonbauteile erfolgt grundsätzlich in Einbaulage. Dabei sind die waagrecht zu transportierenden Betonelemente (Deckenplatten, Loggiadecken, Treppenpodeste und -stufen) auf dem Rolltrailer übereinander mit Zwischenhölzern und Vorlagen zum Kantenschutz zu stapeln. Die Stapelhöhe inkl. der Zwischenhölzer soll die 1,5-fache Breite des Elements bzw. 3,00 m nicht überschreiten²³. Letztendlich ist die Anzahl der gestapelten Betonelemente durch die jeweilige maximale Zuladung des Rolltrailers begrenzt. Hierzu ist beispielhaft in Abb. 12 die maximale Beladung eines 40' RoRo-Trailers mit insgesamt 27 Deckenelementen skizziert.

²¹ Auskunft Transportunternehmen A; Fährhafen Sassnitz, URL: <http://www.faehrhafen-sassnitz.de/index-fl.htm>.

²² '(ft) = Fuß (engl. foot); 1 ft = 0,3048 m; 40 ft ≈ 12,0 m.

²³ Bundesvorstand des FDGB (Hrsg.): Montage von Fertigteilen, Verlag Tribüne Berlin, 1970, S. 22; Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau e.V. (Hrsg.): Merkblatt zur Ladungssicherung von konstruktiven Betonfertigteilen (Nr. 9), Bonn, 09/2010.

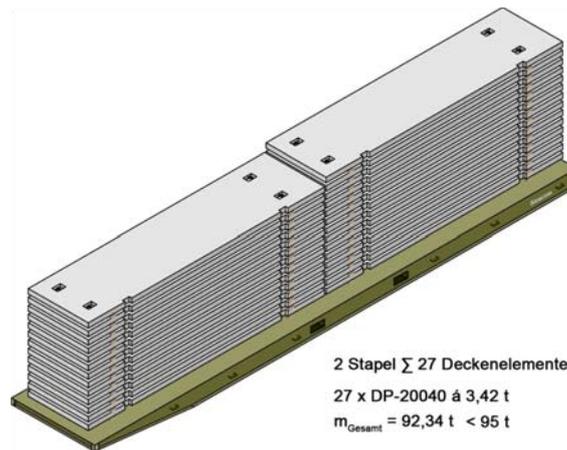


Abb. 12: Variante mit max. Beladung eines 40'RoRo-Trailers (95 t) mit 27 Deckenplatten (B x L: 1,80 x 6,00 m), Darstellung ohne Ladungssicherung

Der Transport von senkrecht zu transportierenden Wandelementen sieht grundsätzlich den Einsatz spezieller Transportgestelle vor. Den Recherchen der Fachgruppe Bauliches Recycling zufolge, sind die Bestände an Transportgestellen ehemaliger Wohnungsbaukombinate und Fertigteilterwerke zum größten Teil verschrottet worden. Heutzutage werden die Wandelemente fast ausschließlich auf der Straße per Innenlader (Flatliner) transportiert, da die Verladung und das Absetzen der Platten durch die bordeigenen Austauschpaletten effizienter gestaltet werden kann.

Eine optimale technische Lösung für den Seetransport könnte der Innenlader (befestigt auf dem RoRo-Trailer) oder bspw. eine zerlegbare Stahlkonstruktion, die aus zwei allseitig miteinander verbundenen Stapelrechen besteht, bieten (s. Abb. 13). Der Beladungsvorschlag für einen 40'RoRo-Trailer mit 6,00 m langen Außenwänden inkl. Transportgestell ist in Anlehnung an existierende Konstruktionsunterlagen ehemaliger Wohnungsbaukombinate²⁴ in Abb. 13 veranschaulicht.

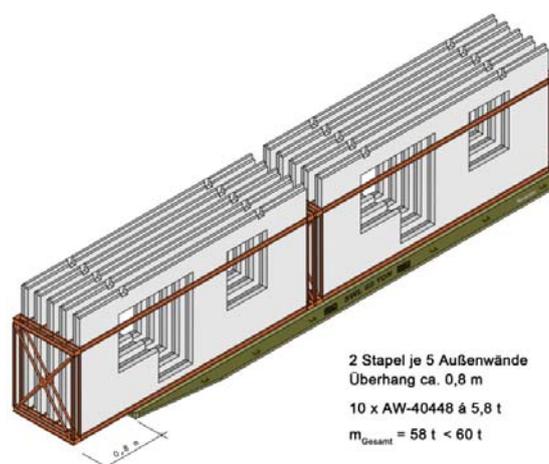


Abb. 13: Variante der Beladung eines 40'RoRo-Trailers mit 10 Außenwänden (L: 6,00 m) mit Überhang; Darstellung ohne Ladungssicherung

²⁴ Datenblatt Stapelrechen (Transport) Typ Berlin, Zeichn.-Nr. 110-01.00.00, WBK Berlin, 1973.

Ähnlich wie bei einer Innenlader-Palette sind die Wandelemente (auf ihrer Tragschicht gelagert) in gleichmäßigen Abständen senkrecht nebeneinander aufgestellt. Zu Zwecken der Ladungssicherung soll der Stapel zusätzlich gegen Kippen in Querrichtung befestigt werden. Die Konstruktion ist für die Beladung von Wandelementen in unterschiedlichen Längen auszulegen. Bei einer Gesamtbreite von maximal 2,50 m (Breite des Trailers) können 5 Außenwände, 26 cm dick (s. Tab. 2), nebeneinander gestellt werden.

Der Beförderer lässt an einer Seite einen Überstand in der Längsachse bis zu einem Meter zu. Der Überstand darf jedoch keine Bruchgefahr für die verladenen Wandplatten darstellen. Deshalb sollte das Betonelement auf dem Querträger der Stahlkonstruktion aufliegen. Durch eine statische Berechnung ist dies nachzuweisen. Die Ladung ist ohne Einschränkungen gegen Verrutschen und Beschädigungen zu sichern.

Der Seetransport kann je nach Verfügbarkeit der Elemente in einem – wie zuvor empfohlen – oder mehreren Lot(s)²⁵ erfolgen. Insgesamt werden **32 RoRo-Trailer** (40') benötigt (vgl. Anlage 2.1 – 2.5) davon:

- 19 RoRo-Trailer mit einer maximalen Zuladung von 95 t (MA40-95t),
- 13 RoRo-Trailer mit einer maximalen Zuladung von 60 t (MA40-60t).

3.4 Allgemeines zum Transport der Betonelemente vom Hafen Sankt Petersburg zur (Re)Montagebaustelle

Für den Abtransport der Betonelemente vom Hafen Sankt Petersburg zur ca. 70 km entfernten Baustelle in Nevskaja Dubrovka (Nachlauf) ist die Wahl des geeigneten Fahrzeugparks und ggf. der erforderlichen Transportgestelle von den örtlich eingebundenen Transportunternehmen des Pilotvorhabens abhängig. Es gelten die gleichen Sicherungsmaßnahmen für den Umschlag und den Straßentransport wie in Deutschland (s. Pkt. 3.1).

3.5 Empfehlung

Um die Aufwendungen der erforderlichen Transportumschläge zu minimieren, wird weitergehend empfohlen, die Bauteile in kompakten Transporteinheiten (Transportgestell + Betonbauteile) zu befördern: Die Bestückung der Transportgestelle sollte bereits auf der Demontagebaustelle erfolgen. Auf den Zwischenlagern der Häfen sind dann ausschließlich die bestückten Transporteinheiten umzuschlagen. In den Häfen stehen auch Kräne mit entsprechenden Leistungsparametern zur Verfügung. Die Entladung der einzelnen Betonelemente aus den Transportgestellen würde dann erst auf der (Re)Montagebaustelle erfolgen.

Die Umschlagszeiten lassen sich somit verkürzen. Bei gegebener Sicherung der Transportgestelle würde sich die Ladungssicherung vereinfachen und die Betonbauteile sind so besser vor Transportschäden geschützt. Allerdings müssten dann auch für die Vor- und Nachläufe Sattelzüge mit der entsprechenden Transportleistung (ca. 30 - 45 t) eingesetzt werden.

²⁵ Lot = Charge, Ladungseinheit [ökon.]

4 Kosten Transporte, Umschläge und Zwischenlagerungen

Die Umsetzung des Pilotprojektes in Sankt Petersburg wird seitens des Investors / Bauherrn / Bauträger nach jetzigem Stand zweifelsohne ausschließlich von der Wirtschaftlichkeit des Vorhabens bestimmt. Stellen sich keine finanziellen Vorteile gegenüber dem Einsatz neuer, konventioneller Baumaterialien ein, wird das Vorhaben scheitern – trotz exorbitanter ökologischer Vorteile (s. Pkt. 6).

Grundlage ist deshalb eine realitätsgerechte Kalkulation der zu erwartenden Transportkosten für die Betonelemente der hier gewählten Kombination aus Seetransport und Vor- / Nachläufen per LKW.

Neben den rein technisch und logistisch zu lösenden Fragestellungen sind Angebote zu Transporttarifen bei Transport- und Logistikunternehmen eingeholt worden.

Eine wiederholte Anfrage bei einem regionalen Transportunternehmen²⁶ zu den Konditionen eines direkten, ausschließlichen LKW-Transportes des Bauteilsortiments von der Rückbau-/Demontagebaustelle nach Sankt Petersburg ergab (unentladen, unverzollt):

- je Innenlader-LKW: 4.500,00 € bis 4.800,00 € für die stehende Verladung der Wandelemente (je LKW Ladelänge 8,00 m, max. Zuladung ca. 18,0 bis 20,0 t inkl. Gewicht für darüber hinaus notwendige Transportgestelle),
- je Sattel-LKW mit bis zu 3,00 m Ladungsbreite: 4.200,00 € für die liegende Verladung der Deckenplatten (je LKW ca. 12,0 bis 13,6 m Ladelänge, max. Zuladung ca. 18,0 bis 20,0 t inkl. Gewicht für evtl. Ladematerial).

In dieser Kalkulation inbegriffen ist eine freie Ladezeit von 1 Tag (24 h), freie Zeit für Verzollung und Entladung von 2 Tagen (48 h). Für jeden weiteren Zeitaufwand wird ein Standgeld von 450,00 €/LKW (Innenlader) bzw. 350,00 €/LKW (Sattelzug) pro angefangene 24 Stunden berechnet.

Bei einer maximalen Zuladung von 20,0 t pro LKW und einer Gesamtmasse der Betonelemente von 2.433 t bedeutet dies eine Anzahl von 120 LKW-Fahrten von der Rückbau-/Demontagebaustelle nach Sankt Petersburg. Im günstigsten Fall würden insgesamt rd. 520.000 € Transportkosten entstehen (60 Fahrten mit Innenlader á 4.500 €, 60 Fahrten mit Sattelzug á 4.200 €). Aus logistischer und finanzieller Sicht entfällt diese Transportvariante.

Die Transportkostenabfragen zum Schifftransport bei deutschen und russischen Logistikunternehmen²⁷ ergaben Preisunterschiede. Auch das Angebot an verfügbaren RoRo-Trailern ist unterschiedlich. Während seitens des russischen Unternehmens nur 40'RoRo-Trailer mit einer maximalen Zuladung von 76,0 t zur Verfügung stehen, kann beim deutschen Logistiker auf 40'RoRo-Trailer mit maximal möglichen Ladegewichten von 60,0 t und 95,0 t zurückgegriffen werden. Letzteres erlaubt bezüglich des angesetzten Bauteilsortiments einen größeren Spielraum für die Beladung. In der weiteren Betrachtung wird die unter Pkt. 3.5 aufgeführte Empfehlung, der Bildung von kompakten Transporteinheiten, zunächst ausgenommen.

Die nachfolgende Kostenkalkulation zum Seetransport (s. Pkt. 4.2 ff.) basiert daher auf den Kostenwerten des im Hafen Sassnitz ansässigen Logistikunternehmens²⁸.

²⁶ Angebotsschreiben regionales Transportunternehmen zum LKW-Transport des gewählten Betonelementesortiments nach Sankt Petersburg, vom 01.03.2010.

²⁷ Angebotsabfragen zum Seetransport von Betonfertigteilen Hafen Sassnitz – Sankt Petersburg: Transportunternehmen A, vom 03.02.2010; Transportunternehmen B, vom 08.02.2010.

²⁸ Angebotsabfrage zum Seetransport von Betonfertigteilen Hafen Sassnitz – Sankt Petersburg: Angebotsschreiben Transportunternehmen A, vom 03.02.2010.

4.1 Zusammensetzung der Transport- und Umschlagkosten

Die Transportkosten (K_{TUL}) der betrachteten Überführungsvariante LKW – Seetransport – LKW vom Spendergebäude bis zur (Re-)Montagebaustelle setzen sich wie folgt zusammen:

$$K_{TUL} = K_{VL} + K_{UA} + K_{LS} + K_{SF} + K_{TR} + K_{UB} + K_{AF} + K_{NL} (+ K_{Zoll}) \quad (1)$$

Indizes:

VL	Vorlauf
UA	Umschlag A (vom LKW auf Rolltrailer in einem deutschen Hafen)
LS	Ladungssicherung
SF	Seefracht
TR	Tara Retour
UB	Umschlag B (vom RoRo-Trailer auf LKW im Hafen Sankt Petersburg)
AF	Abfertigungsgebühren im Zielhafen
NL	Nachlauf

Ausgegangen wurde davon, dass die Kosten für die Umschläge auf der Rückbaubaustelle und der (Re-)Montagebaustelle in den Leistungspaketen der Rückbau- bzw. Baufirma enthalten sind. Daher werden in der Kostenkalkulation nur die Umschläge in den Häfen berücksichtigt (K_{UA} , K_{UB}).

Diese einzelnen Kostenpunkte werden auf der Grundlage der eingeholten Transportangebote für den LKW- und Seetransport des zugrundegelegten Betonelementesortiments errechnet.

Vorlauf (VL). Die Kosten für die Anlieferung der Betonelemente zum Hafen sind – wie o.a. – abhängig von der Art der eingesetzten Fahrzeuge, der Transportentfernung, der Preisentwicklung für Kraftstoffe und weiteren regionalen und zeitlichen Faktoren. Für die Vorlaufkosten (K_{VL}) wurde ein Durchschnittswert von 14,00 €/t auf 100 km Entfernung ermittelt²⁹. Damit ergibt sich

$$K_{VL} = T_{VL} \cdot m_{BE,gesamt} \quad (2),$$

wobei $m_{BE,gesamt}$ die Gesamtmasse der zu transportierenden Betonelemente und T_{VL} der entsprechende Tarif für eine bestimmte Transportentfernung darstellt.

Die Kosten für die Beladung der Transportfahrzeuge auf der Demontagebaustelle werden hier nicht gesondert berücksichtigt. Es wird vorausgesetzt, dass der Turmdreh- bzw. Fahrzeugkran der Demontage für die Fahrzeugbeladung genutzt wird und die Aufwände für den Umschlag bereits in der Teilleistung der Rückbaufirma abgedeckt sind. Werden die Betonelemente nicht als Bauteil in Gänze wiederverwendet, so sind sie einer RC-Anlage zuzuführen resp. müssen entsorgt werden.

²⁹ vgl. Angebotsabfrage Kosten Lkw-Transport bei Transportunternehmen, in: Lüdtko, Moritz: Kostenuntersuchungen zum Einsatz von Altbetonanteilen anhand eines Referenzobjektes, Diplomarbeit, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus (unveröffentlicht).

Umschlag A. Ladungssicherung (UA+LS). Am Hafen sind die Betonelemente entweder auf einer ausgewiesenen Fläche zwischenzulagern oder auf 40'RoRo-Trailer umzuladen, zu sichern und im beladenen Zustand zwischenzulagern. Die Ladungssicherung kostet im Schnitt 50,00 € pro Ladeinheit bzw. pro Rolltrailer. Die Tarife für den Umschlag (T_{UA}) selbst sind von Hafen zu Hafen sehr unterschiedlich und betragen bspw. in Rostock 35,00 €/t; hingegen im Fährhafen Sassnitz lediglich 15,00 €/t.

Die Kosten für den Umschlag der Betonelemente auf RoRo-Trailer (K_{UA}) und für die Ladungssicherung (K_{LS}) ergeben sich aus

$$K_{UA} = T_{UA} \cdot m_{BE,gesamt} \quad (3),$$

$$K_{LS} = T_{LS} \cdot n_{MA} \quad (4),$$

wobei T_{LS} der Tarif für die Ladungssicherung und n_{MA} die Anzahl der benötigten Rolltrailer ist.

Seefracht (SF).³⁰ Angeboten werden pauschale Tarife für Rolltrailer mit maximal 60,0 t und 95,0 t Ladung. Je nach maximaler Zuladung der RoRo-Trailer betragen im Hafen Sassnitz die Frachttarife (T_{SF}) 1.150,00 € für 60,0 t-Trailer ($T_{MA,60t}$) und 1.500,00 € für 95,0 t-Trailer ($T_{MA,95t}$).

Überschreitet die Ladung die Trailer-Ladebreite von 2,50 m, so wird auf die entsprechende Fracht (ein Überbreitenzuschlag ($k_{Ü}$) von 25 % erhoben. Dies ist z.B. für liegend zu transportierende WBS 70-Deckenplatten mit 3,00 m Breite zutreffend.

Ein Überstand der Ladung in der Längsachse von bis zu 1,00 m ist zulässig und führt keine weiteren Kosten mit sich. Allerdings ist dieser Überstand nur am hinteren Ende des Rolltrailers zulässig, damit die Schwanenhalskupplung zur Zugmaschine nicht beeinträchtigt wird.

Zur Fracht kommt grundsätzlich ein Bunker-Zuschlag (k_{BAF}) hinzu. Zum Zeitpunkt der Angebotsabfrage betrug dieser 34 % der Frachtsumme. Der Eiszuschlag (Z_{Eis}) in Höhe von 120,00 € pro 40'RoRo-Trailer ist in der Zeit vom 01. Dezember bis 30. April fällig.

Die Gesamtkosten für den Fährtransport (exklusive der obligatorischen Versicherung) setzen sich wie folgt zusammen:

$$K_{SF} = (T_{SF} \cdot n_{MA} \cdot k_{Ü}) + Z_{Eis} \quad (5),$$

Da hier für die 40'RoRo-Trailer (60,0 t und 95,0 t) ein einheitlicher Bunker-Zuschlag (k_{BAF}) aufgeschlagen wird, gilt zudem in diesem Fall:

$$T_{SF} = (T_{MA,60t} + T_{MA,95t}) \cdot k_{BAF} \quad (6).$$

$$T_{SF,MA,60t} = T_{MA,60t} \cdot k_{BAF} \quad (7),$$

$$T_{SF,MA,95t} = T_{MA,95t} \cdot k_{BAF} \quad (8).$$

³⁰ Angebotsabfrage zum Seetransport von Betonfertigteilen nach Sankt Petersburg: Angebotsschreiben Transportunternehmen A, vom 03.02.2010.

Umschlag B. Abfertigung im Hafen (UB). Im Hafen Sankt Petersburg werden im Gegensatz zu den meisten deutschen Häfen Umschlag- und Abfertigungsgebühren separat in Rechnung gestellt.

Für den Umschlag / das Verladen der Betonelemente vom RoRo-Trailer auf LKW werden als Kostentarife (T_{UB}) für Stückgüter von 251,00 kg bis 3.000,00 kg Bruttogewicht 37,79 USD/Stk. und für Stückgüter über 3.000,00 kg brutto 30,48 USD/Stk. aufgerufen. Die „reinen“ Umschlagkosten (K_{UB}) ergeben sich aus der Gesamtanzahl der einzeln zu verladenden Betonelemente ($n_{BE,gesamt}$) und dem o.a. Umschlagstarifen (T_{UB}).

Die Hafen-Abfertigungsgebühren (K_{AF}) beinhalten den Organisations- und Begleitungsaufwand für Umschlagsprozesse sowie die Abwicklung mehrerer Formalitäten (Release-Order, Zufahrtsgenehmigungen für das Hafengelände u.ä.). Diese werden mit insgesamt 65,00 USD pro 40'RoRo-Trailer zzgl. 18 % MwSt. angeboten.

Diese Kostenpunkte werden wie folgt kalkuliert:

$$K_{UB} = T_{UB} \cdot n_{BE,gesamt} \quad (9),$$

$$K_{AF} = T_{AF} \cdot n_{MA} \quad (10).$$

Tara Retour (TR). Die Wandelemente sind grundsätzlich in Transportgestellen zu befördern. Diese Transportgestelle, unabhängig von der Art (Kassetten, Schrägbock-Gestelle oder Innenlader-Paletten), müssen zum Ausgangshafen Sassnitz zurücktransportiert werden (um die nächste Ladung aufzunehmen). Diese Transportgestelle sind auf den RoRo-Trailern platzsparend zu verladen und zurückzubefördern. Die Netto-Fracht für solche Tara Retouren wird in Höhe von 700,00 € pro 40'RoRo-Trailer (MA40) offeriert (T_{TR}). Hinzuzurechnen ist ein Bunker-Zuschlag (k_{BAF}) von 34 % der Frachtsumme (lt. Angebotsabfrage). Diese Kosten werden aber in der Kalkulation zur Transportkostenermittlung vorerst nicht berücksichtigt, da keine konkreten Angaben zur Art der Gestelle, ihre Anzahl, Eigenmasse etc. gemacht werden können.

$$K_{TR} = T_{TR} \cdot k_{BAF} \cdot n_{MA} \quad (11).$$

Nachlauf (NL). Die Kosten für den Abtransport von Betonelementen per LKW vom Hafen Sankt Petersburg zur 70 km entfernten Baustelle in Nevskaja Dubrovka wird (adäquat dem Vorlauf) nach einem Durchschnittstarif (T_{NL}) kalkuliert. Diese beträgt ca. 15,00 €/t³¹.

$$K_{NL} = T_{NL} \cdot m_{BE,gesamt} \quad (12)$$

Der finanzielle Aufwand zum Abladen der Betonelemente vom LKW-Lastzug auf der (Re)Montagebaustelle wird bei dieser Transportkostenschätzung nicht berücksichtigt, da auch im Fall des Einsatzes von neuen Betonbauteilen diese antransportiert und zu entladen sind. Im Betonelemente-Plan sind die Flächen zur Zwischenlagerung auszuweisen. Die sachgerechte Lagerung der Betonelemente in Einbaulage ist sicherzustellen.

³¹ gem. Angabe des russ. Projektpartner.

Die Zollgebühren (K_{Zoll}) sind vom Empfänger auf russischer Seite (Hafen Sankt Petersburg) zu entrichten. Die aufgerufenen Zollentgelte ergeben sich aus dem deklarierten Warenwert und der Art der Ware. Auf Basis der angesetzten 658 Betonelemente (2.433 t) erfolgte seitens der russischen Projektpartner (dort in Abstimmung mit zuständigen Mitarbeitern im Hafen Sankt Petersburg) eine Ermittlung der Zollgebühren einerseits unter Berücksichtigung der Vorlaufkosten, andererseits ohne Berücksichtigung der Vorlaufkosten zum Hafen Sassnitz (vgl. Tab. 4). Die Höhe der Zollgebühren im Empfängerland ist vor der Abwicklung der Transportaufgabe zu ermitteln und in die Gesamtkalkulation der finanziellen Aufwände des (See)Transportes der Betonelemente einzubeziehen.

4.2 Übersicht zu Transporttarifen und –kosten

Die ermittelten Tarife für den Transport der Betonelemente von der Rückbaustelle über den Fährhafen Sassnitz und den Hafen Sankt Petersburg bis hin zur (Re)Montagebaustelle in Nevskaja Dubrovka sind in der nachstehenden Tab. 3 zusammengestellt.

Tab. 3: Zusammenfassung der Transportkosten für den Transport der Betonelemente über den Fährhafen Sassnitz nach Sankt Petersburg

Transportkosten (Abk.)	Maßnahme / Lagerung	Tarif [€]	pro Einheit	Bemerkungen
T _{VL}	Vorlauf	14,00	pro t	für 100 km Transportentfernung
T _{UA}	Umschlag A	15,00	pro t	
T _{LS}	Ladungssicherung	50,00	pro MA40	
T _{SF}	Seefracht	1.541,00	pro MA40, max. 60 t	1.150,00 EUR/MA40 x 1,34 (BAF)
		1.926,25	pro MA40, max. 60 t mit Überbreite	1.150,00 EUR/MA40 x 1,34 (BAF) x 1,25 (Ü-Zuschlag)
		2.010,00	pro MA40, max. 95 t	1.500,00 EUR/MA40 x 1,34 (BAF)
		2.512,50	pro MA40, max. 95 t mit Überbreite	1.500,00 EUR/MA40 x 1,34 (BAF) x 1,25 (Ü-Zuschlag)
T _{TR}	Tara Retour	938,00	pro MA40	700.00 €/MA40 x 1,34 (BAF)
T _{UB}	Umschlag B	22,42	pro Kollo (pro BE)	30,48 USD/MA40 x 0,7355 EUR/USD
T _{AF}	Abfertigungsgebühren	56,41	pro MA40	65,00 USD/MA40 x 1,18 (MWSt) x 0,7355 USD/EUR
T _{NL}	Nachlauf	15,00	pro t	für 70 km Transportentfernung

4.3 Kosten und Bedingungen für die Zwischenlagerung der Betonelemente

Empfohlen wird, die Betonelemente, verladen auf RoRo-Trailern auf dem Hafengelände Sassnitz, zwischenzulagern. D.h. die BE sind bei Anlieferung unmittelbar vom Lastzug auf die RoRo-Trailer zu verladen. Voraussetzung hierfür ist, dass Abstands-/Auflagehölzer (Bohlen) für die Deckenplatten und ausreichend Transportgestelle für die Wandelemente bereit stehen (s. Anlage 2.5).

Zu nutzen sind die Vorort vorhandenen Krananlagen für den Ladungsumschlag im Terminal (s. Pkt. 6.3 ff.) Die Leistungen Umladen und Ladungssicherung sind im Leistungspaket der Reederei enthalten. Mit entsprechender Ladungssicherung versehen, sind die beladenen RoRo-Trailer bis zu ihrem Abtransport mittels Zugfahrzeug auf das Schiff auf dem dafür vorgesehen Zwischenlager bzw. Vorhalteplatz aufzureihen.

Im Hafen Sassnitz ist eine Zwischenlagerung der beladenen und gesicherten Rolltrailer – wie in Pkt. 3 aufgeführt – für bis zu 4 Wochen innerhalb des dazu ausgewiesenen Hafengebietes kostenfrei.

Daher wird die Bedingung gestellt, die vorgegebene kostenfreie Zwischenlagerungsfrist nicht zu überschreiten.

4.4 Kalkulation der Transportkosten für das angesetzte Elementesortiment im (Wieder-)Neubau

Anhand der in Pkt. 4.2 erläuterten Preise und dem Betonelementesortiment für das Pilotvorhaben (Tab. 2) lassen sich die Transportkosten kalkulieren. Die Anzahl der benötigten Trailerladungen für den Seetransport (insgesamt 19 RoRo-Trailer von 95,0 t Zuladung und 13 RoRo-Trailer von 60,0 t Zuladung) ist dem Beladungsplan in der Anlage 2 zu entnehmen.

Die Transportkosten (K_{TUL}) für die insgesamt 658 Betonelemente belaufen sich bei einem angenommenen Vorlauf per LKW (100 km), dem Seetransport mittels RoRo-Fähre, dem Nachlauf per Lkw (70 km) und unter Berücksichtigung der Zollgebühren auf ca. **231.000 €** (s. Tab.4, vgl. Tab. 3),

Die durchschnittlichen Transportkosten pro Betonelement für das angesetzte Sortiment in der vorliegenden Beladungsvariante ergeben sich aus

a) bezogen auf die Gesamtanzahl Betonelemente mit:
$$K_{BE} = \frac{K_{TUL}}{n_{BE,gesamt}} \quad [\text{€ je BE}] \quad (13),$$

b) in Abhängigkeit der Einzelmasse je Betonelement mit:
$$K_{BE} = \frac{K_{TUL}}{m_{BE,gesamt}} \cdot m_{BE} \quad [\text{€ je BE}] \quad (14).$$

Setzt man nun die Transportkosten K_{TUL} von 231.000 € (inkl. Vorlauf und Zollgebühren) ins Verhältnis zur Gesamtanzahl von 658 BE, so ergibt sich ein finanzieller Transportaufwand von durchschnittlich ca. 351 € je Betonelement.

Tab. 4: Kalkulation der Transportkosten für das ausgewählte Betonelementesortiment

Maßnahme / Leistung	Tarif T	Einheit	Formel	Masse / Anzahl	Einheit	Summe
Vorlauf ³²	14,00	€/t	$K_{VL} = T_{VL} \cdot m_{BE,gesamt}$ (2)	2.433	t	34.062,00 €
Umschlag A ³³	15,00	€/t	$K_{UA} = T_{UA} \cdot m_{BE,gesamt}$ (3)	2.433	t	36.495,00 €
Ladungssicherung	50,00	€/MA40	$K_{LS} = T_{LS} \cdot n_{MA}$ (4)	32	MA40	1.600,00 €
Seefracht für MA40-60t *	1.541,00	€/MA40	$K_{SF,MA,60t} = T_{SF,MA,60t} \cdot n_{MA,60t}$ (5,7)	13	MA40	20.033,00 €
Seefracht für MA40-95t **	2.010,00	€/MA40	$K_{SF,MA,95t} = T_{SF,MA,95t} \cdot n_{MA,95t}$ (5,8)	19	MA40	38.190,00 €
<i>Zollgebühren für 658 BE (Vorlauf mitgerechnet):</i>						47.520 €
<i>Zollgebühren für 658 BE (Vorlauf nicht mitgerechnet):</i>						34.965 €
Umschlag B ³⁴	22,42	€/BE	$K_{UB} = T_{UB} \cdot n_{BE}$ (9)	658	BE	14.752,00 €
Abfertigungsgebühren	56,41	€/MA40	$K_{AF} = T_{AF} \cdot n_{MA}$ (10)	32	MA40	1.805,00 €
Nachlauf ³⁵	15,00	€/t	$K_{NL} = T_{NL} \cdot m_{BE,gesamt}$ (12)	2.433	t	36.495,00 €
Gesamt (K_{TUL}): inkl. Zollgebühren (inkl. Vorlauf 100,0 km)						230.955 €
Gesamt (K_{TUL}): ohne Zollgebühren (inkl. Vorlauf 100,0 km)						183.435 €
Gesamt (K_{TUL}): inkl. Zollgebühren (ohne Vorlauf)						184.335 €
* $T_{SF,MA,60t} = T_{MA,60t} \cdot k_{BAF} = 1.150,00 \text{ €} \cdot 1,34 = 1.541,00 \text{ €}$						
** $T_{SF,MA,95t} = T_{MA,95t} \cdot k_{BAF} = 1.500,00 \text{ €} \cdot 1,34 = 2.010,00 \text{ €}$						
[vgl. Tab. 3, ein Eiszuschlag Z_{Eis} (01.12. – 30.04.) sowie ein Überbreitenzuschlag (k_U) wird nicht berechnet]						

Differenziert man nun zwischen den einzelnen Elementengewichten und setzt diese in Bezug zu den Gesamtkosten des Bauteiltransportes, so ergeben sich im Schnitt für die jeweiligen Betonelemente Transportkosten in einer Spanne von ~ 98 € (Treppenpodest) bis ~ 551 € (6,00 m Außenwand), vgl. hierzu Tab. 5.

Um zu ermitteln, wie weit die Demontagebaustelle vom Hafen entfernt sein kann, damit die Wirtschaftlichkeit sowie die Umweltverträglichkeit (s. Pkt. 6) noch gegeben sind, wurde der Break-Even-Point ermittelt (Pkt. 5.4 und 5.6).

³² vgl. Angebotsabfrage Kosten LKW-Transport bei Transportunternehmen, in: Lüdtko, Moritz: Kostenuntersuchungen zum Einsatz von Altbetonteilen anhand eines Referenzobjektes, Diplomarbeit, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus (unveröffentlicht).

³³ gem. Angebot Transportunternehmen A, vom 03.02.2010.

³⁴ Umschlag B und Abfertigungsgebühren lt. Angebot von Transportunternehmen B, vom 08.02.2010.

³⁵ aktuelle Preisrecherchen russ. Projektpartner, Route von ca. 70 km vom Hafen Sankt Petersburg bis Dubrovka, Leningrader Gebiet.

In der Tab. 5 werden drei Kalkulationsvarianten dargestellt:

- (1) Variante 1: Transportkosten pro Betonelement inkl. 100 km Vorlauf ohne Zollgebühren,
- (2) Variante 2: Transportkosten pro Betonelement inkl. 100 km Vorlauf und Zollgebühren,
- (3) Variante 3: Transportkosten pro Betonelement ohne Vorlaufkosten, aber inkl. Zollgebühren.

Für die Kostenermittlung wird der Beladungsvorschlag auf die RoRo-Trailer für 658 Betonbauteile gemäß Anlage 2.1 – 2.5 zu Grunde gelegt. Im Weiteren wird auf die Tab. 2 und 3 verwiesen.

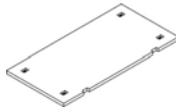
Tab. 5: Durchschnittliche Transportkosten pro Betonelement für den Transport des angesetzten Sortiments im Pilotprojekt

Betonelement	Elemente-Nr.	Masse [t]	Transportkosten		
			Variante 1	Variante 2	Variante 3
			pro BE, inkl. Vorlauf 100 km, exkl. Zoll [€]	pro BE, inkl. Vorlauf 100 km, inkl. Zoll [€]	pro BE, exkl. Vorlauf 100 km, inkl. Zoll [€]
Deckenplatte	DP-20040	3,42	257,83	324,66	259,13
Treppenpodest	TP-30120	1,03	77,65	97,78	78,04
Treppenpodest	TP-30201	4,88	367,90	463,26	369,76
Loggiadecke	LD-40900	3,71	279,70	352,19	281,11
Treppenstufenelement	TS-30000	1,50	113,09	142,40	113,66
Außenwand (2 Fenster)	AW-40418 / AW-40419	5,80	437,26	550,59	439,47
Außenwand (Balkontür)	AW-40448 / AW-40449	5,65	425,95	536,35	428,10
Außenwand (ohne Fenster)	AW-40390	4,78	360,36	453,77	362,18
Giebelaußenwand	AW-40510 / AW-40514	3,97	299,30	376,87	300,81
Giebelaußenwand	AW-40500	3,96	298,54	375,92	300,05
Außenwand/Treppenhaus	AW-40377	2,16	162,84	205,05	163,66
Innenwand voll	IW-50500	5,45	410,88	517,37	412,95
Innenwand (mit Tür)	IW-50501	4,86	366,40	461,36	368,24
Loggiabrüstung	LB-40870	2,46	186,97	235,43	187,91
AW-Drempелеlement	DW-10300	4,26	321,16	404,40	322,78
AW-Giebelecke	DW-10200	4,02	303,07	381,62	304,60
Loggiawand	LW-40860 / LW-40862	1,30	98,01	123,62	98,50
Loggiawand	LW-40867	1,59	119,87	150,94	120,47

Es wird an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass in der o.a. Kalkulation die Kosten für die Anschaffung/Leasing sowie Rückführung von Transportgestellen (Tara Retour) und die Transportversicherung nicht berücksichtigt wurden. Die Versicherungsdeckung beträgt üblicherweise ca. 0,5 – 0,6 % vom Versicherungswert, welcher sich aus dem Warenwert, Frachtkosten und etwa 10 % „imaginären“ Gewinn zusammensetzt. Über die genaue Höhe der Versicherungskosten wird in aller Regel erst bei Vertragsabschluss verhandelt.

Ergänzend wird hier die Option der Verwendung von 3,00 m breiten Deckenplatten der WBS 70 anstelle der in diesem Konzept favorisierten 1,80 m breiten Deckenplatten aufgeführt. Es soll vergleichend der Transportkostenaufwand beider Elementetypen optional aufgezeigt werden (Tab. 6). Entsprechend den Bauteilabmaßen sind weniger 3,00 m breite Deckenplatten sicherzustellen, jedoch haben die größeren Deckenelemente eine höhere Bauteilmasse.

Tab. 6: Vergleich Transportkosten Betonelementesortiment - 3,00 m bzw. 1,80 m breite Deckenplatten

Pos.	Kostenpunkt	Tarif	Einheit	Sortiment (535 BE) mit 174 Stück <u>Deckenplatten B: 3,00 m</u> (3.132 m ² Decke)			Sortiment (658 BE) mit 297 Stück <u>Deckenplatten B: 1,80 m</u> (3.132 m ² Decke)						
													
				Menge	Einheit	Summe	Menge	Einheit	Summe				
1.	Vorlauf (100 km)	14,00	€/t	2.439	t	34.146	€	2.433	t	34.062	€		
2.	Umschlag A	15,00	€/t	2.439	t	36.585	€	2.433	t	36.498	€		
3.	Ladungssicherung	50,00	€/MA40	32	MA40	1.600	€	32	MA40	1.600	€		
4.	Seefracht MA40-60t	1.541,00	€/MA40	13	MA40	20.033	€	13	MA40	20.033	€		
5.	Seefracht MA40-95t	2.010,00	€/MA40	8	MA40	16.080	€	19	MA40	38.190	€		
6.	Seefracht MA40-95t = 2.010,00 € · 1,25 (k _U)	2.512,50	€/MA40	11	MA40	27.638	€	0	MA40	0	€		
7.	<i>Seefracht gesamt (Pos. 4+5+6):</i>					63.751		€			58.223	€	
8.	Umschlag B ³⁶	22,42	€/BE	535	BE	11.995	€	658	BE	14.752	€		
9.	Abfertigungsgebühren	56,41	€/MA40	32	MA40	1.805	€	32	MA40	1.805	€		
10.	Nachlauf ³⁷ (für 70 km)	15,00	€/t	2.439	t	36.585	€	2.433	t	36.498	€		
Gesamt (K_{TUL}): (ohne Zollgebühren, inkl. Vorlauf)							186.467	€				183.435	€
Gesamt (K_{TUL}): (inkl. Zollgebühren, ohne Vorlauf)							152.321	€				149.373	€

³⁶ Umschlag B und Abfertigungsgebühren gem. Angebot Transportunternehmen B, vom 08.02.2010.

³⁷ aktuelle Preisrecherchen russ. Projektpartner, Route von ca. 70 km vom Hafen Sankt Petersburg bis Dubrovka, Leningrader Gebiet.

Im Ergebnis ist festzustellen, dass es keine erhebliche Kostenunterschiede für den Bauteiltransport des errechneten Elementesortiments von 1,80 m und 3,00 m breiten Deckenelementen gibt. Obwohl eine geringere Bauteilmenge bei Verwendung von 3,00 m breiten Decken zu transportieren ist und auch weniger RoRo-Trailer benötigt werden, ist ein etwaiger Kostenvorteil gegenüber den 1,80 m breiten Deckenplatten durch den Überbreitenzuschlag von 25 % (> 2,50 m Ladungsbreite) beim Seetransport weitestgehend kompensiert worden.

Inwieweit für den LKW-Transport von 3,00 m breiten Deckenplatten durch den Spediteur zusätzlich ein Kostenaufschlag erhoben wird, ist im konkreten Fall zu berücksichtigen und einzukalkulieren. Gemäß den gesetzlichen Transportbestimmungen³⁸ ist festgelegt, dass für den Bauteiltransport dieser 3,00 m breiten Betonbauteile per LKW-Sattelzug eine Ausnahme-/Sondergenehmigung wegen Überbreite (Breite der Ladung > 2,55 m) vorliegen muss. Die Anzahl der nötigen LKW-Touren (Vorlauf) liegt in beiden Transportaufkommen bei etwa 45 Touren:

- Deckenplatte, Breite 1,80 m: 297 Stk. mit 6 - 7 BE pro LKW = ~ 45 Fahrten,
- Deckenplatte, Breite 3,00 m: 174 Stk. mit max. 4 BE pro LKW = ~ 45 Fahrten.

5 Wirtschaftliche Aspekte der Wiederverwendung von Betonbauteilen

5.1 Preise für neue Stahlbetonfertigteile in Sankt Petersburg

Für die Ermittlung der Neuteilpreise von Betonelementen in Sankt Petersburg sind die amtlichen Preiskataloge³⁹ zu Grunde gelegt worden. Auf der Basis von Durchschnittspreisen aus dem Jahr 2000 veröffentlicht die russische Bundesagentur für Bauwesen und Kommunalwirtschaft viermal jährlich in Form einer Bekanntmachung die statistisch ermittelten Umrechnungskoeffizienten zu aktuellen Preisen für jede Region und jede Preisgruppe (Baustoffe, Einsatz der Bautechnik, Lohn etc.).

In nachfolgender Tab. 7 sind Basispreise für das Leningrader Gebiet aufgeführt, die für die Preisermittlung vergleichbarer Betonelemente örtlicher Herstellung angesetzt wurden ($K_{BE,neu}$). Die Umrechnung in Preise, Stand März 2010, erfolgt mit einem Koeffizient von 6,975 plus 18 % gesetzlicher MwSt.

Die Ermittlung von Preisen für vergleichbare Stahlbetonfertigteile im Raum Sankt Petersburg mittels Angebotseinholung ergab keine verlässlichen Ergebnisse. Der Markt für Baustoffe befindet sich im Umbruch. Die Bereitstellungskosten für Betonelemente variieren in Abhängigkeit des jeweils angebotenen Elementesortiments und hängen neben der Bestellmenge – aufgrund der lokalen Branchenspezifika – auch von wirtschaftlichen Kooperationen zwischen dem Fertigteilwerk und dem Bauunternehmen ab. Es ist üblich, Sonderkonditionen zwischen Rohstoff- und Baustoffhersteller (Produzenten), Banken und beteiligten Planungs- und Bauunternehmen auszuhandeln.⁴⁰

³⁸ vgl. hierzu: Mettke, A. et al.: Wiederverwendung von Plattenbauteilen in Osteuropa, Endbericht – Bearbeitungsphase I, FO-Vorhaben DBU-AZ 22286-23, BTU Cottbus, 2008, S. 173 ff.

³⁹ Russische Bundesagentur für Bauwesen und Kommunalwirtschaft (Hrsg.): Katalog der Voranschlagspreise im Bauwesen, Basispreise.

⁴⁰ Aussage beruht auf Berichten der in Sankt Petersburg ansässigen Projektpartner.

Tab. 7: Aktuelle Katalogpreise für vergleichbare neue Betonelemente im Leningrader Gebiet

Betonelement	Elemente-Nr.	pro Betonelement				Σ BE	Insgesamt neue BE [€]
		Volumen [m ³] ⁴¹	Basispreis [RUB/m ³]	Preis 03/2010 brutto [RUB/BE]*	Preis 03/2010 brutto [€/BE]**		
Deckenplatte	DP-20040	1,40	2.392	27.562	694	297	206.037
Treppenpodest	TP-30120	0,42	3.095	10.699	269	18	4.847
Treppenpodest	TP-30201	1,96	3.095	49.931	1.257	9	11.311
Loggiadecke	LD-40900	1,52	3.068	38.386	966	27	26.087
Treppenstufelement	TS-30000	0,62	4.469	22.803	574	18	10.331
Außenwand (2 Fenster)	AW-40418 / AW-40419	2,34	2.383	45.901	1.155	36	41.592
Außenwand (Balkontür)	AW-40448 / AW-40449	2,27	2.383	44.528	1.121	27	30.261
Außenwand (o. Fenster)	AW-40390	1,99	2.383	39.036	983	9	8.843
Giebelaußenwand	AW-40510 / AW-40514	1,65	2.383	32.366	815	12	9.776
Giebelaußenwand	AW-40500	1,65	2.383	32.366	815	12	9.776
Außenwand/Treppenh.	AW-40377	0,83	2.383	16.281	410	6	2.459
Innenwand voll	IW-50500	2,26	2.121	39.453	993	39	38.728
Innenwand (mit Tür)	IW-50501	2,01	2.121	35.089	883	54	47.692
Loggiabrüstung	LB-40870	1,02	1.489	12.500	315	27	8.495
AW-Drempelement	DW-10300	1,80	2.383	35.308	889	24	21.329
AW-Giebelecke	DW-10200	1,70	2.383	33.347	839	4	3.357
Loggiawand	LW-40860 / LW-40862	0,53	1.448	6.315	159	24	3.815
Loggiawand	LW-40867	0,66	1.448	7.864	198	15	2.969
K_{BE, neu}						Σ 658	487.703 €
<p>* Amtlicher Umrechnungskoeffizient zu Basispreis für I. Quartal 2010 – 6,975 ** Umrechnungsfaktor 39,73 Rubel/Euro; o.a. Angabe in Euro gerundet</p>							

Die Kosten für die neu produzierten Betonelemente ($K_{BE, neu}$) belaufen sich auf ~ 488.000 €.

⁴¹ nach Mettke, A. (Hrsg.): Elementekatalog. Übersicht: Elementesortiment des Typs WBS 70, FG Bauliches Recycling, Cottbus 2007.

5.2 Gesamtkosten zur Vorbereitung und zum Transport der Altbetonbauteile

Neben den reinen Transportkosten (K_{TUL}) (Pkt. 4.1) sind noch weitere Kosten in der Gesamtbetrachtung für die Wiederverwendung der Betonelemente zu berücksichtigen.

Dazu gehören: Kosten für Vorplanungen, -auswahl der Betonelemente, Eruierung des Spendergebäudes, das Logistikkonzept sowie Bereitstellungs-, Prüf- und Bauteilsäuberungskosten. Anteilsmäßig werden die Kosten auf €/m² Bauteilfläche veranschlagt.

Der finanzielle Aufwand zur Wiederverwendung gebrauchter Betonelemente K_{Ges} in Osteuropa (ohne (Re)Montagekosten), hier in Nevskaja Dubrovka, ergibt sich zusammengestellt in der Summe aus:

$$K_{Ges} = K_{Vorpl} + K_{Prüf} + K_{Bereit} + K_{Säub} + K_{TUL} + K_{W+G} \quad (15),$$

$$K_{Vorb} = K_{Vorpl} + K_{Prüf} + K_{Bereit} + K_{Säub} \quad (16),$$

K_{Ges}	Gesamtkosten für Vorleistungen sowie Transport- und Logistikprozesse
K_{Vorpl}	Kosten für Vorplanung, Vorauswahl Betonelemente, Eruierung Rückbauobjekte
$K_{Prüf}$	Kosten für Bauzustandsanalyse (Konformitätsprüfung etc.)
K_{Bereit}	Kosten für die Bereitstellung gebrauchter Betonelemente auf der Demontagebaustelle
$K_{Säub}$	Kosten für die Bauteilsäuberung ausgewählter Betonelemente
K_{TUL}	Kosten für Transporte, Umschlag und (Zwischen-)Lagerung
K_{W+G}	Sicherheitszuschlag „Wagnis und Gewinn“
K_{Vorb}	Vorbereitungskosten

Entgegen der ersten Kostenzusammenstellung im Endbericht – Teil I des Forschungsprojektes wurden die zu berücksichtigenden Kostenkennwerte auf das Wiederverwendungsprojekt in Nevskaja Dubrovka angepasst⁴². Anstelle der Kosten einer Bauteilauflbereitung (K_{Auf}) werden nun Kostenparameter für eine Bauteilsäuberung ($K_{Säub}$) ausgewählter Betonelemente angesetzt. Zusätzlich fließen Kosten für die Vorplanung, Eruierung der Spendergebäude, Bauteilkennzeichnung etc. sowie ein Sicherheitszuschlag (K_{W+G} , Wagnis und Gewinn) in die Gesamtberechnung ein. Diese Kosten werden den Transportkosten für den LKW- und Seetransport aufgeschlagen.

Aus dem Gesamtkostenaufwand (K_{Ges}) ergibt sich dann in der Gegenüberstellung zu den Neuteilpreisen vergleichbarer Betonelemente im Leningrader Gebiet die voraussichtliche Gewinnspanne.

Die resultierende Differenz zwischen den TUL-Kosten der Betonelemente und Neuteilbereitstellung gibt den möglichen Einzugsradius der in Frage kommenden Rückbaustellen zur Bauteilgewinnung vor.

⁴² vgl. Mettke, A.; Heyn, S.: Wiederverwendung von Plattenbauteilen in Osteuropa. Endbericht – Bearbeitungsphase I, FO-Vorhaben DBU-AZ 22286-23, BTU Cottbus, 2008, S.173 ff.

Der finanzielle Aufwand für die *Vorplanung, Vorauswahl, Eruiierung* der BE umfasst das Entgelt der Planungsleistungen. Im Vorfeld der Baumaßnahme sind – wie umseitig aufgeführt – geeignete Rückbaustandorte zu eruiieren. Der Abgleich mit (vorhandenen) Planunterlagen dient der Entscheidungsfindung und der Ermittlung des örtlich verfügbaren Elementesortiments. Die verbauten Betonelemente sind auf ihre Wiederverwendungsfähigkeit zu untersuchen, auszuwählen und zu kennzeichnen. Auf dieser Grundlage basiert die zu entwickelnde Logistikkette.

Die *Prüfkosten* beinhalten die Bauzustandsanalyse (visuelle Begutachtung aller Bauelemente, punktuelle, zerstörungsfreie Untersuchungen zur Ermittlung spezifischer Kenngrößen wie z.B. der Betondruckfestigkeit und der vorhandenen Betonüberdeckung) und die Freigabe der Betonelemente zur Wiederverwendung durch einen Prüfer (Übereinstimmungsnachweis der Qualität der BE).

Recherchen ergaben, dass das Rückbauunternehmen dem Empfänger wiederverwendungsfähiger Betonelemente sogenannte *Bereitstellungskosten* in Rechnung stellt. Der Ausbau / die Demontage der wiederverwendungsgerechten Betonelemente hat besonders sorgfältig zu erfolgen, um generelle Beschädigungen auszuschließen. Diese Vorgabe bedeutet einen gewissen Mehraufwand gegenüber dem ansonsten üblichen selektiven Rückbau von Gebäuden mittels Kran mit anschließender konventioneller Aufbereitung (Zerstörung der Bauteile). Da hier aber die Betonelemente als Produkt in Gänze wiederverwendet werden sollen, sind noch vor Abtransport etwaige Dichtungsreste, Beton- und Mörtelanhaftungen an Bauteilkanten (Betonverguss) zu entfernen sowie Tragösen sorgsam freizulegen. Bezüglich der Deckenelemente ist zusätzlich das Entfernen der Estrichschicht einzuplanen, sofern diese Schicht nicht schwimmend ausgebildet wurde.

Gekoppelt an diese Bereitstellungskosten ruft das Rückbauunternehmen kalkulatorisch einen Betrag zur *Säuberung der Betonelemente* besonders für Decken- und Wandbauteile auf. Dieser Arbeitsgang umfasst das komplette manuelle Entfernen von Tapeten und Verkleidungen sowie von Kleinteilen (Heizkörperhalter etc.). Somit ist gewährleistet, dass Bauteilprüfungen korrekt erfolgen können und dass eventuelle Beschädigungen und Fehlstellen am Betonelement sichtbar werden. Zudem wird durch die Bauteilsäuberung vorgebeugt, dass bei den nachfolgenden TUL-Prozessen durch sich lösende Anhaftungen sicherheitstechnische u./o. ästhetische Probleme auftreten. Falls im Vorfeld bereits durch das Wohnungsunternehmen die Mieter bei Auszug mit der Komplettentfernung von Tapeten und Anbauteilen an Wänden und Decken beauftragt werden, könnten diese anteiligen Kosten entfallen.

Für die übrigen Betonelemente, hier Treppen- und Loggiaelemente, werden in der Regel seitens der Rückbaufirma keine Bereitstellungs- und Bauteilsäuberungskosten zusätzlich berechnet.

Zur Ermittlung der Transportkosten wird ein Aufschlag „*Wagnis und Gewinn*“ (Sicherheitsfaktor) erhoben, welcher sich aus dem Betrag von 3 % der kalkulierten Transportkosten inkl. Vorleistungen errechnet.

Die als Vorbereitungskosten (K_{Vorb}) anfallenden Kosten sind in Tab. 8, bezogen auf das einzelne Betonelement, aufgelistet. In darauf folgender Tab. 9 werden diese Kosten für die Betonbauteilvorbereitung (K_{Vorb}) mit denen in Tab. 5 (Variante 3) ermittelten Transportkosten bzgl. des Gesamtbauteilsortiments von 658 BE und dem Sicherheitsaufschlag zusammengestellt. Die Vorlaufkosten (LKW) sind hierbei nicht berücksichtigt, da diese je nach Transportentfernung zu der/den Rückbau-/Demontagebaustelle(n) variieren.

Tab. 8: Vorbereitungskosten der Altbetonbauteile des Pilotprojektes (bauelementebezogen)

Betonelement	Bauteilparameter		Vorbereitungskosten (bauelementebezogen)				
	Masse (je BE)	Bauteil- fläche	Planung/ Vorauswahl/ Logistik	Prüfkosten	Bereit- stellung	Bauteil- säuberung	Gesamt Einzel- bauteil
			K_{Vorb1}	$K_{Prüf}$	K_{Bereit}	$K_{Säub}$	K_{Vorb}
Bemerkungen		abzgl. Bauteil- öffnung	2,00 €/m ² [Annahme*]	2,00 €/m ² [Annahme*]	DP: 3,50 €/m ² ; IW/AW: 3,00 €/m ² ; Rest: 0 €/m ² [Annahme*]	DP, AW, IW: 2,50 €/m ² ; Rest: 0 €/m ² [Annahme*]	
Einheit	[t]	[m²]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]
AW-40377 Außenwand (Treppenhaus)	2,16	4,10	8,20 €	8,20 €	12,30 €	10,25 €	39 €
AW-40390 Außenwand (ohne Fenster)	4,78	10,20	20,40 €	20,40 €	30,60 €	25,50 €	97 €
AW-40418/40419 Außenwand (2 Fenster)	5,80	12,80	25,60 €	25,60 €	38,40 €	32,00 €	122 €
AW-40448/40449 Außenwand (Balkontür)	5,65	12,40	24,80 €	24,80 €	37,20 €	31,00 €	118 €
AW-40500 Giebel-AW	3,96	8,50	17,00 €	17,00 €	25,50 €	21,25 €	81 €
AW-40510/40514 Giebel-AW	3,97	9,00	18,00 €	18,00 €	27,00 €	22,50 €	86 €
DP-20040 Deckenplatte	3,42	10,70	21,40 €	21,40 €	37,45 €	26,75 €	107 €
DW-10200/10201 AW-Giebelecke	4,02	7,10	14,20 €	14,20 €	21,30 €	0,00 €	50 €
DW-10300 AW-Drempel-BE	4,26	6,90	13,80 €	13,80 €	20,70 €	0,00 €	48 €
IW-50500 Innenwand	5,45	15,30	30,60 €	30,60 €	45,90 €	38,25 €	145 €
IW-50501 Innenwand (mit Tür)	4,86	13,50	27,00 €	27,00 €	40,50 €	33,75 €	128 €
LB-40870 Loggiabrüstung	2,48	7,60	15,20 €	15,20 €	0,00 €	0,00 €	30 €
LD-40900 Loggiadecke	3,71	7,80	15,60 €	15,60 €	0,00 €	0,00 €	31 €
LW-40860/40862 Loggiawand	1,30	4,30	8,60 €	8,60 €	0,00 €	0,00 €	17 €
LW-40867 Loggiawand	1,59	4,30	8,60 €	8,60 €	0,00 €	0,00 €	17 €
TP-30120 Treppenpodest	1,03	2,40	4,80 €	4,80 €	0,00 €	0,00 €	10 €
TP-30201 Treppenpodest	4,88	12,40	24,80 €	24,80 €	0,00 €	0,00 €	50 €
TS-30000 Treppenstufe	1,50	3,00	6,00 €	6,00 €	0,00 €	0,00 €	12 €

* abgeleitet aus wissenschaftlichen Begleituntersuchungen

Tab. 9: Vorbereitungs-, Transportkosten und Wagnis & Gewinn (Gesamtbauelementesumme)

Betonelement	Masse (je BE)	Anzahl	Gesamtkosten (Bauteil bezogen)				Gesamtkosten K_{Ges}
			K_{Vorb}	$K_{TUL, BE}$	K_{W+G}	$K_{Ges BE}$	
Bemerkungen				(ohne Vorlauf, inkl. Zoll)	3 % $\sum K_{TUL, BE} + K_{Vorb}$		
Einheit	[t]		[€]	[€]	[€]	[€]	[€]
AW-40377 Außenwand (Treppenhaus)	2,16	6	39 €	164 €	6,08 €	209 €	1.254 €
AW-40390 Außenwand (ohne Fenster)	4,78	9	97 €	362 €	13,77 €	473 €	4.257 €
AW-40418/40419 Außenwand (2 Fenster)	5,80	36	122 €	439 €	16,83 €	578 €	20.808 €
AW-40448/40449 Außenwand (Balkontür)	5,65	27	118 €	428 €	16,38 €	562 €	15.174 €
AW-40500 Giebel-AW	3,96	12	81 €	300 €	11,42 €	392 €	4.704 €
AW-40510/40514 Giebel-AW	3,97	12	86 €	301 €	11,59 €	398 €	4.776 €
DP-20040 Deckenplatte	3,42	297	107 €	259 €	10,98 €	377 €	111.969 €
DW-10200/10201 AW-Giebelecke	4,02	4	50 €	305 €	10,63 €	365 €	1.460 €
DW-10300 AW-Drempel-BE	4,26	24	48 €	323 €	11,13 €	382 €	9.168 €
IW-50500 Innenwand	5,45	39	145 €	413 €	16,75 €	575 €	22.425 €
IW-50501 Innenw.(mit Tür)	4,86	54	128 €	368 €	14,89 €	511 €	27.594 €
LB-40870 Loggiabrüstung	2,48	27	30 €	188 €	6,55 €	225 €	6.075 €
LD-40900 Loggiadecke	3,71	27	31 €	281 €	9,37 €	322 €	8.694 €
LW-40860/40862 Loggiawand	1,30	24	17 €	99 €	3,47 €	119 €	2.856 €
LW-40867 Loggiawand	1,59	15	17 €	120 €	4,13 €	142 €	2.130 €
TP-30120 Treppenpodest	1,03	18	10 €	78 €	2,63 €	90 €	1.620 €
TP-30201 Treppenpodest	4,88	9	50 €	370 €	12,58 €	432 €	3.888 €
TS-30000 Treppenstufe	1,50	18	12 €	114 €	3,77 €	129 €	2.322 €
Summe		658				K_{Ges}	251.174 €

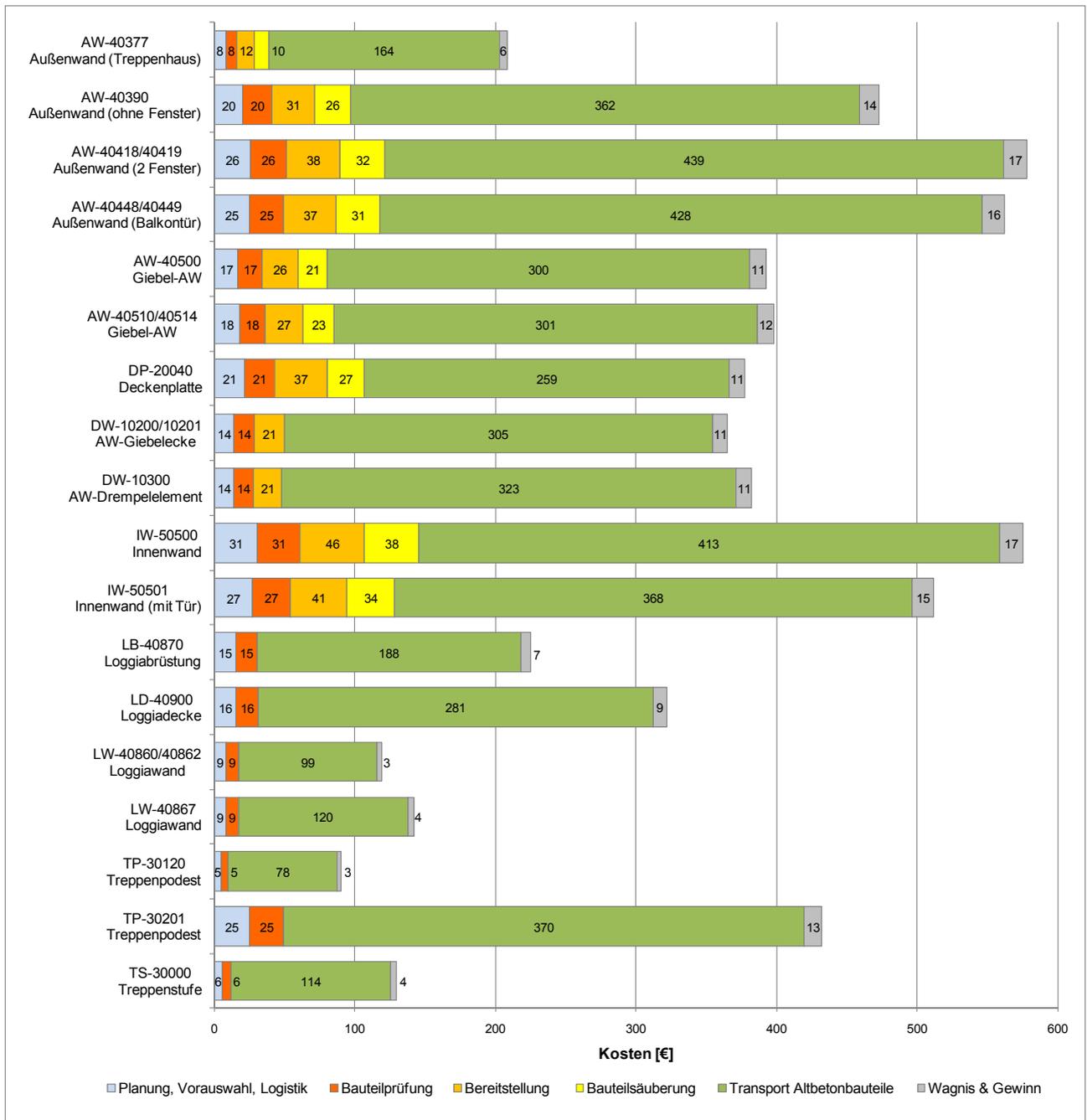


Abb. 14: Kostenzusammensetzung: Vorbereitung der BE zur Wiederverwendung / Transport der Altbetonbauteile

5.3 Preisvergleich für neue Betonfertigteile und angelieferte Altbetonelemente

Im folgenden Abschnitt werden die kalkulierten Transportkosten für das gewählte Betonelementesortiment mit den durchschnittlichen Bereitstellungspreisen für vergleichbare Stahlbetonfertigteile aus der Fertigung im/in Betonwerk(en) im Leningrader Gebiet gegenübergestellt (Tab. 10).

Im Vergleich werden hierbei nur die Transportkosten für die WBS 70-Betonbauteile inklusive anfallender Zollgebühren ohne Vorlaufkosten betrachtet.

Tab. 10: Einsparungseffekte an Kosten je Betonelement (Neuteilpreise – Kosten der Bereitstellung)

Betonelement	pro Betonelement			Anzahl	Sortiment BE gesamt			Einsparungseffekt
	\sum Kosten der Bereitstellung ($K_{TUL, BE}$ ohne Vorlauf)	Preis vergleichbare neue BE (RU)	Kostenvorteil Altbetonbauteil		\sum Kosten der Bereitstellung (K_{TUL} ohne Vorlauf)	Preis vergleichbare neue BE (RU)	Kostenvorteil Altbetonbauteile	
	$K_{Ges, BE}$	$K_{BE, neu}$			K_{Ges}	K_{neu}		
	[€]	[€]	[€]		[€]	[€]	[€]	
AW-40377 Außenwand (Treppenhaus)	209 €	410 €	201 €	6	1.254 €	2.459 €	1.205 €	49 %
AW-40390 Außenwand (ohne Fenster)	473 €	983 €	510 €	9	4.257 €	8.843 €	4.586 €	52 %
AW-40418/40419 Außenwand (2 Fenster)	578 €	1.155 €	577 €	36	20.808 €	41.592 €	20.784 €	50 %
AW-40448/40449 Außenwand (Balkontür)	562 €	1.121 €	559 €	27	15.174 €	30.261 €	15.087 €	50 %
AW-40500 Giebel-AW	392 €	815 €	423 €	12	4.704 €	9.776 €	5.072 €	52 %
AW-40510/40514 Giebel-AW	398 €	815 €	417 €	12	4.776 €	9.776 €	5.000 €	51 %
DP-20040 Deckenplatte	377 €	694 €	317 €	297	111.969 €	206.037 €	94.068 €	46 %
DW-10200/10201 AW-Giebelecke	365 €	839 €	474 €	4	1.460 €	3.357 €	1.897 €	57 %
DW-10300 AW-Drempel-BE	382 €	889 €	507 €	24	9.168 €	21.329 €	12.161 €	57 %
IW-50500 Innenwand	575 €	993 €	418 €	39	22.425 €	38.728 €	16.303 €	42 %
IW-50501 Innenw.(mit Tür)	511 €	883 €	372 €	54	27.594 €	47.692 €	20.098 €	42 %
LB-40870 Loggiabrüstung	225 €	315 €	90 €	27	6.075 €	8.495 €	2.420 €	28 %
LD-40900 Loggiadecke	322 €	966 €	644 €	27	8.694 €	26.087 €	17.393 €	67 %
LW-40860/40862 Loggiawand	119 €	159 €	40 €	24	2.856 €	3.815 €	959 €	25 %
LW-40867 Loggiawand	142 €	198 €	56 €	15	2.130 €	2.969 €	839 €	28 %
TP-30120 Treppenpodest	90 €	269 €	179 €	18	1.620 €	4.847 €	3.227 €	67 %
TP-30201 Treppenpodest	432 €	1.257 €	825 €	9	3.888 €	11.311 €	7.423 €	66 %
TS-30000 Treppenstufe	129 €	574 €	445 €	18	2.322 €	10.331 €	8.009 €	78 %
Summe				658	251.174 €	487.703 €	236.529 €	48 %

Aus dem Vergleich der ermittelten Kosten geht hervor, dass bezogen auf das **einzelne Betonelement** insgesamt **Einsparungseffekte** durch die Anlieferung wiederverwendungsgerechter Betonbauteile aus Deutschland gegenüber der Betonfertigteilebereitstellung im Leningrader Gebiet **von ca. 25 bis 78 %** möglich sind – jedoch **ohne Berücksichtigung der Kosten für den Vorlauf**. Der größte Kostenvorteil ist bei den Treppenbauteilen zu erwarten (~ 70 %). Lediglich 25 % der Kosten können bei der Loggiawand eingespart werden.

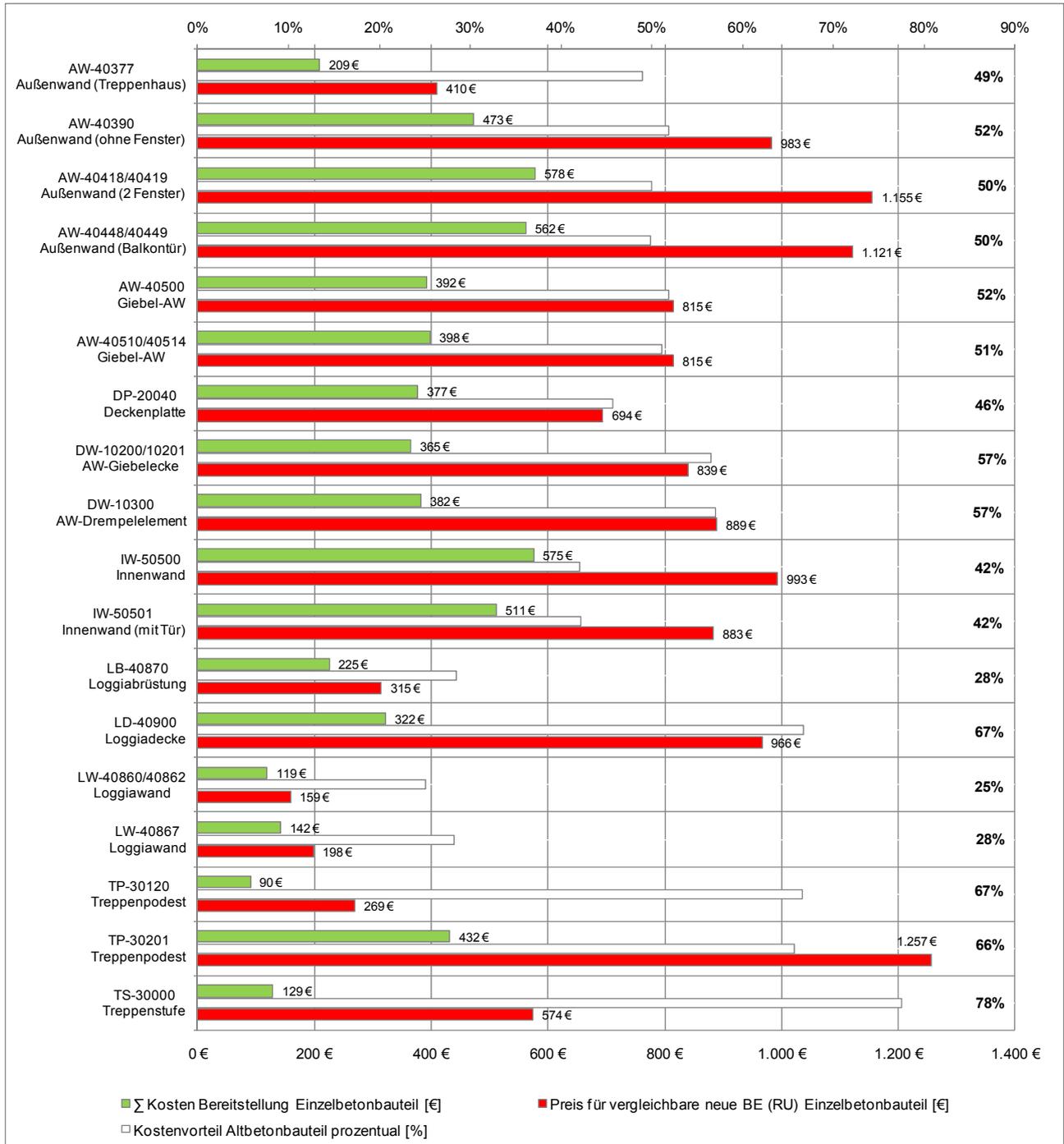


Abb. 15: Vergleich von Transportkosten für das angesetzte Betonelementesortiment mit Bereitstellungspreisen vergleichbarer Stahlbetonfertigteile im Leningrader Gebiet

5.4 Ermittlung des Break-Even-Point für den Teilprozess Vorlauf einzelner Betonelemente und Bauteilgruppen

In den nachfolgenden Tabellen erfolgen Berechnungen für Vorlaufstrecken unter Berücksichtigung verschiedener Kostenersparnisse. Der Kostenvorteil bezieht sich auf die Verwendung antransportierter Betonelemente (inkl. Vorleistungen) im Vergleich zur Bereitstellung neu hergestellter Betonfertigteile in Russland. Es stellt sich somit die Frage: Wie weit kann man in Deutschland welches Betonelement (Sortiment) transportieren, wenn in Russland ein Kostenvorteil von mind. 10 % bis 50 % gegenüber dem Neuteileinsatz erzielt werden soll?

Basis der Berechnungen bilden dabei die Angaben zu den Kosten des Land- und Überseeportes und dessen Vorbereitung (vgl. Tab. 9) und die Kosten des Nachlaufes in Russland je Bauteil. Die Kosten für den Vorlauf per LKW betragen 0,14 €/km*t entsprechend den ermittelten Werten von 14,00 €/t pro 100 km (vgl. Pkt. 4.1). Dem gegenüber stehen die im März 2010 aktualisierten Neuteilpreise für Betonfertigteile im Leningrader Gebiet (s. Tab. 7).

Betrachtet wird im Folgenden das Einzelement einer Bauteilart; also konkret die maximal mögliche Vorlaufstrecke eines Bauteils (bspw. AW-40377 Außenwand-Treppenhaus) bei einem festgesetzten Kostenvorteil von x %. Die zu transportierende Bauteilanzahl findet hier noch keine Berücksichtigung.

Ausgehend von der Erwirtschaftung eines Kostenvorteils – einer Kostenersparnis – von 10 %, 20 %, 30 %, 40 % oder 50 % gegenüber der Neuteilbereitstellung ergeben sich für die verschiedenen gewählten Betonelemente der WBS 70 die in den Tab. 11 – 15 errechneten maximalen Vorlaufstrecken. Die Ergebnisse werden in den Abb. 16 – 21 grafisch dargestellt.

Die bauteilbezogene Betrachtung ist an dieser Stelle als Einstieg insofern wichtig, da hier bereits die Grenzen der maximalen Entfernung des Bauteiltransport (Vorlauf per LKW) zwischen Rückbau-/ Demontagebaustelle und Verschiffungshafen im Vergleich zur Neuteilbereitstellung aufgezeigt werden. Es werden Tendenzen ersichtlich, auf welche Betonelemente und nachfolgend Bauelementgruppen in der Bauteilakquise besonderes Augenmerk gelegt werden muss. Hieraus können Schlussfolgerungen und Empfehlungen für eine konkrete Elementauswahl für Wiederverwendungszwecke abgeleitet werden. Die Erkenntnisse sind dann auch auf andere Wiederverwendungsvorhaben / Folgeprojekte anwendbar.

Ermittelt wurde, dass für die Erzielung eines Kostenvorteils in Höhe von 10 % der Herstellungskosten des entsprechenden neuen Betonfertigteils in Russland die Einzelbauteile durchschnittlich bis zu 649 km im Vorlauf in Deutschland transportiert werden können (vgl. Tab.11). Loggiawände des Sortiments LW-40860/40862 können bei einer Einsparung von 16 € pro Bauteil aus max. 132 km Entfernung antransportiert werden. Der Vorlaufradius für das Treppenstufenelement TS-30000 beträgt theoretisch 1.845 km und überschreitet das Einzugsgebiet der neuen Bundesländer um das 2,5 fache⁴³. Eine Kostenvorteil von 10 % bedeutet, dass der Investor im Mittel 57 € pro Element einsparen würde.

⁴³ Die größtmögliche Vorlaufentfernung für gebrauchte Betonbauteile aus Ostdeutschland beträgt 725 km von Hildburghausen (Freistaat Thüringen) nach Sassnitz.

Tab. 11: Berechnung der maximalen Vorlaufstrecken des Einzelbauteils für die Erzielung eines Kostenvorteils von 10 %

Betonelement	Masse	Σ Kosten der Bereitstellung ($K_{TUL, BE}$ ohne Vorlauf) $K_{Ges, BE}$	Preis für vergleichbare neue BE (RU) $K_{BE, neu}$	Kostenvorteil 10 %	Überschuss	Vorlaufkosten	max. Vorlaufstrecke
	[t]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€/t*km]	[km]
AW-40377 Außenwand (Treppenhaus)	2,16	209 €	410 €	41 €	160 €	0,14	528
AW-40390 Außenwand (ohne Fenster)	4,78	473 €	983 €	98 €	411 €	0,14	615
AW-40418/40419 Außenwand (2 Fenster)	5,80	578 €	1.155 €	116 €	462 €	0,14	569
AW-40448/40449 Außenwand (Balkontür)	5,65	562 €	1.121 €	112 €	447 €	0,14	565
AW-40500 Giebel-AW	3,96	392 €	815 €	81 €	341 €	0,14	615
AW-40510/40514 Giebel-AW	3,97	398 €	815 €	81 €	335 €	0,14	603
DP-20040 Deckenplatte	3,42	377 €	694 €	69 €	247 €	0,14	517
DW-10200/10201 AW-Giebelecke	4,02	365 €	839 €	84 €	390 €	0,14	694
DW-10300 AW-Drempелеlement	4,26	382 €	889 €	89 €	418 €	0,14	701
IW-50500 Innenwand	5,45	575 €	993 €	99 €	319 €	0,14	418
IW-50501 Innenwand (mit Tür)	4,86	511 €	883 €	88 €	284 €	0,14	417
LB-40870 Loggiabrüstung	2,48	225 €	315 €	31 €	58 €	0,14	167
LD-40900 Loggiadecke	3,71	322 €	966 €	97 €	548 €	0,14	1.054
LW-40860/40862 Loggiawand	1,30	119 €	159 €	16 €	24 €	0,14	132
LW-40867 Loggiawand	1,59	142 €	198 €	20 €	36 €	0,14	162
TP-30120 Treppenpodest	1,03	90 €	269 €	27 €	152 €	0,14	1.057
TP-30201 Treppenpodest	4,88	432 €	1.257 €	126 €	699 €	0,14	1.023
TS-30000 Treppenstufe	1,50	129 €	574 €	57 €	388 €	0,14	1.845
Vorlaufstrecke [km] bei einem Kostenvorteil von 10 %						min.	132
						max.	1.845
						Mittel	649

Tab. 12: Berechnung der maximalen Vorlaufstrecken des Einzelbauteils für die Erzielung eines Kostenvorteils von 20 %

Betonelement	Masse	Σ Kosten der Bereitstellung ($K_{TUL, BE}$ ohne Vorlauf) $K_{Ges, BE}$	Preis für vergleichbare neue BE (RU) $K_{BE, neu}$	Kostenvorteil 20 %	Überschuss	Vorlaufkosten	max. Vorlaufstrecke
	[t]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€/t*km]	[km]
AW-40377 Außenwand (Treppenhaus)	2,16	209 €	410 €	82 €	119 €	0,14	393
AW-40390 Außenwand (ohne Fenster)	4,78	473 €	983 €	197 €	313 €	0,14	468
AW-40418/40419 Außenwand (2 Fenster)	5,80	578 €	1.155 €	231 €	346 €	0,14	426
AW-40448/40449 Außenwand (Balkontür)	5,65	562 €	1.121 €	224 €	335 €	0,14	423
AW-40500 Giebel-AW	3,96	392 €	815 €	163 €	260 €	0,14	468
AW-40510/40514 Giebel-AW	3,97	398 €	815 €	163 €	254 €	0,14	456
DP-20040 Deckenplatte	3,42	377 €	694 €	139 €	178 €	0,14	372
DW-10200/10201 AW-Giebelecke	4,02	365 €	839 €	168 €	306 €	0,14	545
DW-10300 AW-Drempelement	4,26	382 €	889 €	178 €	329 €	0,14	552
IW-50500 Innenwand	5,45	575 €	993 €	199 €	219 €	0,14	288
IW-50501 Innenwand (mit Tür)	4,86	511 €	883 €	177 €	196 €	0,14	287
LB-40870 Loggiabrüstung	2,48	225 €	315 €	63 €	27 €	0,14	77
LD-40900 Loggiadecke	3,71	322 €	966 €	193 €	451 €	0,14	868
LW-40860/40862 Loggiawand	1,30	119 €	159 €	32 €	8 €	0,14	45
LW-40867 Loggiawand	1,59	142 €	198 €	40 €	16 €	0,14	73
TP-30120 Treppenpodest	1,03	90 €	269 €	54 €	125 €	0,14	870
TP-30201 Treppenpodest	4,88	432 €	1.257 €	251 €	573 €	0,14	839
TS-30000 Treppenstufe	1,50	129 €	574 €	115 €	330 €	0,14	1.572
Vorlaufstrecke [km] bei einem Kostenvorteil von 20 %						min.	45
						max.	1.572
						Mittel	501

Zur Erzielung eines Kostenvorteils von 20 % weisen die Hauptelemente (Deckenplatten und Wandbauteile) mit über 287 km durchaus Vorlaufstrecken aus, die unter praktischen Bedingungen, bedingt durch den Standort der / des Spendergebäude(s), bis zum Hafen zu absolvieren sind. Die Loggiawände LW-40860/40862 hingegen dürften nur 45 km transportiert werden. Das würde bedeuten, dass sich das

Spendergebäude auf der Insel Rügen befinden müsste. Diese kleine Einzugsgebiet erscheint unter praktischen Bedingungen eher schwierig zur Elementegewinnung. Die Treppenelemente könnten bei einem Kostenvorteil von 20 % allerdings aus dem gesamten Gebiet der ostdeutschen Bundesländer antransportiert werden.

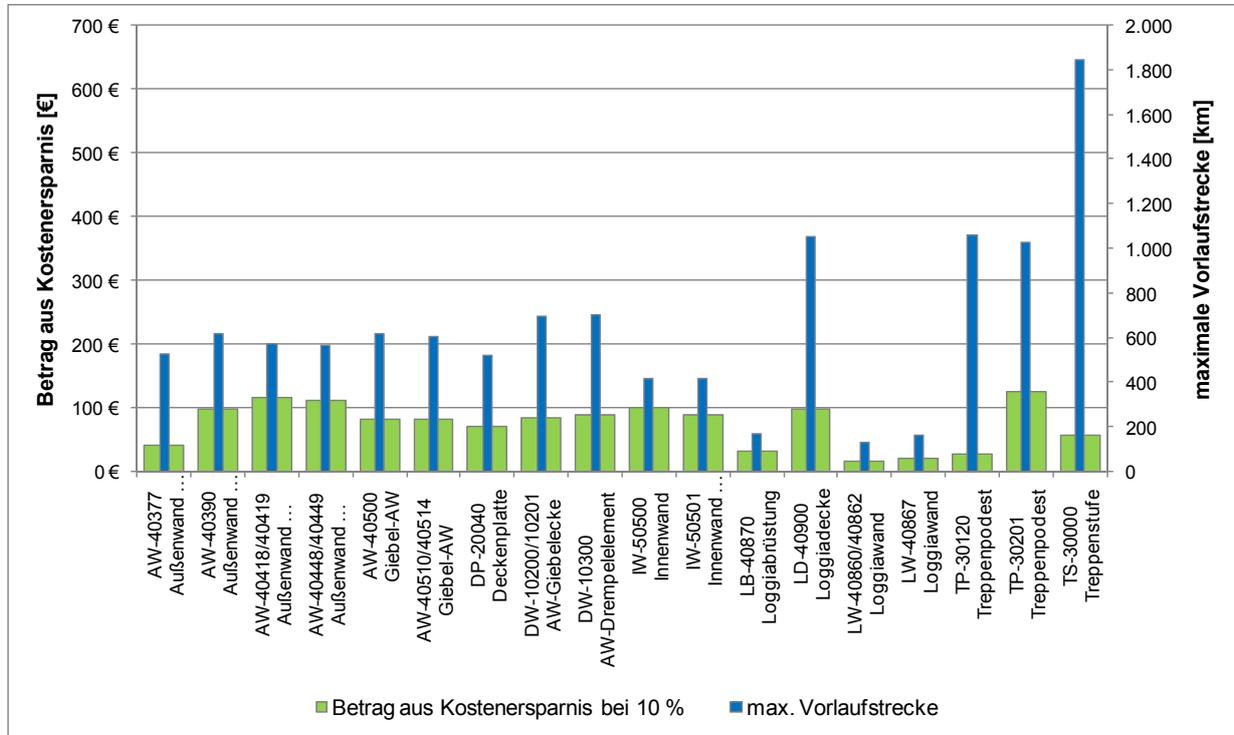


Abb. 16: Darstellung des resultierenden Betrages und maximalen Vorlaufstrecke bei einem Kostenvorteil von 10 %

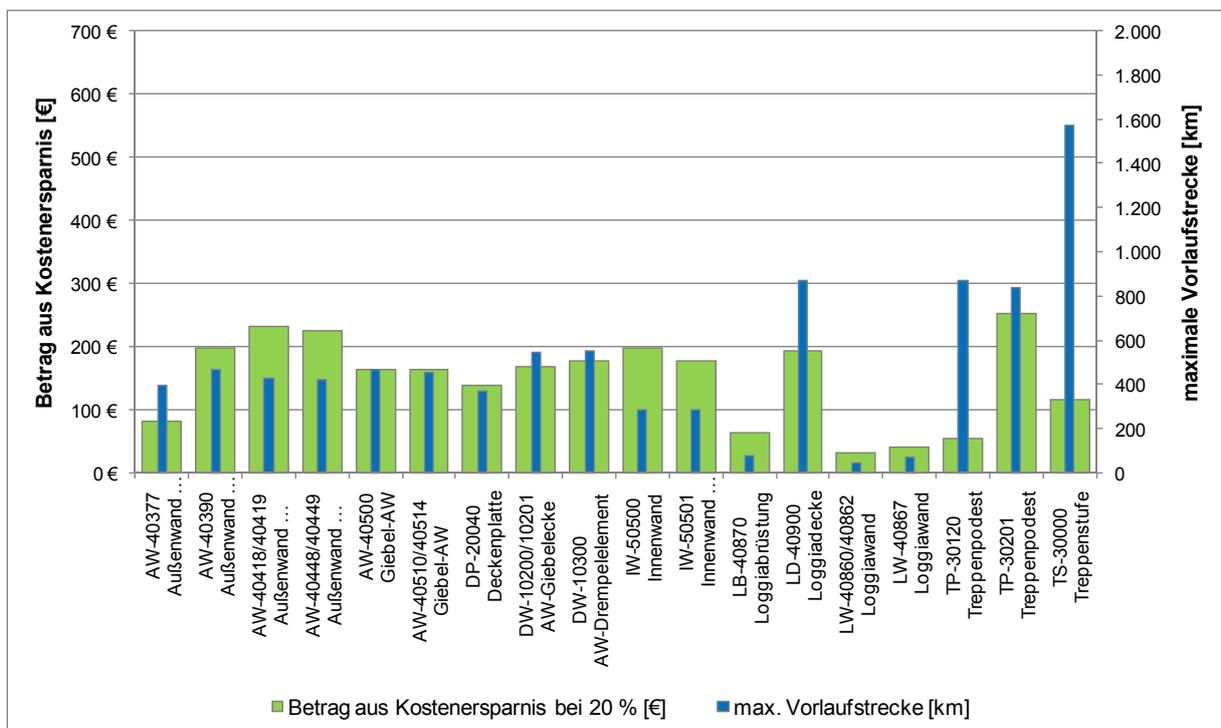


Abb. 17: Darstellung des resultierenden Betrages und maximalen Vorlaufstrecke bei einem Kostenvorteil von 20 %

Tab. 13: Berechnung der maximalen Vorlaufstrecken des Einzelbauteils für die Erzielung eines Kostenvorteils von 30 %

Betonelement	Masse	Σ Kosten der Bereitstellung ($K_{TUL, BE}$ ohne Vorlauf) $K_{Ges, BE}$	Preis für vergleichbare neue BE (RU) $K_{BE, neu}$	Kostenvorteil 30 %	Überschuss	Vorlaufkosten	max. Vorlaufstrecke
	[t]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€/t*km]	[km]
AW-40377 Außenwand (Treppenhaus)	2,16	209 €	410 €	123 €	78 €	0,14	257
AW-40390 Außenwand (ohne Fenster)	4,78	473 €	983 €	295 €	215 €	0,14	321
AW-40418/40419 Außenwand (2 Fenster)	5,80	578 €	1.155 €	347 €	231 €	0,14	284
AW-40448/40449 Außenwand (Balkontür)	5,65	562 €	1.121 €	336 €	223 €	0,14	281
AW-40500 Giebel-AW	3,96	392 €	815 €	244 €	178 €	0,14	322
AW-40510/40514 Giebel-AW	3,97	398 €	815 €	244 €	172 €	0,14	310
DP-20040 Deckenplatte	3,42	377 €	694 €	208 €	109 €	0,14	227
DW-10200/10201 AW-Giebelecke	4,02	365 €	839 €	252 €	223 €	0,14	395
DW-10300 AW-Drempelement	4,26	382 €	889 €	267 €	240 €	0,14	403
IW-50500 Innenwand	5,45	575 €	993 €	298 €	120 €	0,14	157
IW-50501 Innenwand (mit Tür)	4,86	511 €	883 €	265 €	107 €	0,14	158
LB-40870 Loggiabrüstung	2,48	225 €	315 €	94 €	-5 €	0,14	-14
LD-40900 Loggiadecke	3,71	322 €	966 €	290 €	354 €	0,14	682
LW-40860/40862 Loggiawand	1,30	119 €	159 €	48 €	-8 €	0,14	-43
LW-40867 Loggiawand	1,59	142 €	198 €	59 €	-3 €	0,14	-15
TP-30120 Treppenpodest	1,03	90 €	269 €	81 €	99 €	0,14	683
TP-30201 Treppenpodest	4,88	432 €	1.257 €	377 €	448 €	0,14	655
TS-30000 Treppenstufe	1,50	129 €	574 €	172 €	273 €	0,14	1.299
Vorlaufstrecke [km] bei einem Kostenvorteil von 30 %						min.	-43
						max.	1.299
						Mittel	353

Die mit dem Vorzeichen minus belegten Transportentfernungen (Vorlaufstrecken) für die Loggiabrüstungselemente und Loggiawände (Tab. 13) zeigen, dass die vorgegebene Kostenersparnis von 30 % nicht erreicht wird. Bei einem Kostenvorteil von 265 € bzw. 298 € können hingegen die Innenwände aus einem immer noch realisierbaren Vorlaufradius von bis zu knapp 160 km antransportiert werden.

Tab. 14: Berechnung der maximalen Vorlaufstrecken des Einzelbauteils für die Erzielung eines Kostenvorteils von 40 %

Betonelement	Masse	Σ Kosten der Bereitstellung ($K_{TUL, BE}$ ohne Vorlauf) $K_{Ges, BE}$	Preis für vergleichbare neue BE (RU) $K_{BE, neu}$	Kostenvorteil 40 %	Überschuss	Vorlaufkosten	max. Vorlaufstrecke
	[t]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€/t*km]	[km]
AW-40377 Außenwand (Treppenhaus)	2,16	209 €	410 €	164 €	37 €	0,14	122
AW-40390 Außenwand (ohne Fenster)	4,78	473 €	983 €	393 €	117 €	0,14	174
AW-40418/40419 Außenwand (2 Fenster)	5,80	578 €	1.155 €	462 €	115 €	0,14	142
AW-40448/40449 Außenwand (Balkontür)	5,65	562 €	1.121 €	448 €	110 €	0,14	140
AW-40500 Giebel-AW	3,96	392 €	815 €	326 €	97 €	0,14	175
AW-40510/40514 Giebel-AW	3,97	398 €	815 €	326 €	91 €	0,14	163
DP-20040 Deckenplatte	3,42	377 €	694 €	277 €	39 €	0,14	82
DW-10200/10201 AW-Giebelecke	4,02	365 €	839 €	336 €	139 €	0,14	246
DW-10300 AW-Drempелеlement	4,26	382 €	889 €	355 €	151 €	0,14	254
IW-50500 Innenwand	5,45	575 €	993 €	397 €	21 €	0,14	27
IW-50501 Innenwand (mit Tür)	4,86	511 €	883 €	353 €	19 €	0,14	28
LB-40870 Loggiabrüstung	2,48	225 €	315 €	126 €	-36 €	0,14	-104
LD-40900 Loggiadecke	3,71	322 €	966 €	386 €	258 €	0,14	496
LW-40860/40862 Loggiawand	1,30	119 €	159 €	64 €	-24 €	0,14	-130
LW-40867 Loggiawand	1,59	142 €	198 €	79 €	-23 €	0,14	-104
TP-30120 Treppenpodest	1,03	90 €	269 €	108 €	72 €	0,14	496
TP-30201 Treppenpodest	4,88	432 €	1.257 €	503 €	322 €	0,14	471
TS-30000 Treppenstufe	1,50	129 €	574 €	230 €	215 €	0,14	1.026
Vorlaufstrecke [km] bei einem Kostenvorteil von 40 %						min.	-130
						max.	1.026
						Mittel	206

Mit der Festsetzung eines Kostenvorteils in Höhe von 40 % zeigt sich, dass die Innenwände nur noch knapp 30 km transportiert werden könnten (Tab. 14). In diesem Einzugsbereich liegen bspw. die Städte Bergen und Sassnitz. Der Kostenvorteil beläuft sich dabei auf 353 bzw. 397 € je Innenwand. Die Transportentfernung resp. die Vorlaufstrecke für Deckenplatten reduziert sich auf 80 km bei 40 % Kosteneinsparung. Von Sassnitz aus bedeutet dies Spendergebäudestandorte auf der Insel Rügen zu akquirieren. Die Städte

Stralsund und Greifswald liegen auch in diesem Transportradius. Der Kostenvorteil pro Deckenelement beläuft sich auf 277 € gegenüber neuen Decken in Russland.

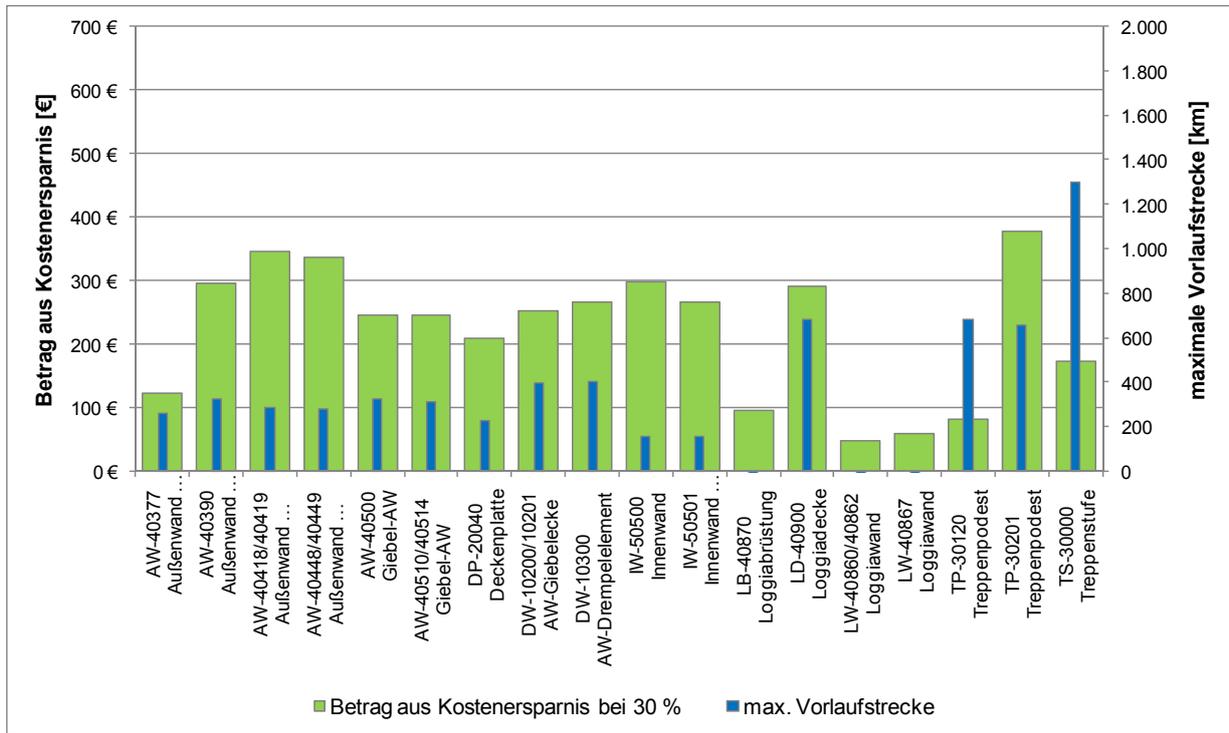


Abb. 18: Darstellung des resultierenden Betrages und maximalen Vorlaufstrecke bei einem Kostenvorteil von 30 %

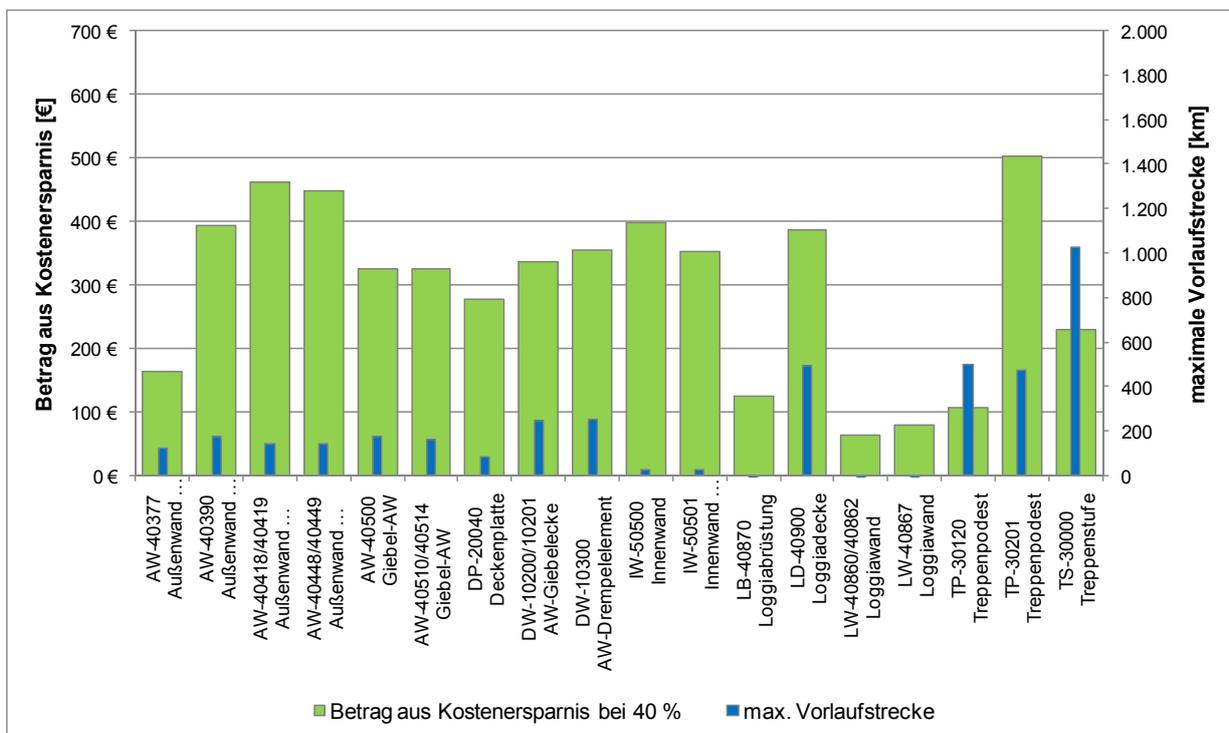


Abb. 19: Darstellung des resultierenden Betrages und maximalen Vorlaufstrecke bei einem Kostenvorteil von 40 %

Tab. 15: Berechnung der maximalen Vorlaufstrecken des Einzelbauteils für die Erzielung eines Kostenvorteils von 50 %

Betonelement	Masse	Σ Kosten der Bereitstellung ($K_{TUL, BE}$ ohne Vorlauf) $K_{Ges, BE}$	Preis für vergleichbare neue BE (RU) $K_{BE, neu}$	Kostenvorteil 50 %	Überschuss	Vorlaufkosten	max. Vorlaufstrecke
	[t]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€/t*km]	[km]
AW-40377 Außenwand (Treppenhaus)	2,16	209 €	410 €	205 €	-4 €	0,14	-14
AW-40390 Außenwand (ohne Fenster)	4,78	473 €	983 €	491 €	18 €	0,14	27
AW-40418/40419 Außenwand (2 Fenster)	5,80	578 €	1.155 €	578 €	0 €	0,14	0
AW-40448/40449 Außenwand (Balkontür)	5,65	562 €	1.121 €	560 €	-2 €	0,14	-2
AW-40500 Giebel-AW	3,96	392 €	815 €	407 €	15 €	0,14	28
AW-40510/40514 Giebel-AW	3,97	398 €	815 €	407 €	9 €	0,14	17
DP-20040 Deckenplatte	3,42	377 €	694 €	347 €	-30 €	0,14	-63
DW-10200/10201 AW-Giebelecke	4,02	365 €	839 €	420 €	55 €	0,14	97
DW-10300 AW-Drempелеlement	4,26	382 €	889 €	444 €	62 €	0,14	105
IW-50500 Innenwand	5,45	575 €	993 €	497 €	-78 €	0,14	-103
IW-50501 Innenwand (mit Tür)	4,86	511 €	883 €	442 €	-69 €	0,14	-102
LB-40870 Loggiabrüstung	2,48	225 €	315 €	157 €	-68 €	0,14	-195
LD-40900 Loggiadecke	3,71	322 €	966 €	483 €	161 €	0,14	310
LW-40860/40862 Loggiawand	1,30	119 €	159 €	79 €	-40 €	0,14	-217
LW-40867 Loggiawand	1,59	142 €	198 €	99 €	-43 €	0,14	-193
TP-30120 Treppenpodest	1,03	90 €	269 €	135 €	45 €	0,14	310
TP-30201 Treppenpodest	4,88	432 €	1.257 €	628 €	196 €	0,14	287
TS-30000 Treppenstufe	1,50	129 €	574 €	287 €	158 €	0,14	752
Vorlaufstrecke [km] bei einem Kostenvorteil von 50 %						min.	-217
						max.	752
						Mittel	58

Bei einer Festsetzung eines Kostenvorteils durch die Wiederverwendung gebrauchter Betonbauteile auf 50 % der Kosten im Vergleich zur Neuproduktion des entsprechenden Bauteils in Russland könnten nur noch Drempel- und Treppenbauteile sowie einige Giebelaußenwände importiert werden (vgl. Tab. 15). Dabei dürften die Drempелеlemente maximal in einem Umkreis von ca. 100 km von Sassnitz entfernt gewonnen werden. Die Kosteneinsparung je importierten Drempелеlements beträgt 420 € bzw. 444 €.

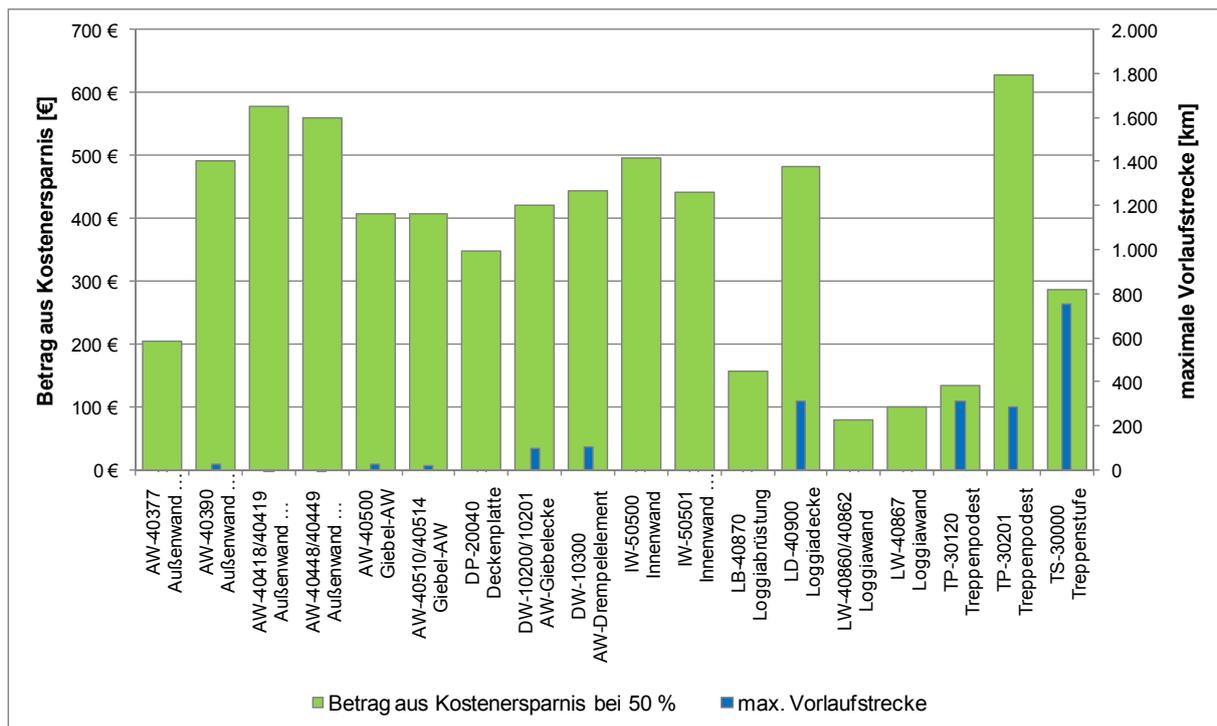


Abb. 20: Darstellung des resultierenden Betrages und maximalen Vorlaufstrecke bei einem Kostenvorteil von 50 %

Analog der deutlichen Unterschiede zum Kostenvorteil der dargestellten Transportkosten der Betonbauteile gegenüber der Bauteilneuproduktion (Pkt. 5.1) zeigen sich auch große Unterschiede in den ermittelten maximalen Vorlaufstrecken bei Betrachtung des einzelnen Betonelements.

Bei einer Vorlaufstrecke von ~ 160 km können max. 30 % der Neuteilproduktionskosten für die Innenwände erzielt werden. Außenwandbauteile und Deckenplatten lassen sich bei einer Kosteneinsparung von 40 % (Vorlauf: ~ 120 km bzw. ~ 80 km) in einem realistischen Einzugsbereich akquirieren. Gleiches gilt für die Drempelenelemente und Treppenpodeste bei einer Kostenersparnis von 50 % (Vorlauf: ~ 100 km bzw. ~ 300 km).

Einzig das untersuchte Treppenstufenelement (TS 30000) erlaubt – Element bezogen betrachtet – den größten Kostenvorteil und ermöglicht ungleich höhere Vorlaufstrecken. So lässt sich das Treppenstufenelement bspw. auch noch bei einer festgesetzten Kosteneinsparung von 50 % über 750 km durch das gesamte Gebiet der neuen Bundesländer transportieren⁴⁴.

Hingegen lassen die Loggiawandbauteile und –brüstungselemente bereits bei einem Kostenvorteil von 20 % (Vorlauf: ~70 km) nur noch eine Spenderstandortlage aus dem Gebiet der Insel Rügen zu. Die Wiederverwendung von Loggiawänden und –brüstungen im Pilotvorhaben ist bei einer festgesetzten Kosteneinsparung von 30 % nicht mehr gegeben.

⁴⁴ Die größtmögliche Vorlaufentfernung für gebrauchte Betonbauteile aus Ostdeutschland beträgt 725 km von Hildburghausen (Freistaat Thüringen) nach Sassnitz.

Wiederholt wird, dass die hier Kosten bezogenen Aussagen zu maximal möglichen Vorlaufstrecken nur für das einzeln betrachtete Betonelement gelten.

Bezugnehmend auf die ermittelten Werte, dargestellt in Abb. 16 – 20 sowie Tab. 12 – 16, wird deutlich, dass sich die berechneten maximalen Vorlaufstrecken der betrachteten Hauptbauteile (Außen- und Innenwände, Deckenelemente) Kosten bezogen nur unwesentlich unterscheiden. Für das übrige Betonbauteilsortiment ergeben sich für jedes Bauteil unterschiedliche Ergebnisse. Trotzdem sind nachfolgend auch diese Bauteilgruppen zusammengefasst betrachtet werden, da es sich im Bereich der Loggien und Treppen um Systemelemente handelt, welche nur als Einheit verwendet werden können; entweder alle Einzelelemente oder keines.

In der nachfolgenden Tab. 16 sind die maximalen Vorlaufstrecken der Bauteilgruppen in Abhängigkeit des festgesetzten Kostenvorteils gegenübergestellt. Um den Vorlaufradius für die Bauteilgruppen und somit den möglichen Einzugsbereich zur Akquise dieser besser darzustellen, wurden die Felder farblich hinterlegt:

- rot: kein oder zu geringer Einzugsbereich (< 75 km),
- orange: Einzugsbereich > 75 km < 250 km,
- gelb: Einzugsbereich > 250 < 500 km,
- grün: Einzugsbereich > 500 km.

Diskussion der unterschiedlichen Einzugsbereiche:

Der Einzugsbereich < 75 km bietet mit der Insel Rügen und dem Umland der vorgelagerten Stadt Stralsund von Sassnitz aus einen eingeschränkten Bereich, ein geeignetes Spendergebäude zu finden, in dem die geforderten Betonbauteile in ausreichender Menge zur Verfügung gestellt werden können. Der Einzugsbereich > 75 < 250 km ist durch Klein- und Mittelstädte im hauptsächlich strukturschwachen ländlichen Raum geprägt. Ausnahmen stellen die Zentren Rostock, Schwerin und Neubrandenburg dar. In dieser Region sind vor allem auf Druck des demografischen Wandels verschiedene Stadtumbaumaßnahmen vorgesehen, so dass auch mit einer verstärkten Umsetzung von partiellen Rückbaumaßnahmen zu rechnen ist, aus denen die erforderlichen Bauteile in entsprechender Menge gewonnen werden könnten. Die großen Zentren wie Berlin, Halle, Leipzig, Magdeburg, mit einer erwarteten hohen Anzahl an Rückbaumaßnahmen, befinden sich im Einzugsbereich von 250 km bis 500 km.

Tab. 16: Zusammenfassung der maximalen Vorlaufstrecken der Bauteilgruppen in Abhängigkeit der festgesetzten Kosteneinsparungen

Bauteilgruppen	max. Vorlaufstrecke in km bei einer Kostenersparnis von				
	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
Außenwandbauteile	528	393	257	122	-14
Deckenplatten	517	372	227	82	-63
Innenwandbauteile	417	287	157	27	-103
Drempelbauteile	694	545	395	246	97
Loggiaelemente	132	45	-43	-130	-217
Treppenelemente	1.023	839	655	471	287

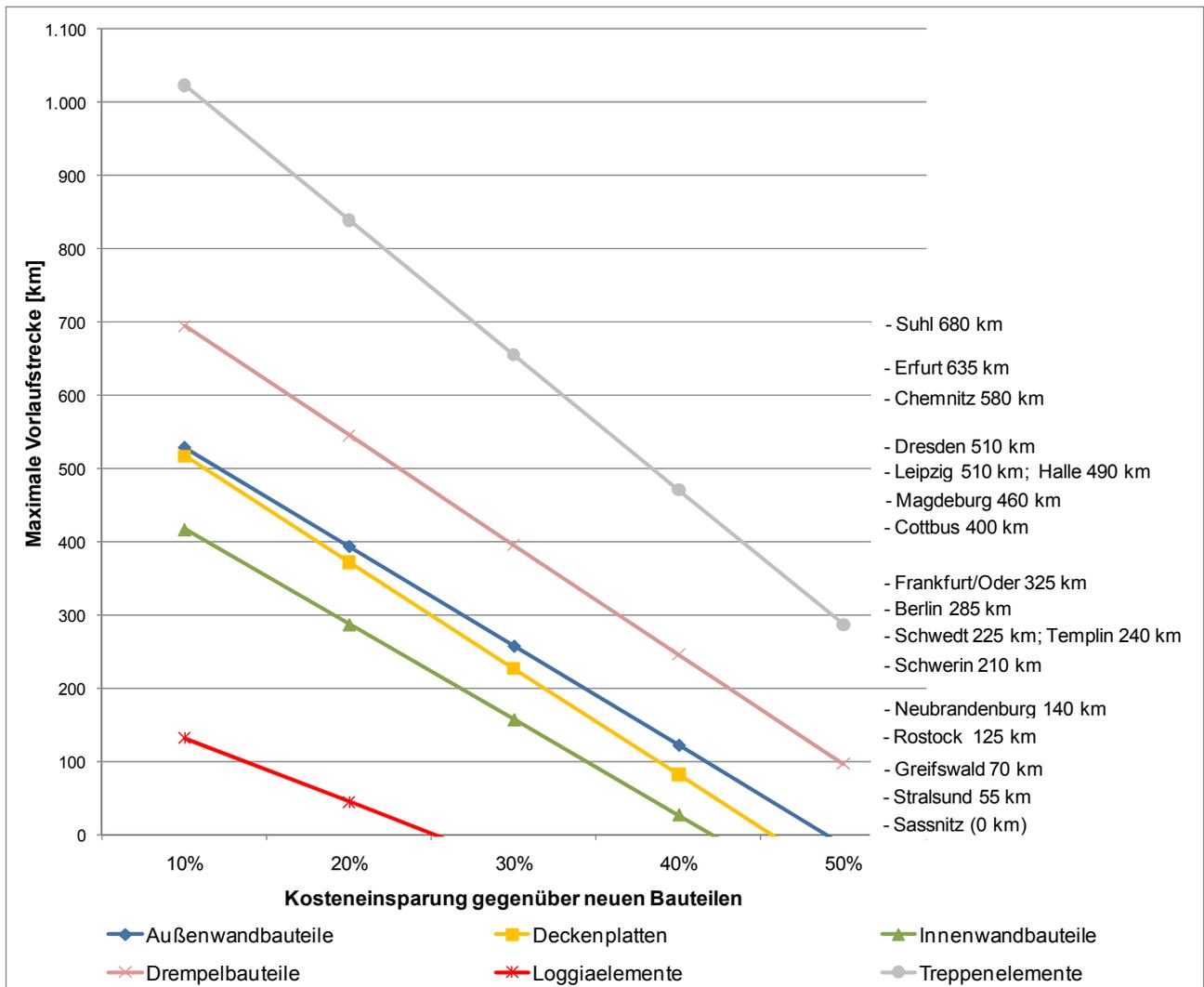


Abb. 21: Darstellung der Vorlaufstrecken für hauptsächliche Bauteilgruppen in Abhängigkeit der festgesetzten Kosteneinsparung

Die Hauptbauteilgruppen der Außen- und Innenwandelemente, als auch Deckenplatten liegen relativ eng beieinander. Für die Erzielung einer Kostenersparnis beim Einsatz von Altbetonbauteilen von 30 % können diese im Vorlauf immerhin über ca. 260 bis 160 km transportiert werden. In diesen Entfernungen befinden sich Städte wie Stralsund, Greifswald, Rostock und Neubrandenburg. Die Kosteneinsparung pro importierten Bauteil liegt dann zwischen ca. 100 € bis 244 € im Vergleich zu einem vergleichbaren neuen Betonelement im Raum Sankt Petersburg.

Bei einer festgesetzten Kostenersparnis von mind. 30 % können gebrauchte Deckenplatten aus einer Entfernung bis zu ca. 230 km antransportiert werden. Der Gewinn je Deckenplatte beläuft sich dann auf ca. 140 €.

Sollen Loggiabauteile wiederverwendet werden, ist maximal eine Kostenersparnis von 20 % erzielbar. Selbst dabei sind jedoch die möglichen Transportentfernungen des Vorlaufs mit 45 km so gering, dass dieser Kostenvorteil nur in Ausnahmen erzielt werden kann (Rückbaubaustellen auf Rügen). Aus diesem Grund empfiehlt es sich, von einem Einsatz der gebrauchten Loggiaelemente im Pilotprojekt abzusehen, zumal der zu erzielende Kostenvorteil pro Loggiawand und –brüstung nur ca. 40 € bis 60 € beträgt.

5.5 Ermittlung des Kostenvorteils durch Wiederverwendung bei festgelegter Vorlaufstrecke

Neben der Betrachtung der maximal möglichen Transportentfernung von der Rückbaustelle zum Fährhafen bei einer festgesetzten Kostenersparnis kann auch umgekehrt der mögliche Kostenvorteil bei einer festgelegten Vorlaufentfernung betrachtet werden. So kann festgestellt werden, welche Kosteneinsparungen bei welchen Transportentfernungen erzielt werden können.

Ausgehend vom Fährhafen in Sassnitz werden nachfolgend die erwarteten Kostenvorteile resultierend aus verschieden großen Vorlaufstrecken und den damit verbundenen möglichen Einzugsgebieten betrachtet. Die untersuchten Einzugsgebiete werden wie in Pkt. 5.4 unterschieden und in nachstehender Tab. 17 mit ausgewählten optionalen Rückbaustandorten untersetzt.

Tab. 17: Untersuchte Einzugsgebiete, Vorlaufstrecken und optionale Rückbaustandorte

Bezeichnung	Vorlaufstrecke	Beschreibung	Auswahl optionaler Rückbaustandorte
Nahbereich Bereich der Insel Rügen und des vorgelagerten Festlands,	bis 75 km	Küstenregion mit geringer erwarteter Rückbauaktivität	Sassnitz, Bergen auf Rügen, Stralsund, Greifswald, Grimmen ...
Regionaler Bereich Land Mecklenburg-Vorpommern und nördliche Teile des Landes Brandenburg	75 km bis 250 km	Strukturschwacher ländlicher Raum mit hauptsächlich Klein- und Mittelstädten mit durchschnittlicher erwarteter Rückbauaktivität	Rostock, Schwerin, Neubrandenburg, Wismar, Güstrow, Prenzlau, Ueckermünde, Torgelow, Schwedt, Templin ...
Überregionaler Bereich Land Brandenburg, nördliche Teile des Landes Sachsen-Anhalt und des Freistaats Sachsen	250 km bis 500 km	Klein- und Mittelstädte mit durchschnittlicher Rückbauaktivität; Ballungszentren mit hoher erwarteter Rückbauaktivität	Berlin, Halle, Leipzig, Magdeburg, Potsdam, Brandenburg/Havel, Frankfurt/Oder, Cottbus, Eisenhüttenstadt, Eberswalde, Stendal ...
Maximalbereich Freistaat Thüringen, südliche Teile des Freistaats Sachsen und des Landes Sachsen-Anhalt	500 km bis 725 km	Klein- und Mittelstädte mit durchschnittlicher Rückbauaktivität; Ballungszentren mit hoher erwarteter Rückbauaktivität	Erfurt, Dresden, Chemnitz, Gotha, Suhl, Gera, Jena, Zwickau, Nordhausen, Mühlhausen ...

Unter Berücksichtigung der Vorbereitungs- und Transportkosten sowie der Kosten für die verschiedenen Vorlaufstrecken ergeben sich für die Wiederverwendung gebrauchter Betonbauteile (Einzelbauteile) für das Pilotprojekt folgende Kostenersparnisse in Bezug auf die ermittelten örtlichen Neuteilpreise im Leningrader Gebiet in Russland (Tab. 18):

Tab. 18: Voraussichtliche Kostenersparnis pro Einzelbauteil in Prozent bei variierender Vorlaufstrecke

Betonelement	Preis für vergleichbare neue BE (RU)	Σ Kosten der Bereitstellung ($K_{TUL, BE}$ ohne Vorlauf)	Voraussichtliche Kostenersparnis pro Bauteil bei einer Vorlaufstrecke von				
	$K_{BE, neu}$	$K_{Ges, BE}$	75 km	150 km	250 km	500 km	725 km
	[€]	[€]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
AW-40377 Außenwand (Treppenhaus)	410 €	209 €	46 %	44 %	40 %	32 %	24 %
AW-40390 Außenwand (ohne Fenster)	983 €	473 €	51 %	50 %	48 %	45 %	42 %
AW-40418/40419 Außenwand (2 Fenster)	1.155 €	578 €	49 %	48 %	47 %	44 %	41 %
AW-40448/40449 Außenwand (Balkontür)	1.121 €	562 €	49 %	48 %	47 %	44 %	41 %
AW-40500 Giebel-AW	815 €	392 €	51 %	49 %	48 %	43 %	39 %
AW-40510/40514 Giebel-AW	815 €	398 €	50 %	49 %	47 %	43 %	39 %
DP-20040 Deckenplatte	694 €	377 €	44 %	43 %	41 %	36 %	31 %
DW-10200/10201 AW-Giebelecke	839 €	365 €	55 %	54 %	52 %	48 %	44 %
DW-10300 AW-Drempelement	889 €	382 €	56 %	55 %	53 %	49 %	46 %
IW-50500 Innenwand	993 €	575 €	41 %	40 %	39 %	35 %	32 %
IW-50501 Innenwand (mit Tür)	883 €	511 €	41 %	40 %	38 %	34 %	31 %
LB-40870 Loggiabrüstung	315 €	225 €	25 %	22 %	17 %	6 %	-4 %
LD-40900 Loggiadecke	966 €	322 €	66 %	64 %	63 %	59 %	56 %
LW-40860/40862 Loggiawand	159 €	119 €	19 %	12 %	3 %	-19 %	-39 %
LW-40867 Loggiawand	198 €	142 €	23 %	18 %	11 %	-7 %	-23 %
TP-30120 Treppenpodest	269 €	90 €	63 %	59 %	54 %	41 %	29 %
TP-30201 Treppenpodest	1.257 €	432 €	65 %	64 %	63 %	60 %	58 %
TS-30000 Treppenstufe	574 €	129 €	76 %	74 %	71 %	65 %	60 %

Die ermittelte Kostenersparnis, angegeben in Prozent, bezieht sich hierbei auf die Herstellungskosten eines baugleichen Neubauteils in der Region Sankt Petersburg. Die unterschiedlichen Bauteilgrößen und –ausführungen führen zu variierenden Herstellungskosten und somit auch zu verschiedenen voraussichtlich erzielbaren Kostenvorteilen.

Eine Übersicht zu den erzielbaren Kosteneinsparungen pro Einzelbauteil [in EURO] der verschiedenen Bauteilsortimente ist in Tab. 19 gegeben.

Tab. 19: Voraussichtliche Kostenersparnis pro Einzelbauteil in EURO bei variierender Vorlaufstrecke

Betonelement	Preis für vergleichbare neue BE (RU)	Σ Kosten der Bereitstellung ($K_{TUL, BE}$ ohne Vorlauf)	Voraussichtliche Kostenersparnis pro Bauteil bei einer Vorlaufstrecke von				
	$K_{BE, neu}$	$K_{Ges, BE}$	75 km	150 km	250 km	500 km	725 km
	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]
AW-40377 Außenwand (Treppenhaus)	410 €	209 €	190 €	180 €	166 €	131 €	99 €
AW-40390 Außenwand (ohne Fenster)	983 €	473 €	499 €	489 €	475 €	440 €	408 €
AW-40418/40419 Außenwand (2 Fenster)	1.155 €	578 €	567 €	556 €	542 €	507 €	476 €
AW-40448/40449 Außenwand (Balkontür)	1.121 €	562 €	548 €	538 €	524 €	489 €	457 €
AW-40500 Giebel-AW	815 €	392 €	412 €	402 €	388 €	353 €	321 €
AW-40510/40514 Giebel-AW	815 €	398 €	406 €	396 €	382 €	347 €	315 €
DP-20040 Deckenplatte	694 €	377 €	306 €	296 €	282 €	247 €	215 €
DW-10200/10201 AW-Giebelecke	839 €	365 €	464 €	453 €	439 €	404 €	373 €
DW-10300 AW-Drempelement	889 €	382 €	496 €	486 €	472 €	437 €	405 €
IW-50500 Innenwand	993 €	575 €	408 €	397 €	383 €	348 €	317 €
IW-50501 Innenwand (mit Tür)	883 €	511 €	362 €	351 €	337 €	302 €	271 €
LB-40870 Loggiabrüstung	315 €	225 €	79 €	69 €	55 €	20 €	-12 €
LD-40900 Loggiadecke	966 €	322 €	634 €	623 €	609 €	574 €	543 €
LW-40860/40862 Loggiawand	159 €	119 €	29 €	19 €	5 €	-30 €	-62 €
LW-40867 Loggiawand	198 €	142 €	45 €	35 €	21 €	-14 €	-46 €
TP-30120 Treppenpodest	269 €	90 €	169 €	158 €	144 €	109 €	78 €
TP-30201 Treppenpodest	1.257 €	432 €	814 €	804 €	790 €	755 €	723 €
TS-30000 Treppenstufe	574 €	129 €	434 €	424 €	410 €	375 €	343 €

In Tab. 20 werden die voraussichtlich erzielbaren Kosteneinsparungen auf die Bauteilfläche des einzelnen Betonelements bezogen, um eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erhalten.

Tab. 20: Voraussichtliche Kostenersparnis pro Quadratmeter Einzelbauteil bei variierender Vorlaufstrecke

Betonelement	Bauteilfläche	Preis für vergleichbare neue BE (RU)	Σ Kosten der Bereitstellung ($K_{TUL, BE}$ ohne Vorlauf)	Voraussichtliche Kostenersparnis pro 1 m ² Bauteilfläche bei einer Vorlaufstrecke von				
		$K_{BE, neu}$	$K_{Ges, BE}$	75 km	150 km	250 km	500 km	725 km
	[m ²]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]
AW-40377 Außenwand (Treppenhaus)	4,10	410 €	209 €	46 €	44 €	40 €	32 €	24 €
AW-40390 Außenwand (ohne Fenster)	10,20	983 €	473 €	49 €	48 €	47 €	43 €	40 €
AW-40418/40419 Außenwand (2 Fenster)	12,80	1.155 €	578 €	44 €	43 €	42 €	40 €	37 €
AW-40448/40449 Außenwand (Balkontür)	12,40	1.121 €	562 €	44 €	43 €	42 €	39 €	37 €
AW-40500 Giebel-AW	8,50	815 €	392 €	48 €	47 €	46 €	41 €	38 €
AW-40510/40514 Giebel-AW	9,00	815 €	398 €	45 €	44 €	42 €	39 €	35 €
DP-20040 Deckenplatte	10,70	694 €	377 €	29 €	28 €	26 €	23 €	20 €
DW-10200/10201 AW-Giebelecke	7,10	839 €	365 €	65 €	64 €	62 €	57 €	53 €
DW-10300 AW-Drempелеlement	6,90	889 €	382 €	72 €	70 €	68 €	63 €	59 €
IW-50500 Innenwand	15,30	993 €	575 €	27 €	26 €	25 €	23 €	21 €
IW-50501 Innenwand (mit Tür)	13,50	883 €	511 €	27 €	26 €	25 €	22 €	20 €
LB-40870 Loggiabrüstung	7,60	315 €	225 €	10 €	9 €	7 €	3 €	-2 €
LD-40900 Loggiadecke	7,80	966 €	322 €	81 €	80 €	78 €	74 €	70 €
LW-40860/40862 Loggiawand	4,30	159 €	119 €	7 €	4 €	1 €	-7 €	-14 €
LW-40867 Loggiawand	4,30	198 €	142 €	11 €	8 €	5 €	-3 €	-11 €
TP-30120 Treppenpodest	2,40	269 €	90 €	70 €	66 €	60 €	46 €	32 €
TP-30201 Treppenpodest	12,40	1.257 €	432 €	66 €	65 €	64 €	61 €	58 €
TS-30000 Treppenstufe	3,00	574 €	129 €	145 €	141 €	137 €	125 €	114 €

Der Übersicht halber werden in nachfolgender Tab. 21 die voraussichtlich zu erwartenden Kosteneinsparungen für die Bauteilgruppen aus Tab. 20 bezogen auf 1 m² Bauteilfläche zusammengefasst und in Abb. 22 grafisch dargestellt.

Tab. 21: Voraussichtliche durchschnittliche Kostenersparnis pro m² Bauteilfläche der Bauteilgruppen bei variierender Vorlaufstrecke

Bauteilgruppe	Durchschnittliche Kostenersparnis pro 1 m ² Bauteilfläche bei einer Vorlaufstrecke von				
	75 km	150 km	250 km	500 km	725 km
Außenwände	46 €	45 €	43 €	39 €	35 €
Deckenplatten	29 €	28 €	26 €	23 €	20 €
Drempel Elemente	69 €	67 €	65 €	60 €	56 €
Innenwände	27 €	26 €	25 €	23 €	20 €
Loggiaelemente	27 €	25 €	23 €	16 €	11 €
Treppenelemente	94 €	91 €	87 €	77 €	68 €

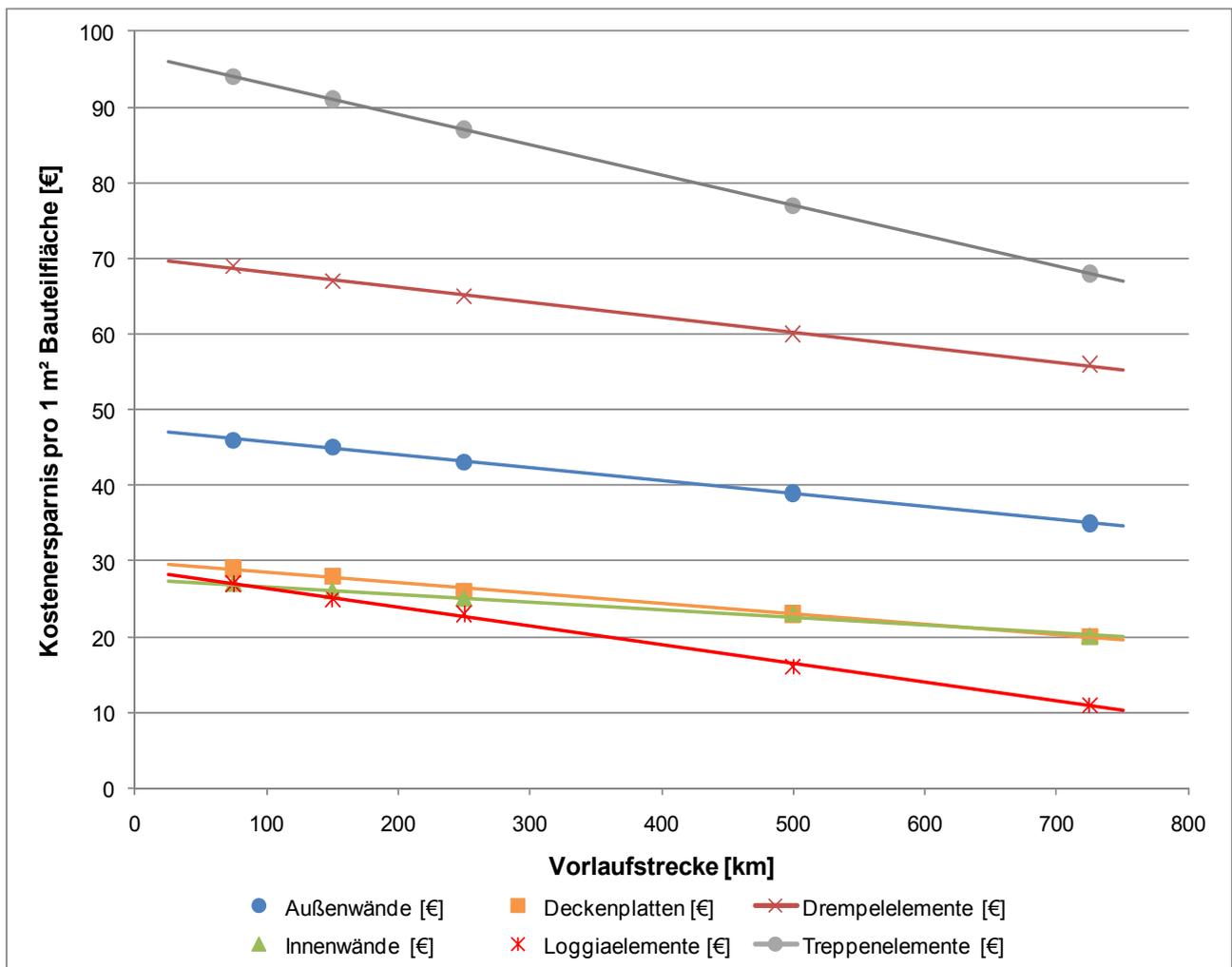


Abb. 22: Voraussichtliche durchschnittliche Kostenersparnis pro m² Bauteilgruppe der Bauteilgruppen bei variierender Vorlaufstrecke

Die höchsten Kosteneinsparungen können durch die Wiederverwendung der Treppenelemente erzielt werden, die niedrigsten erzielen die Loggiaelemente.

5.6 Ermittlung des Break-Even-Point für den Teilprozess Vorlauf für das gesamte Bauteilsortiment zur Errichtung des Pilotvorhabens

Sinnvoll ist, möglichst viele wiederverwendungsfähige Betonbauteile aus einer Rückbaubaustelle zurück zu gewinnen, da so die Vorbereitung, Planung und Umsetzung der Logistik erleichtert wird. In der nachfolgenden Tab. 23 sind die maximal möglichen Vorlaufstrecken des gesamten Bauteilsortiments zur Umsetzung des Pilotprojektes (vgl. Tab. 10) für die Erzielung der Kostenvorteile von 10 %, 20 %, 30 %, 40 % und 50 % in Bezug auf die Herstellungskosten von Neubauteilen im Sankt Petersburger Raum aufgeführt.

Tab. 22: Ermittlung der maximalen Vorlaufstrecken des gesamten Bauteilsortimentes für den Bau des Pilotprojektes in Abhängigkeit festgesetzter Kostenersparnisse

Kostenersparnis	Bauteilgesamtmasse	Kosten Neuproduktion (RU) K_{neu} Bauteilsomme	\sum Kosten der Bereitstellung K_{Ges} (K_{TUL} ohne Vorlauf)	Anteil der Kosten in Abhängigkeit der Kostenersparnis	max. mögliche Kosten für den Vorlauf	Transportkosten pro Tonne und Kilometer	max. Vorlaufstrecke
[%]	[t]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€/t*km]	[km]
10 %	2.433	487.703 €	251.174 €	48.770 €	187.759 €	0,14	551
20 %	2.433	487.703 €	251.174 €	97.541 €	138.988 €	0,14	408
30 %	2.433	487.703 €	251.174 €	146.311 €	90.218 €	0,14	265
40 %	2.433	487.703 €	251.174 €	195.081 €	41.448 €	0,14	122
50 %	2.433	487.703 €	251.174 €	243.852 €	-7.323 €	0,14	-21

Aus Tab. 22 geht deutlich hervor, dass eine Kostenersparnis in Höhe von 50 % nicht erreicht werden kann. Realistisch ist die Erzielung eines Kostenvorteiles von 40 %. Dies entspricht einer Kostenreduktion von knapp 200.000 € gegenüber der Umsetzung des Pilotprojektes mit baugleichen Neubauteilen aus Russland. Der Rückbaustandort des Spendergebäudes hat dann maximal einem Einzugsbereich von ca. 120 km von Sassnitz entfernt. Infrage kämen somit Städte wie Stralsund (55 km), Greifswald (70 km) und die östlichen Stadtteile von Rostock (125 km).

Der Einzugsbereich mit einer Kosteneinsparung von 30 % deckt sich mit dem regionalen Bereich aus Tab. 18 und erstreckt sich über das gesamte Gebiet des Landes Mecklenburg-Vorpommern und den nördlichen Kreisen des Landes Brandenburgs. Mit der Akquise eines Rückbaustandortes in diesem regionalen Bereich wird erwartet, dass Kosten von ~ 195.000 € eingespart werden können.

5.7 Ermittlung zu erwartender Kostenvorteile durch Wiederverwendung unter Berücksichtigung verschiedener Rückbaustandorte

Im Folgenden sollen die zu erwartenden Kostenvorteile ermittelt werden, wenn die Betonelemente aus verschiedenen Rückbaustandorten stammen.

Untersucht wurden hierfür die potenziellen Standorte, bei denen auch zukünftig Plattenbauten zurück zu bauen sind: Rostock (125 km), Templin (240 km), Berlin (285 km), Cottbus (400 km) und Chemnitz (580 km).

Die Hansestadt Rostock als Großstadt und Ballungszentrum ist eines der vier Oberzentren im Land Mecklenburg-Vorpommern und befindet sich im regionalen Einzugsbereich des Fährhafens Sassnitz (vgl. Tab. 18). Zwischen 1969 und 1989 wurden aufgrund des Bevölkerungszuwachses auf 250.000 Einwohner (1988) neun Großwohnsiedlungen mit industrieller Bausubstanz errichtet. Nach 1990 schrumpfte die Bevölkerungszahl um mehr als 50.000 Einwohner.⁴⁵ Rostock verfügt über ein hohes Potenzial an Plattenbauteilen im regionalen Einzugsbereich des Fährhafens Sassnitz.

Templin ist mit ca. 16.500 Einwohnern die größte Stadt im Landkreis Uckermark im Norden des Landes Brandenburgs und kann somit zum Rand des regionalen Einzugsbereiches, vom Fährhafen Sassnitz aus betrachtet, gezählt werden. In den 1960er und 1970er Jahren wurden am Stadtrand größere Wohnsiedlungen mit über 500 neuen Wohneinheiten industriell gefertigt.⁴⁶ Aufgrund des Bevölkerungsrückgangs wurden und werden auch zukünftig in diesem Bereich umfangreiche Rückbaumaßnahmen durchgeführt.

Berlin befindet sich im überregionalen Einzugsbereich des Fährhafens Sassnitz. Laufende und perspektivisch zu realisierende Umbaumaßnahmen in den Großwohnsiedlungen im Osten der Stadt weisen ein großes Potenzial für die Bereitstellung gebrauchter Betonbauteile für Wiederverwendungsvorhaben auf.

Auch die Großstadt Cottbus mit ca. 100.000 Einwohnern, zweitgrößte Stadt des Landes Brandenburgs, befindet sich im überregionalen Einzugsbereich des Fährhafens Sassnitz und plant weitere Plattenbauwohnungen vom Markt zu nehmen.

Chemnitz mit knapp 250.000 Einwohnern befindet sich im „Maximaleinzugsbereich“ des Hafens Sassnitz. Seit der Wende verließen ca. 20 % der Einwohner die Stadt. Umfangreiche Stadtumbaumaßnahmen mit einer hohen Rückbauaktivität erfolgen vor allem in den in den 1960er und 1970er Jahren im Zentrum als auch in peripheren Lagen errichteten großflächigen Wohngebieten in industrieller Plattenbauweise.⁴⁷

Für die gewählten Standorte stellen sich die zu erwartenden Kostenvorteile für die Nutzung des geplanten Pilotvorhabens wie folgt dar (Tab. 23 - 27):

⁴⁵ <http://de.wikipedia.org/wiki/Rostock>; aufgerufen am 30.09.2010.

⁴⁶ <http://www.templin.de>, aufgerufen am 30.09.2010.

⁴⁷ <http://de.wikipedia.org/wiki/Chemnitz>; aufgerufen am 30.09.2010.

Tab. 23: Ermittlung der voraussichtlichen Kosteneinsparungen bei einem Rückbaustandort in Rostock

Betonement	Anzahl	Masse	Kosten Neu-	Kosten Neu-	Kosten der	Vorlauf-	Vorlauf-	Gesamt-	Gesamt-	Kosten-	zu	
			produktion	produktion								Bereitstellung
		[t]	$K_{BE, neu}$	K_{neu}	$K_{Ges, BE}$	[km]	(0,14	Einzelbauteil	Bauteilsumme	Einzelbauteil	Bauteilsumme	erwartende
			[€]	[€]	[€]		€/t*km)	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]
AW-40377 Außenwand (Treppenhaus)	6	2,16	410 €	2.459 €	209 €	125	38 €	247 €	1.481 €	978 €	40%	
AW-40390 Außenwand (ohne Fenster)	9	4,78	983 €	8.843 €	473 €	125	84 €	557 €	5.010 €	3.833 €	43%	
AW-40418/40419 Außenwand (2 Fenster)	36	5,80	1.155 €	41.592 €	578 €	125	102 €	680 €	24.462 €	17.130 €	41%	
AW-40448/40449 Außenwand (Balkontür)	27	5,65	1.121 €	30.261 €	562 €	125	99 €	661 €	17.844 €	12.417 €	41%	
AW-40500 Giebel-AW	12	3,96	815 €	9.776 €	392 €	125	69 €	461 €	5.536 €	4.240 €	43%	
AW-40510/40514 Giebel-AW	12	3,97	815 €	9.776 €	398 €	125	69 €	467 €	5.610 €	4.166 €	43%	
DP-20040 Deckenplatte	297	3,42	694 €	206.037 €	377 €	125	60 €	437 €	129.744 €	76.293 €	37%	
DW-10200/10201 AW-Giebelecke	4	4,02	839 €	3.357 €	365 €	125	70 €	435 €	1.741 €	1.616 €	48%	
DW-10300 AW-Drempelement	24	4,26	889 €	21.329 €	382 €	125	75 €	457 €	10.957 €	10.372 €	49%	
IW-50500 Innenwand	39	5,45	993 €	38.728 €	575 €	125	95 €	670 €	26.145 €	12.583 €	32%	
IW-50501 Innenwand (mit Tür)	54	4,86	883 €	47.692 €	511 €	125	85 €	596 €	32.187 €	15.505 €	33%	
LB-40870 Loggiabrüstung	27	2,48	315 €	8.495 €	225 €	125	43 €	268 €	7.247 €	1.248 €	15%	
LD-40900 Loggiadecke	27	3,71	966 €	26.087 €	322 €	125	65 €	387 €	10.447 €	15.640 €	60%	
LW-40860/40862 Loggiawand	24	1,30	159 €	3.815 €	119 €	125	23 €	142 €	3.402 €	413 €	11%	
LW-40867 Loggiawand	15	1,59	198 €	2.969 €	142 €	125	28 €	170 €	2.547 €	422 €	14%	
TP-30120 Treppenpodest	18	1,03	269 €	4.847 €	90 €	125	18 €	108 €	1.944 €	2.903 €	60%	
TP-30201 Treppenpodest	9	4,88	1.257 €	11.311 €	432 €	125	85 €	517 €	4.657 €	6.654 €	59%	
TS-30000 Treppenstufe	18	1,50	574 €	10.331 €	129 €	125	26 €	155 €	2.795 €	7.536 €	73%	
Summe	658			487.703 €					293.755 €	193.948 €	40%	

Befindet sich das Spendergebäude in Rostock (Vorlauf: 125 km bis zum Hafen Sassnitz) könnten ~ 40 % Kosten eingespart werden im Vergleich zu neu produzierten Betonelementen in Russland für die Errichtung des Pilotgebäudes.

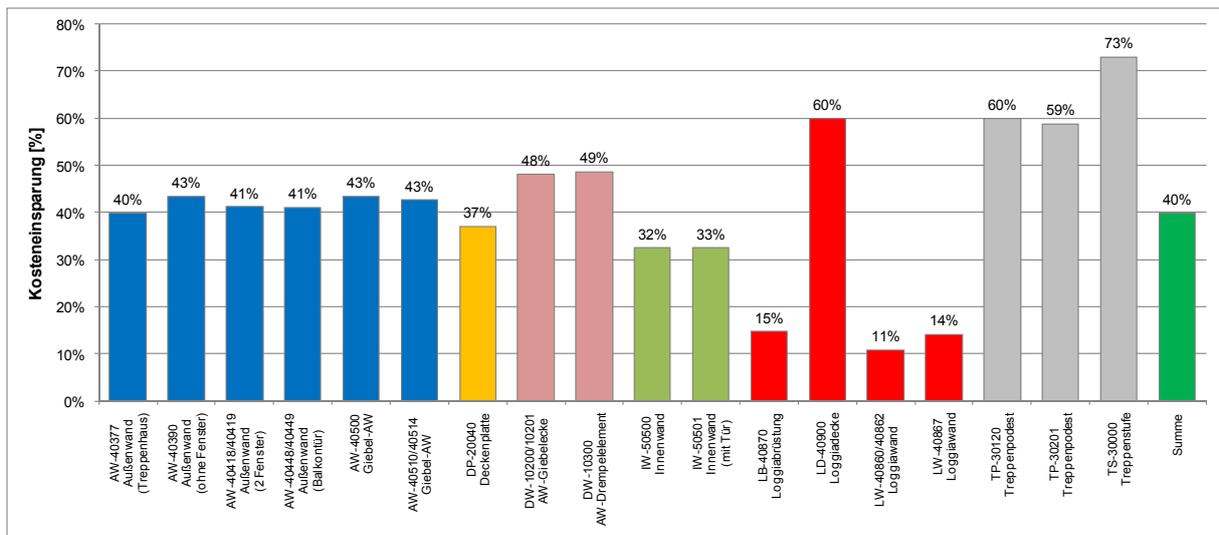


Abb. 24: Darstellung der ermittelten Kosteneinsparungen bei einem Rückbaustandort in Rostock

Tab. 24: Ermittlung der voraussichtlichen Kosteneinsparungen bei einem Rückbaustandort in Templin

Betonelement	Anzahl	Masse	Kosten Neu-	Kosten Neu-	Kosten der	Vorlauf-	Vorlauf-	Gesamt-	Gesamt-	Kosten-	zu	
			produktion	produktion								Bereitstellung
		[t]	(RU) K _{BE, neu} Einzelbauteil [€]	(RU) K _{neu} Bauteilsomme [€]	(€)	[km]	(0,14 €/t*km) [€]	Einzelbauteil [€]	Bauteilsomme [€]	[€]	Kosten-	ersparnis
											[€]	[%]
AW-40377 Außenwand (Treppenhaus)	6	2,16	410 €	2.459 €	209 €	240	73 €	282 €	1.689 €	769 €	31%	
AW-40390 Außenwand (ohne Fenster)	9	4,78	983 €	8.843 €	473 €	240	161 €	634 €	5.702 €	3.140 €	36%	
AW-40418/40419 Außenwand (2 Fenster)	36	5,80	1.155 €	41.592 €	578 €	240	195 €	773 €	27.824 €	13.768 €	33%	
AW-40448/40449 Außenwand (Balkontür)	27	5,65	1.121 €	30.261 €	562 €	240	190 €	752 €	20.300 €	9.961 €	33%	
AW-40500 Giebel-AW	12	3,96	815 €	9.776 €	392 €	240	133 €	525 €	6.301 €	3.475 €	36%	
AW-40510/40514 Giebel-AW	12	3,97	815 €	9.776 €	398 €	240	133 €	531 €	6.377 €	3.399 €	35%	
DP-20040 Deckenplatte	297	3,42	694 €	206.037 €	377 €	240	115 €	492 €	146.098 €	59.940 €	29%	
DW-10200/10201 AW-Giebelecke	4	4,02	839 €	3.357 €	365 €	240	135 €	500 €	2.000 €	1.357 €	40%	
DW-10300 AW-Drempelement	24	4,26	889 €	21.329 €	382 €	240	143 €	525 €	12.603 €	8.726 €	41%	
IW-50500 Innenwand	39	5,45	993 €	38.728 €	575 €	240	183 €	758 €	29.567 €	9.161 €	24%	
IW-50501 Innenwand (mit Tür)	54	4,86	883 €	47.692 €	511 €	240	163 €	674 €	36.412 €	11.280 €	24%	
LB-40870 Loggiabrüstung	27	2,48	315 €	8.495 €	225 €	240	83 €	308 €	8.325 €	170 €	2%	
LD-40900 Loggiadecke	27	3,71	966 €	26.087 €	322 €	240	125 €	447 €	12.060 €	14.027 €	54%	
LW-40860/40862 Loggiawand	24	1,30	159 €	3.815 €	119 €	240	44 €	163 €	3.904 €	-90 €	-2%	
LW-40867 Loggiawand	15	1,59	198 €	2.969 €	142 €	240	53 €	195 €	2.931 €	38 €	1%	
TP-30120 Treppenhof	18	1,03	269 €	4.847 €	90 €	240	35 €	125 €	2.243 €	2.605 €	54%	
TP-30201 Treppenhof	9	4,88	1.257 €	11.311 €	432 €	240	164 €	596 €	5.364 €	5.947 €	53%	
TS-30000 Treppstufe	18	1,50	574 €	10.331 €	129 €	240	50 €	179 €	3.229 €	7.102 €	69%	
Summe	658			487.703 €					332.929 €	154.774 €	32%	

Befindet sich das Spendergebäude in Templin (Vorlauf: 240 km bis zum Hafen Sassnitz) könnten ~ 32 % Kosten eingespart werden im Vergleich zu neu produzierten Betonelementen in Russland für die Errichtung des Pilotgebüdes.

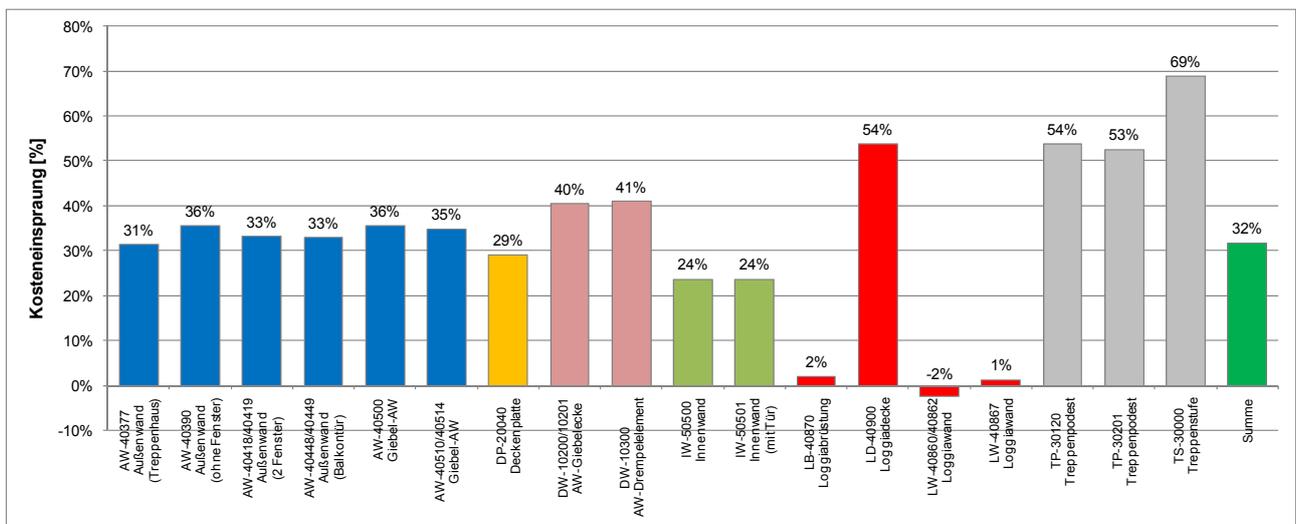


Abb. 25: Darstellung der ermittelten Kosteneinsparungen bei einem Rückbaustandort in Templin

Tab. 25: Ermittlung der voraussichtlichen Kosteneinsparungen bei einem Rückbaustandort in Berlin

Betonelement	Anzahl	Masse	Kosten Neu-	Kosten Neu-	Kosten der	Vorlauf-	Vorlauf-	Gesamt-	Gesamt-	Kosten-	zu	
			produktion	produktion								Bereitstellung
			$K_{BE, neu}$	K_{neu}	$K_{Ges, BE}$							
		[t]	[€]	[€]	[€]	[km]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[%]
AW-40377 Außenwand (Treppenhaus)	6	2,16	410 €	2.459 €	209 €	285	86 €	295 €	1.771 €	688 €	28%	
AW-40390 Außenwand (ohne Fenster)	9	4,78	983 €	8.843 €	473 €	285	191 €	664 €	5.973 €	2.869 €	32%	
AW-40418/40419 Außenwand (2 Fenster)	36	5,80	1.155 €	41.592 €	578 €	285	231 €	809 €	29.139 €	12.453 €	30%	
AW-40448/40449 Außenwand (Balkontür)	27	5,65	1.121 €	30.261 €	562 €	285	225 €	787 €	21.261 €	9.000 €	30%	
AW-40500 Giebel-AW	12	3,96	815 €	9.776 €	392 €	285	158 €	550 €	6.600 €	3.176 €	32%	
AW-40510/40514 Giebel-AW	12	3,97	815 €	9.776 €	398 €	285	158 €	556 €	6.677 €	3.099 €	32%	
DP-20040 Deckenplatte	297	3,42	694 €	206.037 €	377 €	285	136 €	513 €	152.497 €	53.540 €	26%	
DW-10200/10201 AW-Giebelecke	4	4,02	839 €	3.357 €	365 €	285	160 €	525 €	2.102 €	1.256 €	37%	
DW-10300 AW-Drempелеlement	24	4,26	889 €	21.329 €	382 €	285	170 €	552 €	13.247 €	8.082 €	38%	
IW-50500 Innenwand	39	5,45	993 €	38.728 €	575 €	285	217 €	792 €	30.906 €	7.822 €	20%	
IW-50501 Innenwand (mit Tür)	54	4,86	883 €	47.692 €	511 €	285	194 €	705 €	38.065 €	9.626 €	20%	
LB-40870 Loggiabrüstung	27	2,48	315 €	8.495 €	225 €	285	99 €	324 €	8.747 €	-252 €	-3%	
LD-40900 Loggiadecke	27	3,71	966 €	26.087 €	322 €	285	148 €	470 €	12.691 €	13.396 €	51%	
LW-40860/40862 Loggiawand	24	1,30	159 €	3.815 €	119 €	285	52 €	171 €	4.101 €	-286 €	-8%	
LW-40867 Loggiawand	15	1,59	198 €	2.969 €	142 €	285	63 €	205 €	3.082 €	-113 €	-4%	
TP-30120 Treppenhoch	18	1,03	269 €	4.847 €	90 €	285	41 €	131 €	2.360 €	2.488 €	51%	
TP-30201 Treppenhoch	9	4,88	1.257 €	11.311 €	432 €	285	195 €	627 €	5.640 €	5.670 €	50%	
TS-30000 Treppenstufe	18	1,50	574 €	10.331 €	129 €	285	60 €	189 €	3.399 €	6.932 €	67%	
Summe	658			487.703 €					348.258 €	139.445 €	29%	

Befindet sich das Spendergebäude in Berlin (Vorlauf: 285 km bis zum Hafen Sassnitz) könnten ~ 29 % Kosten eingespart werden im Vergleich zu neu produzierten Betonelementen in Russland für die Errichtung des Pilotgebäudes.

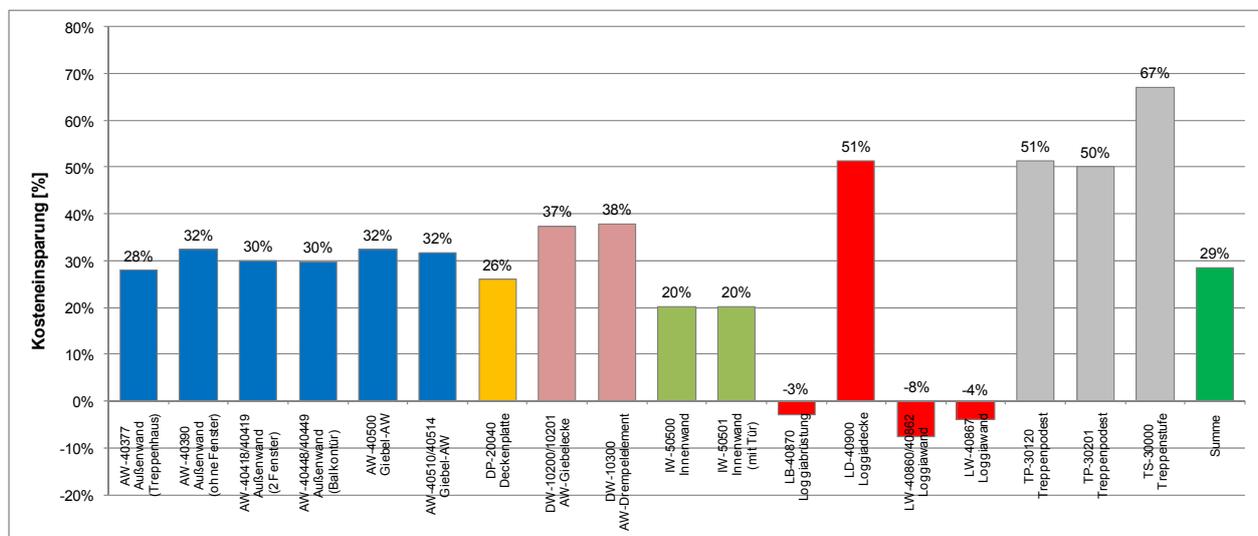


Abb. 26: Darstellung der ermittelten Kosteneinsparungen bei einem Rückbaustandort in Berlin

Tab. 26: Ermittlung der voraussichtlichen Kosteneinsparungen bei einem Rückbaustandort in Cottbus

Betonelement	Anzahl	Masse	Kosten Neu-	Kosten Neu-	Kosten der	Vorlauf-	Vorlauf-	Gesamt-	Gesamt-	Kosten-	zu	
			produktion	produktion								Bereitstellung
			$K_{BE, neu}$	K_{neu}	$K_{Ges, BE}$							
		[t]	[€]	[€]	[€]	[km]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[%]
AW-40377 Außenwand (Treppenhaus)	6	2,16	410 €	2.459 €	209 €	400	121 €	330 €	1.980 €	479 €	19%	
AW-40390 Außenwand (ohne Fenster)	9	4,78	983 €	8.843 €	473 €	400	268 €	741 €	6.666 €	2.177 €	25%	
AW-40418/40419 Außenwand (2 Fenster)	36	5,80	1.155 €	41.592 €	578 €	400	325 €	903 €	32.501 €	9.091 €	22%	
AW-40448/40449 Außenwand (Balkontür)	27	5,65	1.121 €	30.261 €	562 €	400	316 €	878 €	23.717 €	6.544 €	22%	
AW-40500 Giebel-AW	12	3,96	815 €	9.776 €	392 €	400	222 €	614 €	7.365 €	2.411 €	25%	
AW-40510/40514 Giebel-AW	12	3,97	815 €	9.776 €	398 €	400	222 €	620 €	7.444 €	2.332 €	24%	
DP-20040 Deckenplatte	297	3,42	694 €	206.037 €	377 €	400	192 €	569 €	168.850 €	37.187 €	18%	
DW-10200/10201 AW-Giebelecke	4	4,02	839 €	3.357 €	365 €	400	225 €	590 €	2.360 €	997 €	30%	
DW-10300 AW-Drempel	24	4,26	889 €	21.329 €	382 €	400	239 €	621 €	14.893 €	6.436 €	30%	
IW-50500 Innenwand	39	5,45	993 €	38.728 €	575 €	400	305 €	880 €	34.328 €	4.400 €	11%	
IW-50501 Innenwand (mit Tür)	54	4,86	883 €	47.692 €	511 €	400	272 €	783 €	42.291 €	5.401 €	11%	
LB-40870 Loggiabrüstung	27	2,48	315 €	8.495 €	225 €	400	139 €	364 €	9.825 €	-1.330 €	-16%	
LD-40900 Loggiadecke	27	3,71	966 €	26.087 €	322 €	400	208 €	530 €	14.304 €	11.783 €	45%	
LW-40860/40862 Loggiawand	24	1,30	159 €	3.815 €	119 €	400	73 €	192 €	4.603 €	-788 €	-21%	
LW-40867 Loggiawand	15	1,59	198 €	2.969 €	142 €	400	89 €	231 €	3.466 €	-497 €	-17%	
TP-30120 Treppenhof	18	1,03	269 €	4.847 €	90 €	400	58 €	148 €	2.658 €	2.189 €	45%	
TP-30201 Treppenhof	9	4,88	1.257 €	11.311 €	432 €	400	273 €	705 €	6.348 €	4.963 €	44%	
TS-30000 Treppenstufe	18	1,50	574 €	10.331 €	129 €	400	84 €	213 €	3.834 €	6.497 €	63%	
Summe	658			487.703 €					387.432 €	100.271 €	21%	

Befindet sich das Spendergebäude in Cottbus (Vorlauf: 400 km bis zum Hafen Sassnitz) könnten ~ 21 % Kosten eingespart werden im Vergleich zu neu produzierten Betonelementen in Russland für die Errichtung des Pilotgebäudes.

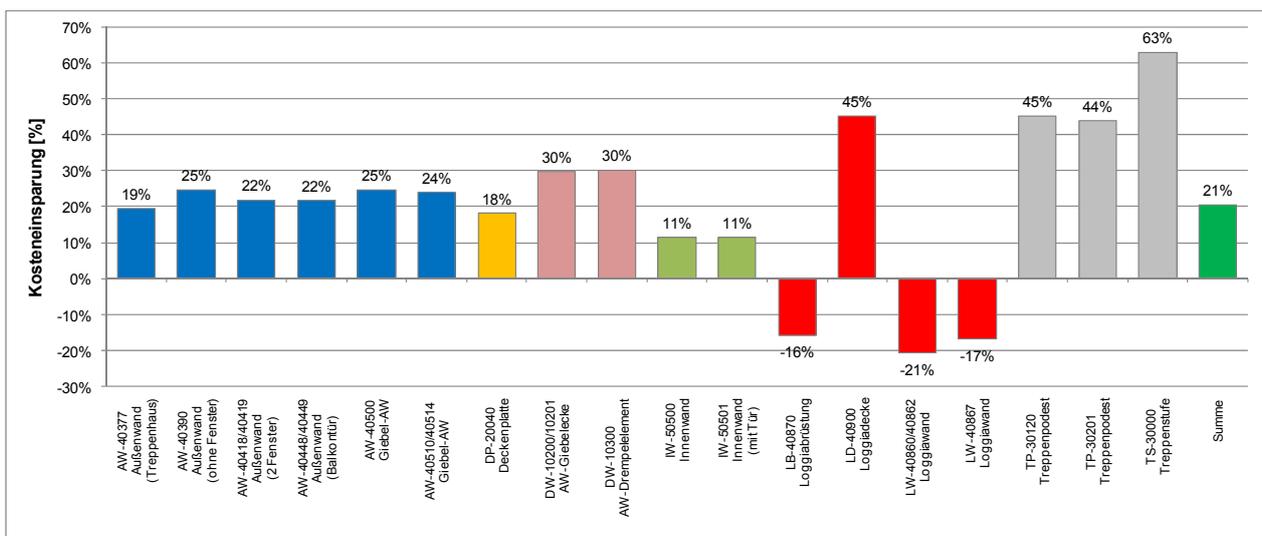


Abb. 27: Darstellung der ermittelten Kosteneinsparungen bei einem Rückbaustandort in Cottbus

Tab. 27: Ermittlung der voraussichtlichen Kosteneinsparungen bei einem Rückbaustandort in Chemnitz

Betonelement	Anzahl	Masse	Kosten Neu-	Kosten Neu-	Kosten der	Vorlauf-	Vorlauf-	Gesamt-	Gesamt-	Kosten-	zu	
			produktion	produktion								Bereitstellung
			(RU)	(RU)	(K _{ges, BE})	(km)	(0,14	Einzelbauteil	Bauteilsumme	(€)	(€)	Kosten-
		[t]	K _{BE, neu}	K _{neu}			€/t*km)	€]	€]	€]	€]	ersparnis
			[€]	[€]	[€]		[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[%]
AW-40377 Außenwand (Treppenhaus)	6	2,16	410 €	2.459 €	209 €	580	175 €	384 €	2.306 €	152 €	6%	
AW-40390 Außenwand (ohne Fenster)	9	4,78	983 €	8.843 €	473 €	580	388 €	861 €	7.750 €	1.092 €	12%	
AW-40418/40419 Außenwand (2 Fenster)	36	5,80	1.155 €	41.592 €	578 €	580	471 €	1.049 €	37.763 €	3.829 €	9%	
AW-40448/40449 Außenwand (Balkontür)	27	5,65	1.121 €	30.261 €	562 €	580	459 €	1.021 €	27.561 €	2.700 €	9%	
AW-40500 Giebel-AW	12	3,96	815 €	9.776 €	392 €	580	322 €	714 €	8.563 €	1.213 €	12%	
AW-40510/40514 Giebel-AW	12	3,97	815 €	9.776 €	398 €	580	322 €	720 €	8.644 €	1.131 €	12%	
DP-20040 Deckenplatte	297	3,42	694 €	206.037 €	377 €	580	278 €	655 €	194.447 €	11.590 €	6%	
DW-10200/10201 AW-Giebelecke	4	4,02	839 €	3.357 €	365 €	580	326 €	691 €	2.766 €	592 €	18%	
DW-10300 AW-Drempelement	24	4,26	889 €	21.329 €	382 €	580	346 €	728 €	17.470 €	3.859 €	18%	
IW-50500 Innenwand	39	5,45	993 €	38.728 €	575 €	580	443 €	1.018 €	39.684 €	-956 €	-2%	
IW-50501 Innenwand (mit Tür)	54	4,86	883 €	47.692 €	511 €	580	395 €	906 €	48.904 €	-1.212 €	-3%	
LB-40870 Loggiabrüstung	27	2,48	315 €	8.495 €	225 €	580	201 €	426 €	11.512 €	-3.018 €	-36%	
LD-40900 Loggiadecke	27	3,71	966 €	26.087 €	322 €	580	301 €	623 €	16.828 €	9.259 €	35%	
LW-40860/40862 Loggiawand	24	1,30	159 €	3.815 €	119 €	580	106 €	225 €	5.389 €	-1.575 €	-41%	
LW-40867 Loggiawand	15	1,59	198 €	2.969 €	142 €	580	129 €	271 €	4.067 €	-1.098 €	-37%	
TP-30120 Treppenpodest	18	1,03	269 €	4.847 €	90 €	580	84 €	174 €	3.125 €	1.722 €	36%	
TP-30201 Treppenpodest	9	4,88	1.257 €	11.311 €	432 €	580	396 €	828 €	7.454 €	3.856 €	34%	
TS-30000 Treppenstufe	18	1,50	574 €	10.331 €	129 €	580	122 €	251 €	4.514 €	5.816 €	56%	
Summe	658			487.703 €					448.748 €	38.955 €	8%	

Befindet sich das Spendergebäude in Chemnitz (Vorlauf: 580 km bis zum Hafen Sassnitz) könnten ~ 8 % Kosten eingespart werden im Vergleich zu neu produzierten Betonelementen in Russland für die Errichtung des Pilotgebäudes.

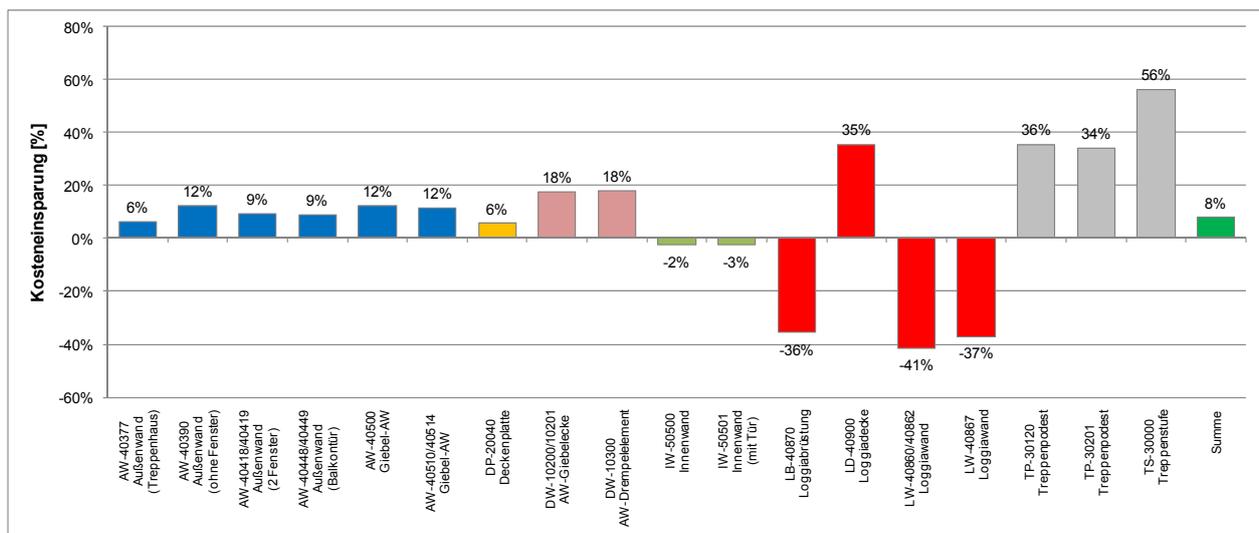


Abb. 28: Darstellung der ermittelten Kosteneinsparungen bei einem Rückbaustandort in Chemnitz

In Auswertung der zuvor berechneten Kostenvorteile für die gewählten Spendergebäudestandorte zeigt sich, dass z.B. Rostock einen optimalen Spenderstandort für gebrauchte Betonbauteile darstellen würde. Es wird ein Kostenvorteil in Höhe von ca. 40 % gegenüber der örtlichen Neuteilherstellung in Russland erwartet. Gleiches wird sich für die weiteren Oberzentren in Mecklenburg-Vorpommern (Neubrandenburg, Schwerin und vor allem Stralsund, Greifswald) einstellen.

Die Klein- und Mittelstädte des in Tab. 18 definierten regionalen Einzugsbereiches um den Fährhafen Sassnitz (< 250 km Vorlaufstrecke) ermöglichen die Erzielung von Kostenersparnissen von über 30 %. Dies wird am ausgewählten Standortbeispiel Templin deutlich, welches mit 240 km Vorlaufstrecke im peripheren Bereich dieses Einzugsgebietes liegt.

Selbst die Nutzung des ebenfalls sehr großen Rückbaupotenzials des Ostteils der Bundeshauptstadt Berlin zeigt einen zu erwartenden Kostenvorteil von knapp 30 %. Im weiteren überregionalen Einzugsbereich sinken die Kostenvorteile dann deutlich unter 20 % ab. Bei einer Vorlaufstrecke von 400 km liegt diese für einen potenziellen Rückbaustandort in Cottbus bei ca. 21 %. Für Spendergebäude in Großstädten des Freistaates Sachsen und des Landes Sachsen-Anhalts wie bspw. Leipzig (510 km), Halle (490 km) und Magdeburg (460 km) vermindern sich die Kostenvorteile sukzessiv.

Es empfiehlt sich, Rückbaustandorte im maximalen Einzugsbereich (> 500 km Vorlaufstrecke) wie z.B. Chemnitz (580 km) mit einer voraussichtlichen Kostenreduzierung von ca. 8 % gänzlich von der Akquise auszuschließen.

Insgesamt ergibt sich folgendes Bild:

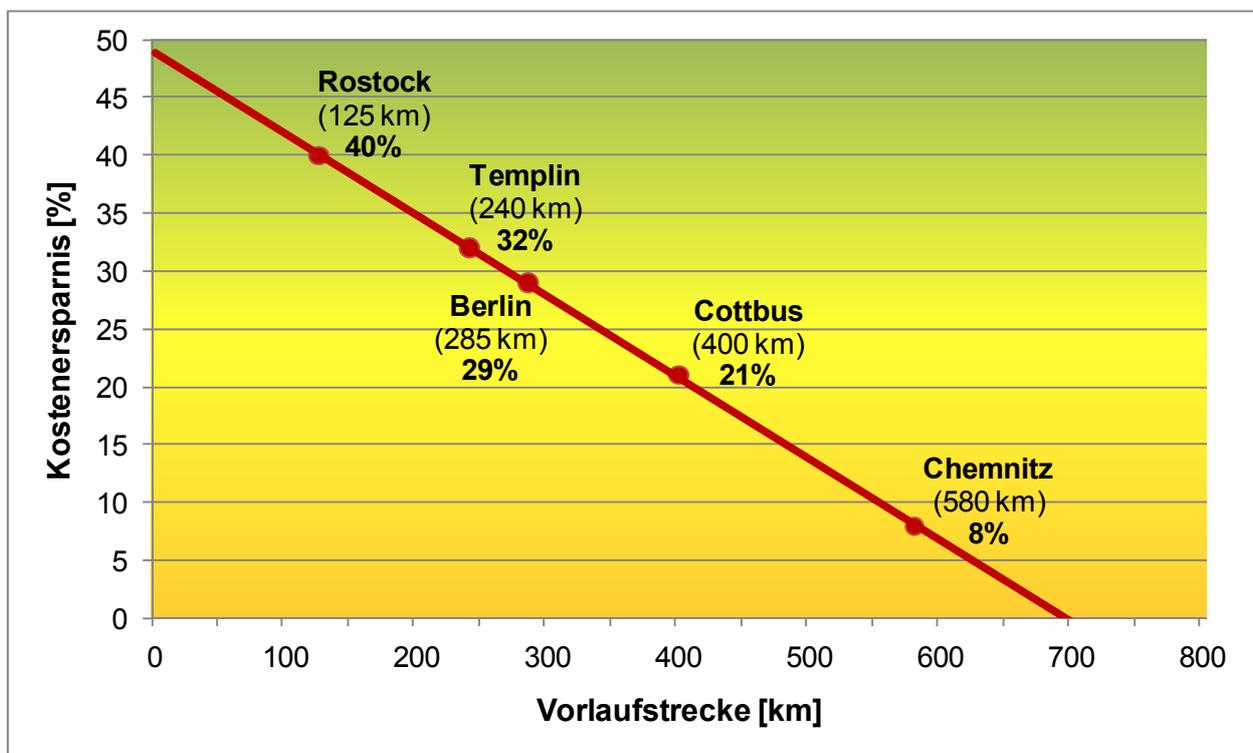


Abb. 29: Gegenüberstellung der ermittelten Kostenersparnisse für ausgewählte Rückbaustandorte

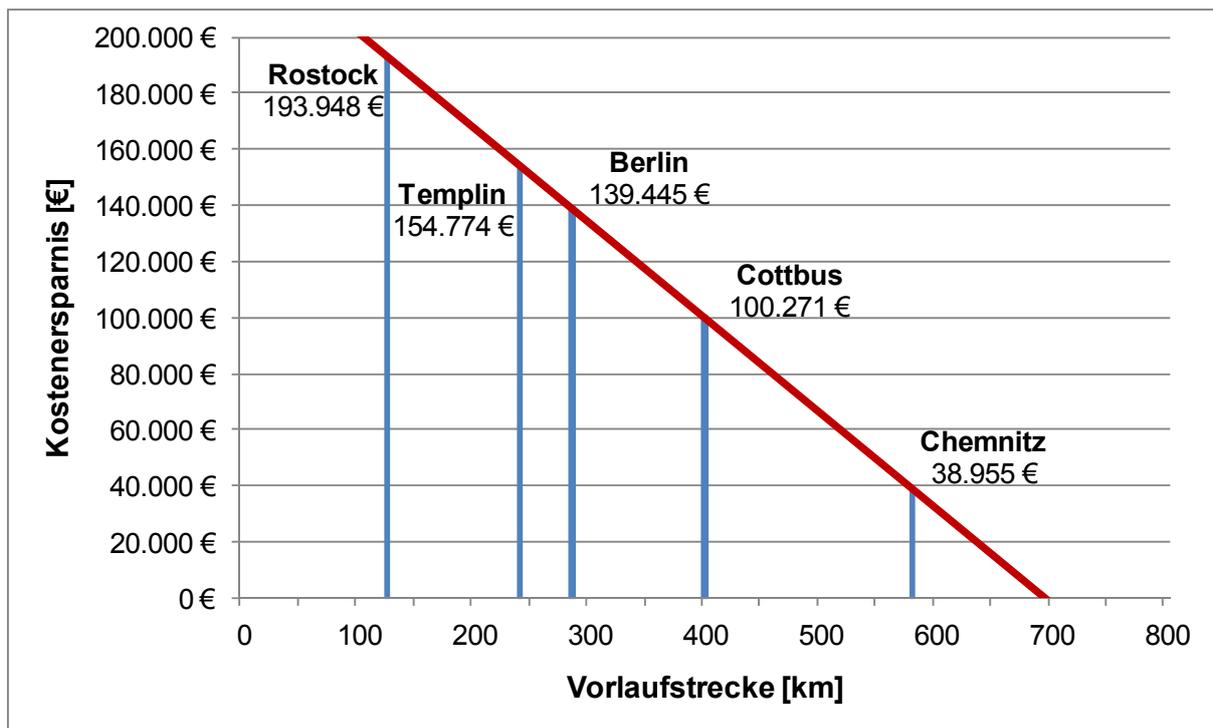


Abb. 30: Gegenüberstellung der ermittelten Kosteneinsparungen in EURO für ausgewählte Rückbaustandorte

Im Ergebnis dieser Betrachtung wird für die Akquise von Spendergebäuden empfohlen, sich ausschließlich auf Gebiete nördlich von Berlin und die Hauptstadt selbst zu konzentrieren. Der erzielbare Kostenvorteil wird sich zwischen 30 % und 40 % bewegen.

Um den Bedarf an Betonelementen für die Wiederverwendungsmaßnahme in Sankt Petersburg mengenmäßig zu decken, müssen die Bauteile aus mind. 3 Sektionen und 3 Normalgeschossen eines Gebäudes vom Typ WBS 70/11 gewonnen werden. Solche 11-geschossigen Wohnbauten sind nur in Großsiedlungen wie bspw. in Rostock, Neubrandenburg, Schwerin errichtet worden. 5- und 6-geschossige WBS 70-Gebäude weisen geringere Gebäudetiefen und somit weniger Bauteile je Sektion und Geschoss auf. Damit erhöht sich der rückzubauende Gebäudeumfang in niedriggeschossigen Plattenbauten.

Die bisherigen umfangreichen wissenschaftlichen Begleitungen von Rückbaumaßnahmen der Fachgruppe Bauliches Recycling zeigen, dass sich Rückbaumaßnahmen bei 5- und 6-geschossigen Wohnbauten meist auf 2 Normalgeschosse konzentrieren. Demzufolge ist davon auszugehen, dass mindestens zwei Spendergebäude benötigt werden, um die erforderlichen Elementanzahl für das Pilotprojekt zu erhalten. Die daraus resultierende Entwicklung der zu erwartenden Kosteneinsparungen ist im nachfolgenden Abschnitt aufgeführt.

5.8 Ermittlung zu erwartender Kosteneinsparungen durch Wiederverwendung anhand von Fallbeispielen mit zwei Spendergebäuden zur Bauteilgewinnung für das Pilotvorhaben

Werden zwei Spendergebäude zur Bauteilgewinnung erforderlich, so stellt sich auch hier die Frage, in welcher Höhe Kosten eingespart werden können.

Ausgegangen wird von dem Fall, dass der erste Rückbaustandort immer die kürzeste Vorlaufstrecke aufweist, um einen maximalen Kostenvorteil abzuschöpfen. I.d.R. umfassen Teilrückbaumaßnahmen – wie zuvor aufgeführt – den Rückbau von 2 Normalgeschossen über 3 Sektionen. Dabei fallen 450 BE an, d.h. ca. 2/3 der erforderlichen Betonelemente für das Pilotobjekt. Um 658 BE für das Pilotvorhaben zu erhalten, sind am zweiten Rückbaustandort noch die fehlenden 208 BE für die Wiederverwendung zu gewinnen. Der erforderliche Rückbau würde dann noch 3 Sektionen über 1 bis 2 Geschosse umfassen.

Die Berechnung des Kostenvorteils für die gewählten Fallbeispiele erfolgt in den Tabellen 28 – 31.

Folgende Fallbeispiele (Kombination zweier Rückbaustandorte⁴⁸) wurden gewählt:

- Rostock (125 km) + Templin (240 km),
- Neubrandenburg (140 km) + Berlin (285 km),
- Schwedt (225 km) + Frankfurt/Oder (325 km),
- Berlin (285 km) + Chemnitz (580 km).

⁴⁸ Selbstverständlich wäre es auch denkbar, aus einer Stadt zwei Spendergebäude heranzuziehen.

Tab. 28: Ermittlung voraussichtlicher Kosteneinsparungen am Fallbeispiel Spenderstandorte Rostock + Templin

Elemente		Preise für vergleichbare neue Betonelement in Russland (RU)			Kosten der Bereitstellung (K _{TU} , ohne Vorlauf)		1. Demontagestelle (Rostock) (WBS 70, 3 Segmente, 2 Geschosse)			2. Demontagestelle (Templin) (WBS 70, 3 Segmente, 1 - 2 Geschosse)			Kosteneinsparung						
Betonelement	Anzahl	Masse	K _{RU, BE} [€]	K _{RU} Bauteilsomme [€]	K _{RS, BE} Einzelbauteil [€]	demonitierte Elementanzahl	Vorlaufstrecke [km]	Vorlaufkosten [€]	Gesamtkosten Einzelbauteil [€]	Bauteilsomme [€]	demonitierte Elementanzahl	Vorlaufstrecke [km]	Vorlaufkosten [€]	Gesamtkosten Einzelbauteil [€]	Bauteilsomme [€]	Gesamtkosten [€]	Kosten-vorteil [€]	voraus. erzielbare Kosten-einsparung [%]	
Bemerkungen	Einheit	[t]																	
AW-40377 Außenwand (Treppenhaus)	6	2,16	410 €	2.459 €	209 €	4	125	38 €	247 €	987 €	2	240	73 €	282 €	563 €	1.550 €	908 €	37%	
AW-40390 Außenwand (ohne Fenster)	9	4,78	983 €	8.843 €	473 €	6	125	84 €	557 €	3.340 €	3	240	161 €	634 €	1.901 €	5.241 €	3.602 €	41%	
AW-40418/40419 Außenwand (2 Fenster)	36	5,80	1.155 €	41.582 €	578 €	24	125	102 €	680 €	16.308 €	12	240	195 €	773 €	9.275 €	25.583 €	16.009 €	38%	
AW-40448/40449 Außenwand (Balkontür)	27	5,65	1.121 €	30.261 €	562 €	18	125	99 €	661 €	11.896 €	9	240	190 €	752 €	6.767 €	18.662 €	11.598 €	38%	
AW-40500 Giebel-AW	12	3,96	815 €	9.776 €	392 €	8	125	69 €	461 €	3.680 €	4	240	133 €	525 €	2.100 €	5.791 €	3.985 €	41%	
AW-40510/40514 Giebel-AW	12	3,97	815 €	9.776 €	398 €	8	125	69 €	467 €	3.740 €	4	240	133 €	531 €	2.126 €	5.865 €	3.910 €	40%	
DP-20040 Deckenplatte	297	3,42	694 €	206.037 €	377 €	200	125	60 €	437 €	87.370 €	97	240	115 €	492 €	47.715 €	135.085 €	70.952 €	34%	
DW-10200/10201 AW-Giebelecke	4	4,02	839 €	3.357 €	365 €	4	125	70 €	435 €	1.741 €	0	240	135 €	500 €	0 €	1.741 €	1.616 €	48%	
DW-10300 AW-Giebelecke	24	4,26	889 €	21.329 €	382 €	24	125	75 €	457 €	10.957 €	0	240	143 €	525 €	0 €	10.957 €	10.372 €	49%	
Drempel-element	39	5,45	993 €	38.728 €	575 €	26	125	95 €	670 €	17.430 €	13	240	183 €	758 €	9.856 €	27.285 €	11.443 €	30%	
IW-50500 Innenwand	54	4,86	883 €	47.692 €	511 €	36	125	85 €	596 €	21.458 €	18	240	163 €	674 €	12.137 €	33.595 €	14.097 €	30%	
IW-50501 (mit Tür)	27	2,48	315 €	8.495 €	225 €	18	125	43 €	268 €	4.831 €	9	240	83 €	308 €	2.775 €	7.606 €	888 €	10%	
LB-40870 Längsbalken	27	3,71	966 €	26.087 €	322 €	18	125	65 €	387 €	6.965 €	9	240	125 €	447 €	4.020 €	10.985 €	15.102 €	58%	
LD-40900 Längsdecke	24	1,30	159 €	3.815 €	119 €	16	125	23 €	142 €	2.268 €	8	240	44 €	163 €	1.301 €	3.569 €	245 €	6%	
LW-40860/40862 Längswand	15	1,59	198 €	2.969 €	142 €	10	125	28 €	170 €	1.688 €	5	240	53 €	195 €	977 €	2.675 €	294 €	10%	
LW-40867 Längswand	18	1,03	269 €	4.847 €	90 €	12	125	18 €	108 €	1.296 €	6	240	35 €	125 €	748 €	2.044 €	2.804 €	58%	
TP-30120 Treppenpodest	9	4,88	1.257 €	11.311 €	432 €	6	125	85 €	517 €	3.104 €	3	240	164 €	596 €	1.788 €	4.892 €	6.418 €	57%	
TS-30000 Treppenstufe	18	1,50	574 €	10.331 €	129 €	12	125	26 €	155 €	1.863 €	6	240	50 €	179 €	1.076 €	2.939 €	7.391 €	72%	
Summe	658			487.703 €		450				200.943 €	208				105.125 €	306.068 €	181.635 €	37%	

Tab. 30: Ermittlung voraussichtlicher Kosteneinsparungen am Fallbeispiel Spenderstandorte Schwedt + Frankfurt/Oder

Elemente		Preise für vergleichbare neue Betonelement in Russland (RU)			Kosten der Bereit- stellung (K _{RU} ohne Vorlauf)		1. Demontagestelle (Schwedt) (WBS 70, 3 Segmente, 2 Geschosse)				2. Demontagestelle (Frankfurt/Oder) (WBS 70, 3 Segmente, 1 - 2 Geschosse)				Kosteneinsparung			
Betonelement	Anzahl	Masse	K _{neu, BE}	K _{neu}	K _{neu, BE}	K _{neu, BE}	demontierte Elemente- anzahl	Vorlauf- strecke	Vorlauf- kosten	Gesamtkosten	demontierte Elemente- anzahl	Vorlauf- strecke	Vorlauf- kosten	Gesamtkosten	Gesamt- kosten Wieder- verwendung	Kosten- vorteil	Voraus- erzielbare Kosten- einsparung	
Bemerkungen	Einheit	[t]	Einzelbauteil	Bauteilsomme	Einzelbauteil	Einzelbauteil		[km]	[€]	Einzelbauteil	Bauteilsomme	[km]	[€]	Einzelbauteil	Bauteilsomme	[€]	[%]	
AVV-40377 Außenwand	6	2,16	410 €	2.459 €	209 €	209 €	4	225	68 €	277 €	1.108 €	325	98 €	307 €	615 €	1.723 €	736 €	30%
AVV-40390 Außenwand (ohne Fenster)	9	4,78	983 €	8.843 €	473 €	473 €	6	225	151 €	624 €	3.741 €	325	217 €	690 €	2.071 €	5.813 €	3.030 €	34%
AVV-40418/40419 Außenwand (2 Fenster)	36	5,80	1.155 €	41.592 €	578 €	578 €	24	225	183 €	761 €	18.257 €	325	264 €	842 €	10.103 €	28.360 €	13.232 €	32%
AVV-40448/40449 Außenwand (Balkontür)	27	5,65	1.121 €	30.261 €	562 €	562 €	18	225	178 €	740 €	13.320 €	325	257 €	819 €	7.372 €	20.691 €	9.569 €	32%
AVV-40500 Giebel-AW	12	3,96	815 €	9.776 €	392 €	392 €	8	225	125 €	517 €	4.134 €	325	180 €	572 €	2.289 €	6.423 €	3.353 €	34%
AVV-40510/40514 Giebel-AW	12	3,97	815 €	9.776 €	398 €	398 €	8	225	125 €	523 €	4.184 €	325	181 €	579 €	2.315 €	6.499 €	3.277 €	34%
DP-20040 Deckenplatte	297	3,42	694 €	206.037 €	377 €	377 €	200	225	108 €	485 €	96.946 €	325	156 €	533 €	51.663 €	148.609 €	57.428 €	28%
DW-10200/10201 AVV-Giebelecke	4	4,02	839 €	3.357 €	365 €	365 €	4	225	127 €	492 €	1.967 €	325	183 €	548 €	0 €	1.967 €	1.391 €	41%
DW-10300 AVV-Drempelment	24	4,26	889 €	21.329 €	382 €	382 €	24	225	134 €	516 €	12.389 €	325	194 €	576 €	0 €	12.389 €	8.941 €	42%
IW-50500 Innenwand	39	5,45	993 €	38.728 €	575 €	575 €	26	225	172 €	747 €	19.414 €	325	248 €	823 €	10.699 €	30.112 €	8.616 €	22%
IW-50501 Innenwand (mit Tür)	54	4,86	883 €	47.692 €	511 €	511 €	36	225	153 €	664 €	23.907 €	325	221 €	732 €	13.178 €	37.086 €	10.606 €	22%
LB-40870 Loggiaabüstung	27	2,48	315 €	8.495 €	225 €	225 €	18	225	78 €	303 €	5.456 €	325	113 €	338 €	3.041 €	8.497 €	-2 €	0%
LD-40900 Loggiaecke	27	3,71	966 €	26.087 €	322 €	322 €	18	225	117 €	439 €	7.900 €	325	169 €	491 €	4.417 €	12.317 €	13.770 €	53%
LW-40860/40862 Loggiawand	24	1,30	159 €	3.815 €	119 €	119 €	16	225	41 €	160 €	2.559 €	325	59 €	178 €	1.425 €	3.984 €	-170 €	-4%
LW-40867 Loggiawand	15	1,59	198 €	2.969 €	142 €	142 €	10	225	50 €	192 €	1.921 €	325	72 €	214 €	1.072 €	2.993 €	-24 €	-1%
TP-30120 Treppenpodest	18	1,03	269 €	4.847 €	90 €	90 €	12	225	32 €	122 €	1.469 €	325	47 €	137 €	821 €	2.291 €	2.557 €	53%
TP-30201 Treppenpodest	9	4,88	1.257 €	11.311 €	432 €	432 €	6	225	154 €	586 €	3.514 €	325	222 €	654 €	1.962 €	5.476 €	5.834 €	52%
TS-30000 Treppenstufe	18	1,50	574 €	10.331 €	129 €	129 €	12	225	47 €	176 €	2.115 €	325	68 €	197 €	1.184 €	3.299 €	7.032 €	68%
Summe	658			487.703 €							224.301 €				114.225 €	338.526 €	149.177 €	31%

Die Ergebnisse der voraussichtlichen Einsparungen an Kosten für die betrachteten Fallbeispiele sind in nachfolgender Tab. 32 zusammengefasst und in Abb. 31 grafisch dargestellt.

Tab. 32: Zusammenfassung der voraussichtlich erzielbaren Kosteneinsparungen für ausgewählte Rückbau-Fallbeispiele

Kosteneinsparung und Betrag für ausgewählte Fallbeispiele								
Fallbeispiel	Rostock + Templin		Neubrandenburg + Berlin		Schwedt + Frankfurt/Oder		Berlin + Chemnitz	
	vorauss. Kosteneinsp.	Betrag	vorauss. Kosteneinsp.	Betrag	vorauss. Kosteneinsp.	Betrag	vorauss. Kosteneinsp.	Betrag
Außenwandbauteile	39 %	40.013 €	37 %	38.220 €	33 %	33.197 €	24 %	24.229 €
Deckenplatten	34 %	70.952 €	33 %	67.426 €	28 %	57.428 €	19 %	39.840 €
Innenwandbauteile	30 %	25.539 €	28 %	23.877 €	22 %	19.222 €	13 %	10.910 €
Drempelbauteile	48 %	11.988 €	47 %	11.739 €	42 %	10.331 €	38 %	9.337 €
Loggiaelemente	21 %	16.529 €	19 %	15.752 €	12 %	13.574 €	0 %	9.686 €
Treppenelemente	62 %	16.614 €	61 %	16.300 €	57 %	15.425 €	51 %	13.858 €
Summe	37 %	181.635 €	36 %	173.314 €	31 %	149.177 €	22 %	107.860 €

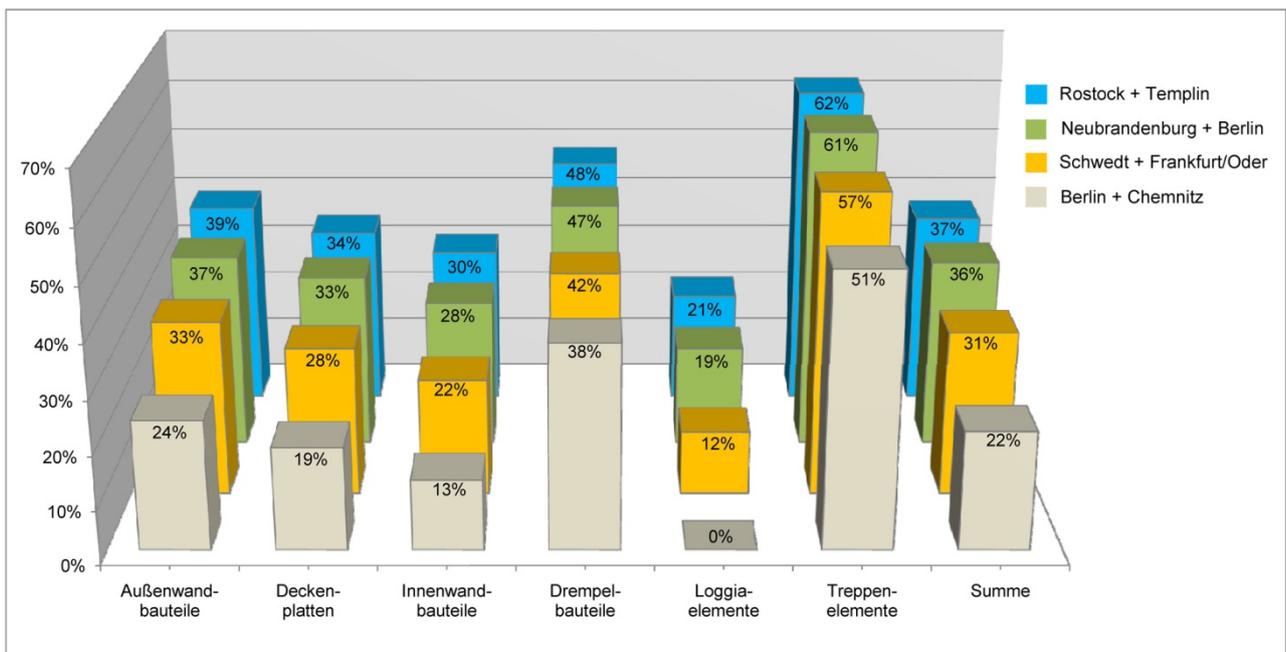


Abb. 31: Darstellung der voraussichtlich erzielbaren Kosteneinsparungen durch die Bereitstellung gebrauchter Betonelemente gegenüber neuen Betonelementen für unterschiedliche Spenderstandortkombinationen

Selbst im ungünstigsten im ungünstigsten Fall, dass ~ 1/3 der benötigten Betonelemente aus Chemnitz antransportiert werden müssen (2/3 der BE werden in Berlin gewonnen), kann immer noch mit einem Kostenvorteil von 22 % gerechnet werden. Die Kostenersparnis beträgt dann immer noch ~ 108.000 € gegenüber vergleichbaren neuen Betonelementen in Russland (s. Tab. 31).

5.9 Fazit der wirtschaftlichen Betrachtungen

Die Gegenüberstellung der Preise für neu produzierte Betonelemente im Raum Sankt Petersburg mit den angelieferten, schon einmal in Nutzung gewesenen, Betonelementen aus Ostdeutschland zeigt, dass in Abhängigkeit des Standortes des Spendergebäudes (ggf. sind mehrere Spendergebäude erforderlich; richtet sich nach dem Bauvorhaben) in einem nicht unerheblichen Maße Kosten eingespart werden können.

Wird das einzelne Betonelement **ohne Berücksichtigung des Vorlaufs** (Transportentfernung von der Demontagebaustelle bis zum Hafen Sassnitz) betrachtet, so variieren die Einsparungen von 25 % bei der Wiederverwendung einer Loggiawand bis 78 % bei der Wiederverwendung eines Treppenstufenelementes (s. Tab. 10).

Um aufzeigen zu können, welche Kostenvorteile sich in Abhängigkeit der Entfernungen vom Spendergebäude bis zum Hafen Sassnitz (Vorlauf) für den Elementetransport ergeben, wurde der Break-Even-Point für die einzelnen Bauelemente und Bauteilgruppen bestimmt. Zugrunde gelegt wurden die Vorbereitungs-, Transportkosten (außer Vorlauf: Spendergebäude bis zum Hafen Sassnitz) und Wagnis & Gewinn im Bezug zu den Neuteilpreisen in Russland. Die Kosten für den Rücktransport der Transportgestelle (Schiff) wurden nicht berücksichtigt.

Tab. 21 und Abb. 22 zeigen auf, in welcher Höhe Kosten pro m² Bauteilfläche in Abhängigkeit der Transportentfernung vom Spendergebäude bis zum Hafen Sassnitz eingespart werden können.

Ermittelt wurde, dass Treppenelemente den höchsten Kostenvorteil aufweisen. Bei einer Vorlaufstrecke z.B. von 75 km beträgt die Kosteneinsparung 94 €/m², bei 250 km 87 €/m² und bei 725 km sind es noch 68 €/m² Bauteilfläche. Die Kosteneinsparungen zur Bereitstellung der hauptsächlich verbauten Betonbauteile Decken und Innenwände bewegen sich in adäquaten Größenordnungen. Bspw. ergeben sich für Decken bei einem Vorlauf von 250 km Kostenersparnisse von 26 €/m² und für Innenwände 25 €/m² Bauteilfläche. Bei Außenwänden betragen die Kostenersparnisse bei 250 km Vorlaufstrecke durchschnittlich 43 €/m² Bauteilfläche. Die geringsten Einsparungen erzielen Loggiaelemente mit 23 €/m² Bauteilfläche bei 250 km zurückgelegtem Vorlauf.

Unter Zugrundelegung des insgesamt zu verbauenden Bauelementesortiments im Pilotprojekt (Bauelementemix) zeigt es sich, dass bei einer Kosteneinsparung von bspw. 30 % die Vorlaufstrecke bis zum Hafen max. 265 km betragen kann. Bei einer Kosteneinsparung von 40 % vermindert sich im Vergleich dazu der Vorlauf um 143 km auf max. 122 km. Eine Kosteneinsparung von 50 % für die Erstellung des Pilotprojektes ist voraussichtlich nicht erzielbar.

Realistisch scheint, dass durch die Bereitstellung von gebrauchten Betonelementen für das Pilotvorhaben Kosten zwischen 30 % und 40 % im Vergleich zur Neuproduktion eingespart werden können. Der / die Standort(e) der / des Spendergebäude(s) bewegt sich dabei im Einzugsbereich zwischen ca. 120 km und 265 km vom Hafen Sassnitz entfernt.

Werden zwei Spendergebäudestandorte erforderlich, um das benötigte Betonelementesortiment für das Pilotprojekt bereitzustellen, so konnte auch hierfür beispielhaft belegt werden, dass Kostenersparnisse im Bereich zwischen 30 % und 40 % erreichbar sind. Beispielsweise können bei der „Spendergebäudekombination“ Rostock + Templin 37 % der Kosten im Vergleich zu neuen Betonelementen in Russland eingespart werden. Das Hauptelementesortiment, bestehend aus Deckenplatten, Innen- und Außenwandbauteile, deckt dabei ca. drei Viertel des Gesamtkostenvorteils ab.

Der Anteil der verschiedenen Baugruppen am Gesamtkostenvorteil für das Fallbeispiel „Spendergebäudestandorte Rostock + Templin“ setzt sich wie folgt zusammen:

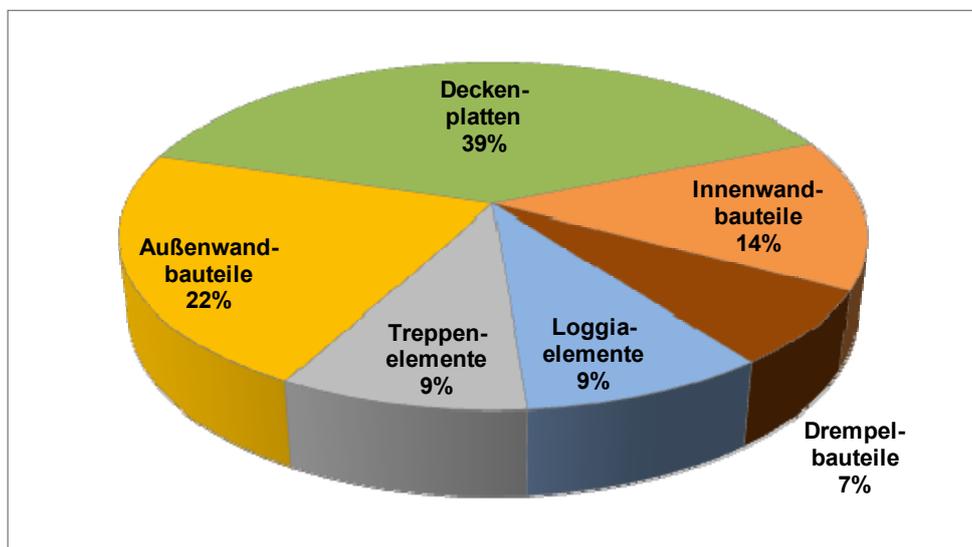


Abb. 32: Anteile der Bauteilgruppen am Gesamtkostenvorteil am Fallbeispiel Rostock + Templin im Vergleich zu neuen Betonbauteilen im Raum Sankt Petersburg

Der Einsatz von gebrauchten Loggiabauteilen ist lediglich für Loggiadeckenplatten interessant. Loggiawände und –brüstungen erreichen nur bei relativ kurzen Vorlaufstrecken einen geringen Kostenvorteil.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass die Wiederverwendung von gebrauchten Betonbauteilen – zurück gewonnen im Norden Ostdeutschlands – in Sankt Petersburg wirtschaftlich vertretbar ist und zu einer Senkung der Rohbaukosten beiträgt.

6 Ökologische Relevanz

An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass für die gebrauchten Betonbauteile bereits Energie zur Herstellung aufgewandt und Emissionen freigesetzt wurden. Daher ist grundsätzlich eine lange Lebensdauer von Bauelementen anzustreben, um die Energie- und Emissionsmengen für eine vergleichbare Menge neu zu produzierender Baumaterialien bzw. –elemente einsparen zu können. Mittels Wiederverwendungen, dem Erhalt der Betonelemente in Gänze, ist dies beispielsweise möglich. In welchen Größenordnungen Energie und klimarelevante Emissionen durch Wiederverwendungen eingedämmt werden können, sollen nachstehende Berechnungen verdeutlichen.

6.1 Energieaufwand für vergleichbare Betonneuteilproduktionen

Der Nachhaltigkeitsindikator KEA (Kumulierter Energieaufwand) ist eine Möglichkeit zur ökologischen Bewertung, welcher die Summe alle primärenergetischen Aufwendungen eines Produktes oder einer Dienstleistung von der Herstellung (KEA_H), über die Nutzung (KEA_N), bis hin zur Beseitigung/Entsorgung (KEA_E) umfasst.

Als Bezugsquelle wird dabei auf Ergebnisse der Ganzheitlichen Bilanzierung von Baustoffen (GaBIE)⁴⁹ der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. zurückgegriffen. Darin heißt es: „[...] KEA_H wird die Summe der primärenergetisch bewerteten Energieaufwendungen genannt, die sich bei der Herstellung selbst sowie bei der Gewinnung, Verarbeitung, Herstellung und Entsorgung der Fertigungs-, Hilfs- und Betriebsstoffe und Betriebsmittel einschließlich der Transportaufwendungen [...] ergeben.“

Im Fokus der nachfolgenden Betrachtung soll der Kumulierte Energieaufwand für die Herstellung (KEA_H) neuer bewehrter Betonfertigteile (ab Werk) der im Ansatz zugrundegelegten 658 Betonbauteile mit einer Gesamtmasse von ca. 2.433 t Beton dargestellt werden.

Der Studie „GaBIE“ kann man für ein bewehrtes Betonfertigteil (ab Werk) einen KEA_H -Wert von 2.318 MJ/t⁵⁰ entnehmen. Daraus ergibt sich ein Energieaufwand für die Neuteilproduktion der angesetzten Menge von 658 Betonbauteilen von etwa 5.640 GJ (s. Tab. 33).

⁴⁹ Angaben zu KEA [MJ] entnommen aus: GaBIE – Ergebnisse zur Ganzheitlichen Bilanzierung von Baustoffen, <http://www.ffe.de/images/stories/Berichte/Gabie/baustoff.htm>.

⁵⁰ 1 MJ = 0,278 kWh bzw. 1 kWh = 3,6 MJ; 2.318 MJ/t : 3,6 MJ = 643,89 kWh/t ≈ 644 kWh/t.

Tab. 33: Energieaufwand der Neuteilproduktion von neuen bewehrten Betonfertigteilen (ab Werk)

Element / Ausführung	Abmaße [mm]	Masse pro Element [t]	Anz.	Masse aller Elemente [t]	KEA _H [MJ/t] (GaBIE)	KEA [MJ] gesamt
Spalte	1	2	3	4	5	6
DW-10200 / 10201	6.175 x 1.515 x 260	4,02	4	16,08	2.318	37.273,44
DW-10300	5.980 x 1.150 x 260	4,26	24	102,24	2.318	236.992,32
DP-20040	5.980 x 1.785 x 140	3,42	297	1.015,74	2.318	2.354.485,32
TS-30000	2.840 x 1.080 x 190	1,50	18	27,00	2.318	62.586,00
TP-30120	2.220 x 1.100 x 190	1,03	18	18,54	2.318	42.975,72
TP-30201	5.980 x 2.080 x 190	4,88	9	43,92	2.318	101.806,56
AW-40377	2.380 x 2.860 x 260	2,16	6	12,96	2.318	30.041,28
AW-40418 / 40419	5.980 x 2.860 x 260	5,80	36	208,80	2.318	483.998,40
AW-40448 / 40449	5.980 x 2.860 x 260	5,65	27	152,55	2.318	353.610,90
AW-40390	3.580 x 2.860 x 260	4,78	9	43,02	2.318	99.720,36
AW-40500	2.980 x 2.860 x 260	3,96	12	47,52	2.318	110.151,36
AW-40510 / 40514	3.170 x 2.860 x 260	3,97	12	47,64	2.318	110.429,52
LW-40860 / 40862	1.550 x 2.780 x 150	1,30	24	31,20	2.318	72.321,60
LW-40867	5.980 x 1.280 x 150	1,59	15	23,85	2.318	55.284,30
LB-40870	5.980 x 1.280 x 150	2,48	27	66,96	2.318	155.213,28
LD-40900	5.980 x 1.300 x 230	3,71	27	100,17	2.318	232.194,06
IW-50500	5.810 x 2.630 x 150	5,45	39	212,55	2.318	492.690,90
IW-50501	5.810 x 2.630 x 150	4,86	54	262,44	2.318	608.335,92
			658	2.433,18		5.640.111,24
Betonfertigteile (bewehrt) ab Werk ΣKEA_H						~ 5.640.000 MJ
						~ 1.566.667 kWh

Vergleichsweise umfasst dies bspw. eine Energiemenge, die rd. 400 3-Personen-Haushalte pro Jahr verbrauchen.⁵¹ Anders ausgedrückt, müssten für die Erzeugung von 5.640 GJ thermischer Energie bei Heizwerten von 8,1 kWh/kg Steinkohle, 2,4 kWh/kg Rohbraunkohle bzw. 10 kWh/l Heizöl⁵² ca. 193 t Steinkohle (1.566.667 kWh : 8,1 kWh/kg) oder 653 t Braunkohle (1.566.667 kWh : 2,4 kWh/kg) oder ~156.670 l Heizöl (~ 985 Barrel) eingesetzt werden.

⁵¹ 1 kWh = 3,6 MJ; Durchschnittlicher Stromverbrauch 3-Personen-Haushalt: 3.900 kWh/a bzw. 14.040 MJ/a; 1.566.667 kWh : 3.900 kWh/a ≈ 402 HH/a; <http://www.stromtipps.net/stromverbrauch/sparpotentiale>.

⁵² Heizwerte verschiedener Brennstoffe: <http://www.bau-web.de/informationen/energie/energietraeger.htm>; aufgerufen am 16.02.2011.

Durch eine umfangreiche Wiederverwendung von Betonbauteilen, wie in diesem Pilotprojekt veranschlagt, kann demzufolge ein erheblicher Energieverbrauch für die Neuherstellung eingespart werden. Dieser ermittelte Energieaufwand wird im folgenden Pkt. 6.2 den Energieaufwänden für den Bauteiltransport vom Rückbaustandort in Ostdeutschland (Spendergebäude) bis nach Nevskaja Dubrovka, nahe Sankt Petersburg, inkl. der erforderlichen Bauteilumschläge gegenübergestellt.

6.2 Energieaufwand für den Transport der Betonelemente

6.2.1 Vorbemerkungen

Anstelle von Abbrüchen werden leerstehende, industriell errichtete Wohnungen demontiert. Dabei werden sich die Maßnahmen auf die Demontage kompletter Etagen sowie einzelner Sektionen konzentrieren. Auch die komplette Herausnahme ganzer Aufgänge zwecks Auflockerung der in vielen Fällen monoton wirkenden, langweiligen Bebauungsstrukturen hatte in der Vergangenheit positive Resonanz hervorgerufen und wird mit Sicherheit standortabhängig weiter in Betracht gezogen. Aktuelle Rückbaumaßnahmen belegen dies.

Die Anzahl anfallender resp. zurück gewonnener Betonelemente ist – wie o.a. – abhängig von der Ausführung und der Geschosshöhe des Gebäudetyps und vom Bauteilaufkommen in Abhängigkeit der gewählten Bestandsveränderung bzw. Rückbaustrategie. Ideal ist, die gewünschten / erforderlichen Betonbauteile auf einer Demontagebaustelle an einem Standort (einem Vorhaben) für die Wiederverwendung zurück zu gewinnen; d.h., aus einem oder auch mehreren Gebäuden in einem Plattenbaukarree oder -quartier.

Bei der für das Pilotprojekt anvisierten großen Menge an Betonelementen wird voraussichtlich der Fall eintreten, dass man auf zwei oder mehrere Rückbaustellen als Spenderorte zurückgreifen muss. Da Rückbaumaßnahmen gleichartiger Gebäudeserien im Jahresverlauf i.d.R. selten parallel realisiert werden, ist mit besonderem Engagement die Akquise zu betreiben. Gleiches trifft für die Vorbereitung der logistischen Prozesse zu.

6.2.2 Ermittlung Energieaufwand

Im Hinblick auf den wahrscheinlich eintretenden Fall, dass 2 Rückbaustandorte zu berücksichtigen sind, wurde anhand eines gewählten Fallbeispiels der Energiebedarf für den Transportprozess (E_T) aus dem einzusetzenden Transportmittel, der zurückgelegten Wegstrecke sowie aus der zu bewegendem Tonnage der Betonbauteile ermittelt. Der Energiebedarf, der für das Umschlagen erforderlich wird, fließt in die nachfolgende Berechnung mit ein (s. Pkt. 6.3).

Folgende Randbedingungen werden für den Transport beispielhaft zugrunde gelegt (Vorlauf – Seetransport – Nachlauf):

- Entfernung Rückbaustelle 1 bis Hafen: Neubrandenburg – Fährhafen Sassnitz, 140 km (LKW-Transport),
- Entfernung Rückbaustelle 2 bis Hafen: Berlin – Fährhafen Sassnitz: 285 km (LKW-Transport),
- Wegstrecke im Hafengelände Sassnitz: 1 km (RoRo-Zugmaschine und -Trailer),
- Entfernung Fährhafen Sassnitz – Hafen Sankt Petersburg: 1.320 km (Transport per Schiff / RoRo-Fähre),
- Wegstrecke im Hafengelände Sankt Petersburg: 1 km (RoRo-Zugmaschine und -Trailer),
- Entfernung Hafen Sankt Petersburg – (Re)Montagebaustelle Nevskaja Dubrovka: 70 km (LKW-Transport).

Als weitere Randbedingung gilt, dass die Transportmittel optimal auszulasten (Ladegewicht) sind.

Als Basis für die Berechnung des Kumulierten Energieaufwandes (KEA) der favorisierten Transportkombination dient PROBAS⁵³; dargestellt in Tab. 34.

Neben dem Vor- und Nachlauf per LKW und der Nutzung des Seefrachters sind für den Transport der Betonelemente im Gelände des Hafens Sassnitz bzw. Sankt Petersburg zusätzliche Energieaufwände notwendig, die berücksichtigt werden. Da es sich bei der RoRo-Zugmaschine inkl. Trailer sinngemäß um einen LKW-Lastzug bzw. –Sattelzug handelt, wird der erforderliche Energieaufwand dem Transportmittel LKW (Energieträger Diesel) gleichgesetzt.

Tab. 34: Energieaufwände der verschiedenen Transportmittel

Transportmittel	Energieträger	Kumulierter Energieaufwand KEA _{nicht erneuerbar} [MJ/t*km]
LKW (Vor- und Nachlauf)	Diesel	1,25
RoRo-Zugmaschine	Diesel	1,25
Überseefrachter	Schweröl	0,114

Der Berechnung wird das insgesamt ausgewählte Betonelementesortiment von 658 Bauteilen (Σ 2.433 t) zugrunde gelegt.

⁵³ <http://www.probas.umweltbundesamt.de>, Werte KEA-nichtererneuerbar für LKW (LKW-D-m. Anh.-AO-gross-2010) und Schiff (Schiff-Güter-See / Massengutfrachter-2000); aufgerufen am 15.12.2010.

Die notwendigen Energieaufwände für den Transport der Betonbauteile von den zwei angenommenen Rückbaubaustellen in Neubrandenburg und Berlin nach Nevskaja Dubrovka sind in Tab. 35, Abb. 33 und 34 aufgeführt.

Von folgendem Ansatz wird ausgegangen: An der Demontagebaustelle 1 in Neubrandenburg werden ca. 2/3 der benötigten Elementanzahl zurück gewonnen und über 140 km im Vorlauf nach Sassnitz transportiert (Masse der Elemente: 1.668 t). Die übrigen Elemente (Masse der Elemente: 765 t) werden in Berlin bereitgestellt (Demontagebaustelle 2, Vorlaufstrecke 285 km).

Tab. 35: Energieaufwand Kombination LKW-Transport und Seetransport (RoRo-Fähre)

Teilprozesse	Transportmittel	Transporte der Betonelemente ¹⁾				
		Masse m [t]	Wegstrecke s [km]	KEA [MJ/t*km]	Energieaufwand E _T [MJ]	Energieaufwand E _{T,BE} [MJ/t]
Vorlauf 1 (Rückbaubaustelle 1 - Neubrandenburg - Hafen Sassnitz)	LKW (Diesel)	1.668	140	1,25	291.900	175
Vorlauf 2 (Rückbaubaustelle 2 - Berlin - Hafen Sassnitz)	LKW (Diesel)	765	285	1,25	272.531	356
Hafentransport (Hafen Sassnitz)	RoRo-Zugmaschine (Diesel)	2.433	1	1,25	3.041	1
Seetransport	RoRo-Fähre (Schweröl)	2.433	1.320	0,114	366.118	151
Hafentransport (Hafen St. Petersburg)	RoRo-Zugmaschine (Diesel)	2.433	1	1,25	3.041	1
Nachlauf (Hafen St. Petersburg - Nevskaja Dubrovka)	LKW (Diesel)	2.433	70	1,25	212.888	88
Gesamt					1.149.519 MJ (~ 1.150 GJ)	

¹⁾ alle Werte gerundet

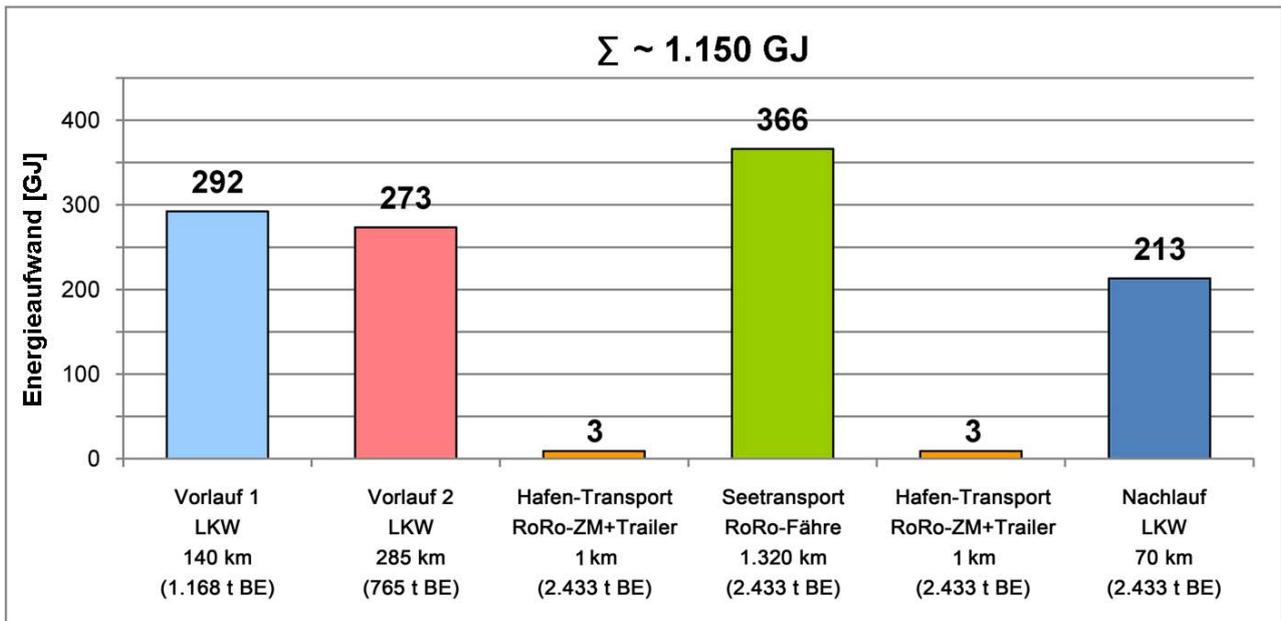


Abb. 33: Energieaufwand KEA [GJ] für die einzelnen Transportprozesse von 658 BE (2.433 t)

Die Anlieferung der 658 Betonbauteile von den gewählten Rückbaubaustellen – wie zuvor aufgeführt – nach Nevskaja Dubrovka in der betrachteten Transportkombination aus LKW- und Seetransport inkl. dem Hafentransport per RoRo-Zugmaschine und -Trailer würde **ca. 1.150 GJ** Energie in Anspruch nehmen. Dies entspricht **ca. 480 MJ/t** zu transportierendes Betonbauteil.

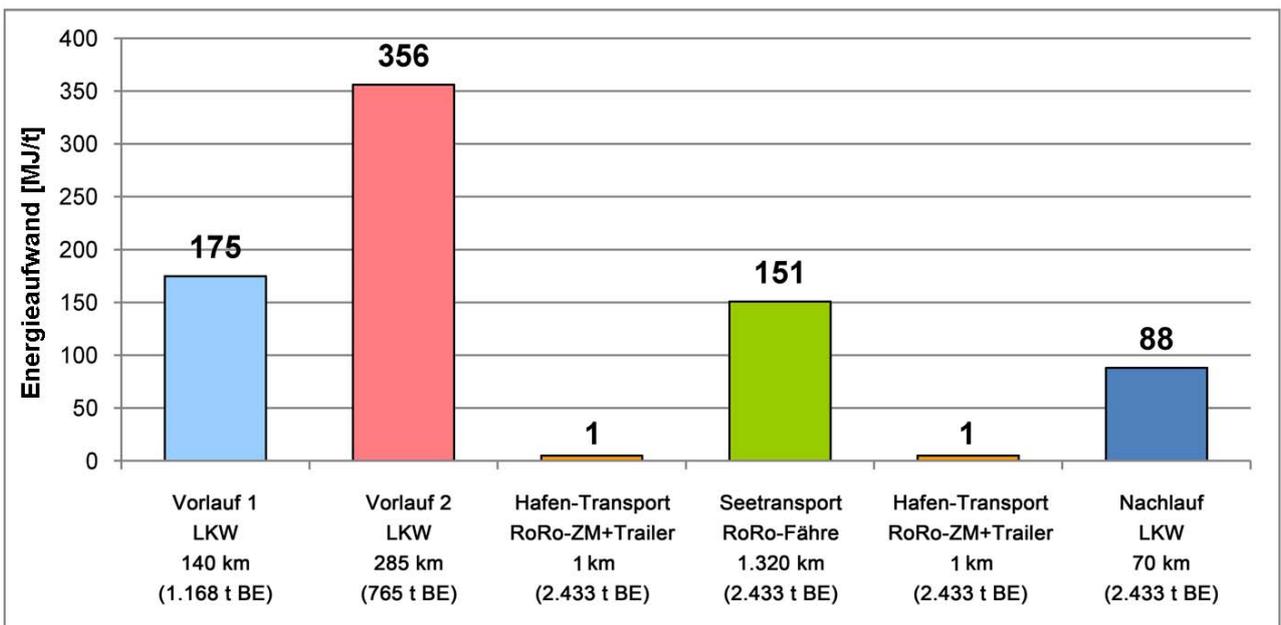


Abb. 34: Energieaufwand KEA je Betonelement [MJ/t] für die einzelnen Transportprozesse von 658 BE (2.433 t)

6.3 Energieaufwand für die Umschläge der Betonelemente

Da die Umsetzung der geplanten Wiederverwendungsmaßnahme in Russland – wie oben erläutert – erst im Juli 2011 ansteht, basiert die überschlägige Ermittlung der erforderlichen Energieaufwände zum Bauteilumschlag auf Annahmen.

Zum Transport und Umschlag von Betonelementen, Zeitaufwand (Kranspielzeiten) und Fahrzeugeinsatz sind von der Fachgruppe Bauliches Recycling zahlreiche Untersuchungen im Zuge von Rückbaumaßnahmen industriell errichteter Gebäude sowie zu Wiederverwendungsmaßnahmen durchgeführt worden. Diese Analyseergebnisse bilden vorerst die Datengrundlage nachfolgender Berechnungen zum erforderlichen Energieaufwand der Bauelementeumschläge. Angesetzt werden 5 Umschläge/BE (vgl. Abb. 9).

Die erforderlichen Prozesse für den Umschlag von 658 BE stellen sich anhand von 5 Umschlägen wie folgt dar:

- Umschlag 1 (U1): Demontage der Betonelemente,
- Umschlag 2 (U2): Beladen LKW mit Fahrzeugkran (FZK) auf den Rückbaubaustellen 1 und 2,
- Umschlag 3 (U3): Entladen LKW / Beladen der RoRo-Trailer mit Portalkran im Fährhafen Sassnitz,
- Umschlag 4 (U4): Entladen der RoRo-Trailer / Beladen LKW mit Portalkran im Hafen Sankt Petersburg,
- Umschlag 5 (U5): Entladen LKW / Bauteil(zwischen)lager auf der (Re)Montagebaustelle.

Auf der Basis eigener Untersuchungen zur Demontage (Öffnen der Bauteilfugen, Trennen der Verbindungsmittel, Abheben der Betonelemente aus dem Konstruktionsverband und Absetzen der Betonelemente auf der Rückbaubaustelle) eines 6-geschossigen Plattenbaus mit FZK werden 157 MJ/t (bei TDK sind es ~ 73 MJ/t) angesetzt.⁵⁴ Hierbei ist folgender Maschinen- und Geräteeinsatz mit folgenden Leistungsparametern berücksichtigt:

- Fahrzeugkran: 149 kW,
- Minibagger: 10,3 kW,
- Bohrhammer: 1,15 kW,
- Schneidbrenner: 22,9 kW.

Bei einer Gesamtmasse von 2.433 t ergeben sich somit für den FZK-Einsatz zur Demontage der Betonbauteile ~ 382.000 MJ (U1).

Im Weiteren wird davon ausgegangen, dass für die Beladung der LKW auf der Rückbaubaustelle ein zweiter Kran, Fahrzeugkran, eingesetzt wird.

Zur Be- und Entladung der LKWs auf der / den Rückbaubaustelle(n) bzw. (Re)Montagebaustelle in Nevskaja Dubrovka wird vom gleichen Fahrzeugkran (Traglast max. 70 t, LIEBHERR-FZK)⁵⁵ ausgegangen (s. Pkt. 6.3.1).

⁵⁴ Mettke, A.; Heyn, S.; Asmus, S. et al.: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf, Teil 1: Krangeführter Rückbau, BTU Cottbus, Lehrstuhl Altlasten, Fachgruppe Bauliches Recycling, Cottbus, 01/2008, S. 278.

⁵⁵ Kennwerte zum Fahrzeugkran: FZK LIEBHERR LTM 1070-4.1 (4-achsig) gem. Herstellerangaben unter <http://www.liebherr.com> sowie Aufnahme der Fahrzeugdaten auf der Baustelle Wiederverwendungsprojekt „Sportlerheim Kolkwitzer Sportverein 1896 e.V.“ am 16.03.2009.

Für die Umschläge der BE in den Häfen Sassnitz wie auch Sankt Petersburg sollen die dortigen verfügbaren Portalkräne zum Be- und Entladen der RoRo-Trailer genutzt werden. Im Fährhafen Sassnitz sind zwei schienengebundene, elektrisch betriebene Portalkräne (TAKRAF, BJ. 1984, Bauart VPK, max. Tragfähigkeit 32 t)⁵⁶ vorhanden. Da für den Hafen Sankt Petersburg keine näheren Angaben zu dort nutzbaren Portalkräne bzw. Portaldrehkränen zum Zeitpunkt der Recherchen verfügbar sind, werden die gleichen Kennwerte – vergleichbar dem eingesetzten Portalkran im Hafen Sassnitz – zugrunde gelegt (s. Pkt. 6.3.2).

Da der Einsatz des Krans aufgrund der großen Anzahl an Betonelementen (Σ 658 BE) für die Belade- wie auch Entladevorgänge mehrere Tage in Anspruch nehmen wird, sind zwei verschiedene Ansätze zur Ermittlung der dafür erforderlichen Energieaufwände möglich, um zu prüfen, ob sich wesentliche Unterschiede für den Energieaufwand ergeben:

- a) **Ansatz 1:** Ermittlung der Energieaufwände für den Bauteilumschlag in Abhängigkeit der max. möglichen Beladung des Transportmittels mit BE, der insgesamt erforderlichen Arbeitszeit für den Umschlag, der effektiven Einsatzzeit des Krans pro Tag und der Auslastung des eingesetzten Krans,
- b) **Ansatz 2:** Ermittlung der Energieaufwände für den Bauteilumschlag unter Bezugnahme der mittleren Kranspielzeiten und der Auslastung des eingesetzten Krans.

Die Zeiten für das Auf- und Abbauen des Krans sind in beiden Ansätzen nicht berücksichtigt worden.

Die für den Ansatz 2 durchschnittlichen Kranspielzeiten der jeweilige Bauteilgruppe (Wand- und Deckenbauteile) sind in Tab. 36 aufgelistet.

Tab. 36: Durchschnittswerte ermittelter Kranspielzeiten für das Be- und Entladen von Betonelementen mittels FZK⁵⁷

Durchschnittswerte ermittelter Kranspielzeiten (FZK) für den Umschlag von Betonelementen			
Element	Beladen [mm:ss]	Entladen [mm:ss]	Σ Umschlag pro BE [mm:ss]
Außenwandelemente	6:30	5:00	11:30
Innenwandelemente	3:30	4:00	7:30
Deckenelemente	3:00	3:30	6:30
\emptyset	~ 4:30	~ 4:10	~ 8:40

Im Mittel werden pro Betonelement knapp 9 min. für das Be- und Entladen benötigt.

⁵⁶ gem. Angaben Hafentreiber und unter <http://www.faeherhafen-sassnitz.de>.

⁵⁷ Untersuchungsergebnisse zu durchschnittlichen Kranspielzeiten der Fachgruppe Bauliches Recycling auf versch. Demontage- sowie (Re)Montagebaustellen, bspw. Vereinshausbau in Gröditz und Kolkwitz.

6.3.1 Energieaufwände für das Be- und Entladen der Betonelemente mittels Fahrzeugkran

Betrachtet werden hier die erforderlichen Energieaufwände zum Beladen der LKW auf der Rückbaubaustelle in Ostdeutschland (Umschlag 2) sowie das Entladen der Betonelemente vom LKW in Nevskaja Dubrovka (Umschlag 5) mittels Fahrzeugkran. Um eine Vergleichsgrundlage der erforderlichen Energieaufwände zu erhalten, erfolgen in beiden Fällen die Berechnungen gemäß der beiden Ansätze, wie im Pkt. 6.3 dargestellt.

Umschlag 2 (U2):

Folgend dem ersten Ansatz (**Ansatz 1**) wird vereinfachend von einer durchschnittlichen Anzahl an Betonelementen je LKW-Ladung ausgegangen: 7 BE. Daraus ergeben sich die erforderlichen LKW-Fahrten zum Abtransport der BE mit ~ 95 Fahrten (658 BE : 7 BE / LKW = 94 LKW). Unter Beachtung der Transportentfernung der Rückbaubaustelle(n) zum Hafen Sassnitz werden die maximal möglichen LKW-Fahrten pro Tag (max. 5 LKW-Fahrten mit ggf. mehreren LKWs im Pendelverkehr) sowie der Verfügungszeit des Fahrzeugkrans auf der Rückbaubaustelle von 9 h/Tag ins Verhältnis gesetzt. Messungen zum Kraneinsatz belegen, dass der Kran für den Umschlag der Betonelemente effektiv 4 bis 5 h/Tag im Einsatz ist. Geht man von insgesamt rd. 20 Tagen⁵⁸ für den Abtransport der BE (~170 h) und einer Auslastung des Krans von 50 %/Tag aus, so ergibt sich eine effektive Arbeitszeit für den FZK von 85 - 90 h für den Prozess Beladen der LKWs mit BE.

Bei einer Auslastung des FZK von 50 % werden 0,28 l Dieselkraftstoff je kWh (Auslastung 100 %: 0,26 l Dieselkraftstoff je kWh)⁵⁹ angesetzt. Damit ergibt sich bei einem Primärenergiegehalt (PEI) eines Liters Dieselkraftstoff von 35,3 MJ⁶⁰ und unter Beachtung der Motorleistung des FZK (270 kW) für den Umschlag der 658 Betonelemente auf der Rückbaubaustelle folgender Gesamtenergieaufwand E_{U2} rd. 113.500 MJ (s. Tab. 37) bzw. ~ 47 MJ/t BE.

Tab. 37: Energieaufwand Einsatz FZK auf der Rückbaubaustelle in Abhängigkeit der Transportleistung (Ansatz 1)

Energieaufwand E_{U2} für den Umschlag 2 mit FZK auf der Rückbaubaustelle (Σ 658 BE) – Beladen LKW								
Typ	Standzeit [h]	max. Traglast [t]	Motor [kW]	Auslastung 50 % [kW]	Zeit [h]	Leistung je h [kWh]	Verbr. Diesel [l]*	Energieaufwand [MJ]**
Liebherr-FZK LTM 1070-4.1 (4-achsig)	170 (19-20 Tage á 9 h)	70	270 (Diesel)	135	85	11.475	3.213	113.419
Kraneinsatz FZK – Energieaufwand U_2 gesamt [MJ]						$E_{U2} = \sim 113.500$ MJ		
658 BE (2.433 t) (113.500 MJ / 2.433 t = ~ 46,65 MJ/t)						~ 47 MJ/t BE		

* 1,0 kWh = 0,28 l Dieselkraftstoff (Auslastung 50 %)

** 1,0 l Dieselkraftstoff = 35,3 MJ/l (PEI)

⁵⁸ 658 BE : 35 BE/d = 19 Tage ~ 20 Tage; ~ 20 Tage x 9 h/d Kran 50 % \approx 90 h.

⁵⁹ Heuer, H.; Gubany, J.; Hinrichsen, G.: Baumaschinen Taschenbuch - Ratgeber für die Baupraxis, 1994, S. 81.

⁶⁰ Graf, U.; Koch, V.; Spitzley, H.: Woher kommt unsere Energie? Von der Primärenergie zur Energiedienstleistung, 1995.

Vergleichend hierzu werden im zweiten Ansatz (**Ansatz 2**) die mittleren Kranspielzeiten (s. Tab. 36), welche für das Heben und Führen, Halten inkl. An- und Abschlagen der 658 Bauteile beim Beladen der LKW ermittelt wurden, jeweils mit einer hierfür angesetzten Auslastung des FZK von 100 % ins Verhältnis gesetzt (Tab. 38).

Tab. 38: Energieaufwand Einsatz FZK auf der Rückbaubaustelle in Abhängigkeit mittlerer Kranspielzeiten (Ansatz 2)

Energieaufwand E_{U2} für den Umschlag 2 mit FZK auf der Rückbaubaustelle (Σ 658 BE) – Beladen LKW								
BE	Anzahl Σ	Kranspielzeit je BE \emptyset [mm:ss]	Σ Zeit Beladen [h]	Typ FZK	Motor [kW] (Auslastung 100 %)	Leistung je h [kWh]	Verbr. Diesel [l]*	Energie- aufwand [MJ]**
Deckenplatten	297	03:00	~15	Liebherr- FZK LTM 1070-4.1 (4-achsig)	270 (Diesel)	4.050	1.053	37.171
Außenwände	102	06:30	~11			2.970	773	27.287
Innenwände	93	03:30	~5,5			1.485	386	13.626
Drempel-AW	28	06:30	~3			810	211	7.449
Loggiawände	39	03:30	~2,5			675	176	6.213
Loggia-DP	27	03:00	~1,5			405	106	3.742
Loggia-Brüstung	27	06:30	~3			810	211	7.449
Treppenpodeste	27	03:00	~1,5			405	106	3.742
Treppenstufen	18	06:30	~2			540	141	4.978
	Σ 658							
Kraneinsatz FZK - Energieaufwand U_2 gesamt [MJ]							$E_{U2} = \sim 112.000$ MJ	
658 BE (2.433 t) (112.000 MJ / 2.433 t = $\sim 46,03$ MJ/t)							~ 46 MJ/t BE	

* 1,0 kWh = 0,26 l Dieselkraftstoff (Auslastung 100 %)

** 1,0 l Dieselkraftstoff = 35,3 MJ/l (PEI)

Bei 100 %-iger Auslastung des FZK mit mittleren Kranspielzeiten für den Bauteilumschlag der Elemente erhält man einen Energieaufwand für E_{U2} von rd. 112.000 MJ bzw. ~ 46 MJ/t BE.

Der Vergleich zeigt, dass trotz unterschiedlicher Ansätze die überschlägig ermittelten Ergebnisse zum erforderlichen Energieaufwand des Kraneinsatzes auf der Rückbaubaustelle kaum voneinander abweichen (**Ansatz 1:** rd. 113.500 MJ; **Ansatz 2:** 112.000 MJ).

Umschlag 5 (U5):

Auch beim Umschlag 5 auf der (Re)Montagebaustelle wird gemäß dem ersten Ansatz (**Ansatz 1**) von einer durchschnittlichen Anzahl von 7 Betonelementen je LKW ausgegangen; d.h. rd. 95 LKW-Fahrten zum Abtransport der BE (s. U2). Unter Beachtung der örtlichen Gegebenheiten und der geringeren Transportentfernung vom Hafen Sankt Petersburg zur (Re)Montagebaustelle Nevskaja Dubrovka (70 km) im Vergleich zum Vorlauf erhöhen sich die maximal möglichen LKW-Fahrten pro Tag (Annahme statt 5 LKW-Fahrten (U2) max. 6 LKW-Fahrten mit ggf. mehreren LKWs im Pendelverkehr). Es wird auch hier von einer Verfügungszeit von 9 h/Tag des Fahrzeugkrans auf der (Re)Montagebaustelle ausgegangen. Geht man von insgesamt 16 Tagen⁶¹ und 1 Tag Reserve aufgrund unvorhergesehener Komplikationen aus, ergeben sich in Σ 17 Tage für den Abtransport der BE (~ 160 h). Bei einer Auslastung des Krans von 50 %/Tag, ergibt sich eine effektive Arbeitszeit für den FZK von rd. 80 h (s. Tab. 39).

Bei 50 %-iger Auslastung des FZK-Einsatzes werden – wie für U2 – 0,28 l Dieselkraftstoff je kWh (Auslastung 100 %: 0,26 l Dieselkraftstoff je kWh)⁶² angesetzt. Im Ergebnis ergibt sich bei einem Primärenergiegehalt (PEI) von einem Liter Dieselkraftstoff von 35,3 MJ⁶³ und bei Beachtung der Motorleistung des FZK (270 kW) für den Umschlag der 658 Betonelemente auf der (Re)Montagebaustelle ein Gesamtenergieaufwand E_{U5} von rd. 107.000 MJ bzw. ~ 44 MJ/t BE (s. Tab. 39).

Tab. 39: Überschlägiger Energieaufwand Einsatz FZK auf der (Re)Montagebaustelle in Abhängigkeit der Transportleistung (Ansatz 1)

Energieaufwand E_{U5} für den Umschlag 5 mit FZK auf der (Re)Montagebaustelle (Σ 658 BE) – Entladen LKW								
Typ	Standzeit [h]	max. Traglast [t]	Motor [kW]	Auslastung 50 % [kW]	Zeit [h]	Leistung je h [kWh]	Verbr. Diesel [l]*	Energieaufwand [MJ]**
Liebherr-FZK LTM 1070-4.1 (4-achsig)	~ 160 (17 Tage á 9 h)	70	270 (Diesel)	135	80	10.800	3.024	106.747
Kraneinsatz FZK - Energieaufwand U_5 gesamt [MJ]						$E_{U5} = \sim 107.000$ MJ		
658 BE (2.433 t) (107.000 MJ / 2.433 t = ~ 43,98 MJ/t)						~ 44 MJ/t BE		

* 1,0 kWh = 0,28 l Dieselkraftstoff (Auslastung 50 %)

** 1,0 l Dieselkraftstoff = 35,3 MJ/l (PEI)

⁶¹ 658 BE : 42 BE/d = ~ 16 Tage; (~ 16 Tage + 1 Tag Reserve) x 9 h/d Kran 50 % \approx 160 h.

⁶² Heuer, H.; Gubany, J.; Hinrichsen, G.: Baumaschinen Taschenbuch - Ratgeber für die Baupraxis, 1994, S. 81.

⁶³ Graf, U.; Koch, V.; Spitzley, H.: Woher kommt unsere Energie? Von der Primärenergie zur Energiedienstleistung, 1995.

Gemäß dem **Ansatz 2** erfolgt die Berechnung für den Energieaufwand des FZK auf der (Re)Montagebaustelle in Nevskaja Dubrovka (Tab. 40).

Tab. 40: Energieaufwand Einsatz FZK auf der (Re)Montagebaustelle in Abhängigkeit mittlerer Kranspielzeiten (Ansatz 2)

Energieaufwand E_{U5} für den Umschlag 5 mit FZK auf der (Re)Montagebaustelle (Σ 658 BE) – Entladen LKW								
BE	Anzahl Σ	Kranspielzeit je BE \emptyset [mm:ss]	Σ Zeit Entladen [h]	Typ FZK	Motor [kW] (Auslastung 100 %)	Leistung je h [kWh]	Verbr. Diesel [l]*	Energie- aufwand [MJ]**
Deckenplatten	297	03:30	~17,5	Liebherr- FZK LTM 1070-4.1 (4-achsig)	270 (Diesel)	4.725	1.229	43.384
Außenwände	102	05:00	~8,5			2.295	597	21.074
Innenwände	93	04:00	~6			1.620	421	14.861
Drempel-AW	28	05:00	~2			540	141	4.978
Loggiawände	39	04:00	~2,5			675	189	6.672
Loggia-DP	27	03:30	~1,5			405	106	3.742
Loggia-Brüstung	27	05:00	~2			540	141	4.978
Treppenpodeste	27	03:30	~1,5			405	106	3.742
Treppenstufen	18	05:00	~1,5			405	106	3.742
	Σ 658							
Kraneinsatz FZK - Energieaufwand U_5 gesamt [MJ]							$E_{U5} = \sim 107.000$ MJ	
658 BE (2.433 t) (107.000 MJ / 2.433 t = $\sim 43,98$ MJ/t)							~ 44 MJ/t BE	

* 1,0 kWh = 0,26 l Dieselkraftstoff (Auslastung 100 %)

** 1,0 l Dieselkraftstoff = 35,3 MJ/l (PEI)

Für den Bauteilumschlag (U_5) auf der (Re)Montagebaustelle in Nevskaja Dubrovka mittels Fahrzeugkran, der zu 100 % ausgelastet ist, ergibt sich unter dem Ansatz der mittleren Kranspielzeiten (s. Tab. 36) ein Energieaufwand für E_{U5} von rd. 107.000 MJ bzw. ~ 44 MJ/t BE.

Im Ergebnis der Berechnungen ist feststellbar, dass trotz unterschiedlicher Ansätze die überschlägigen Energieaufwände des Kraneinsatzes (FZK) auf der (Re)Montagebaustelle mit rd. 107.000 MJ im Vergleich zu allen anderen Umschlägen nahezu identisch sind.

6.3.2 Energieaufwände für das Be- und Entladen mittels Portalkran

An dieser Stelle werden die erforderlichen Energieaufwände für das

- Entladen der LKW / Beladen der RoRo-Trailer im Hafen Sassnitz (Umschlag 3) und
- Entladen der RoRo-Trailer / Beladen der LKW im Hafen Sankt Petersburg (Umschlag 4)

unter Verwendung eines Portalkrans überschlägig berechnet. Für den Hafen Sassnitz wie auch für den Hafen Sankt Petersburg werden jeweils die gleichen Leistungskennwerte für den strombetriebenen Portalkran⁶⁴ angesetzt.

Datengrundlage bilden die mittleren Kranspielzeiten gemäß Tab. 36. Die Auslastung des Portalkrans wird zu 100 % angesetzt (Tab. 41 und 42).

Tab. 41: Energieaufwand Portalkran-Einsatz im Hafen Sassnitz – Entladen LKW / Beladen RoRo-Trailer (Umschlag 3)

Energieaufwand E_{U_3} für den Umschlag 3 mit Portalkran (Σ 658 BE) – Entladen LKW / Beladen RoRo-Trailer							
BE	Anzahl Σ	Kranspielzeit je BE \emptyset [mm:ss]	Σ Zeit Beladen [h]	Typ	Motor [kW] (Auslastung 100 %)	Leistung je h [kWh]	Energieaufwand [MJ]*
Deckenplatten	297	03:00	~15	Portalkran TAKRAF (max. Tragfähigkeit 32 t)	130 (Strom)	1.950	7.020
Außenwände	102	06:30	~11			1.430	5.148
Innenwände	93	03:30	~5,5			715	2.574
Drempel-AW	28	06:30	~3			390	1.404
Loggiawände	39	03:30	~2,5			325	1.170
Loggia-DP	27	03:00	~1,5			195	702
Loggia-Brüstung	27	06:30	~3			390	1.404
Treppenpodeste	27	03:00	~1,5			195	702
Treppenstufen	18	06:30	~2			260	936
	Σ 658						Σ
Einsatz Portalkran - Energieaufwand U_3 gesamt [MJ]						$E_{U_3} = \sim 21.000$ MJ	
658 BE (2.433 t) (21.100 MJ / 2.433 t = $\sim 8,63$ MJ/t)						~ 9 MJ/t BE	

* 1,0 kWh = 3,6 MJ

⁶⁴ Da für den im Hafen Sassnitz befindlichen TAKRAF-Portalkran keine Leistungskennwerte verfügbar waren, wird für die Berechnung der Kennwert der Anschlussleistung eines Zweiträger-Brückenkran der Fa. SKET/SIEMENS (130 kW, Bj. 1981) mit einer max. Tragfähigkeit von 32 t (Hubwerk) angesetzt; <http://www.bau-portal.com>; aufgerufen am 15.12.2010.

Tab. 42: Energieaufwand Portalkran-Einsatz im Hafen Sankt Petersburg – Entladen RoRo-Trailer / Beladen LKW
(Umschlag 4)

Energieaufwand E_{U4} für den Umschlag 4 mit Portalkran (Σ 658 BE) – Entladen RoRo-Trailer / Beladen LKW							
BE	Anzahl Σ	Kranspielzeit je BE \emptyset [mm:ss]	Σ Zeit Entladen [h]	Typ	Motor [kW] (Auslastung 100 %)	Leistung je h [kWh]	Energieaufwand [MJ]*
Deckenplatten	297	03:30	~17,5	Portalkran TAKRAF (max. Tragfähigkeit 32 t)	130 (Strom)	2.275	8.190
Außenwände	102	05:00	~8,5			1.105	3.978
Innenwände	93	04:00	~6			780	2.808
Drempel-AW	28	05:00	~2			260	936
Loggiawände	39	04:00	~2,5			325	1.170
Loggia-DP	27	03:30	~1,5			195	702
Loggia-Brüstung	27	05:00	~2			260	936
Treppenpodeste	27	03:30	~1,5			195	702
Treppenstufen	18	05:00	~1,5			195	702
	Σ 658						Σ
Einsatz Portalkran - Energieaufwand U_4 gesamt [MJ]							$E_{U4} = \sim 20.000$ MJ
658 BE (2.433 t) (20.000 MJ / 2.433 t = $\sim 8,22$ MJ/t)							$\sim 8,5$ MJ/t BE

* 1,0 kWh = 3,6 MJ

Die minimalen zeitlichen Unterschiede zwischen Be- und Entladen spiegeln sich demzufolge bei der Energieaufwandsermittlung für den Portalkraneinsatz wieder. Pro Tonne BE werden $\sim 8,5$ bis 9 MJ Energie für den Portalkranbetrieb benötigt. Insgesamt ergeben sich demzufolge für die 658 BE Energieaufwände für den BE-Umschlag von ~ 20.000 MJ (E_{U4}) bis ~ 21.000 MJ (E_{U3}).

6.3.3 Zusammenstellung der Energieaufwände für die Umschläge der Betonelemente

Zusammengestellt werden hier die erforderlichen Energieaufwände auf der Grundlage der Leistungsdaten des angesetzten Fahrzeugkrans (FZK) und des Portalkrans (PK) sowie der mittleren Kranspielzeiten (s. Tab. 36), die das Heben, Führen und Absetzen inkl. An- und Abschlagen der 658 Bauteile beim Be- und Entladen der LKW bzw. RoRo-Trailer berücksichtigen. Die Auslastung des jeweils eingesetzten Kranes wird mit 100 % angenommen, da nur die reinen Kranzeiten ins Verhältnis zur Arbeitsleistung gesetzt sind.

Für die **5 Umschläge** (U1 bis U5) werden demzufolge insgesamt **rd. 645.000 MJ (645 GJ)** benötigt; dargestellt in Abb. 35. Der Energieaufwand bezogen auf eine Tonne Betonbauteil ist in Abb. 36 dargelegt.

Die überschlägig ermittelten Energieaufwände lassen eine tendenzielle Aussage zu, nämlich in welchen Größenordnungen Energieaufwände für Bauteilumschläge in Abhängigkeit des eingesetzten Krans (FZK bzw. PK bei 100%-iger Auslastung) nötig werden.

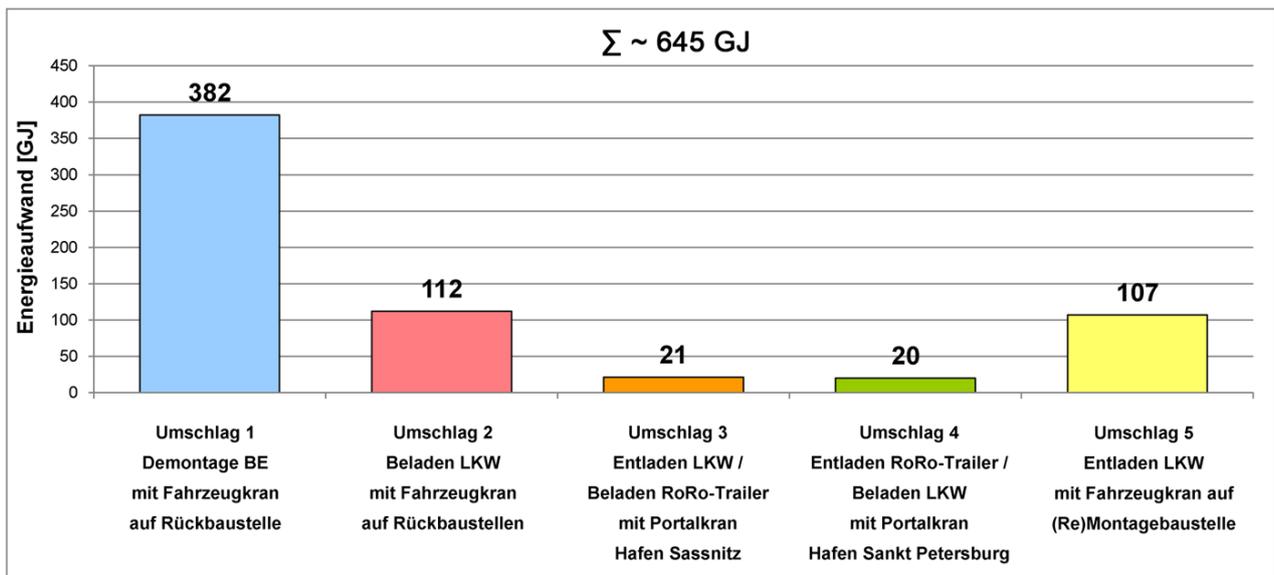


Abb. 35: Energieaufwand für den Prozess Bauteilumschlag (5 Umschläge)

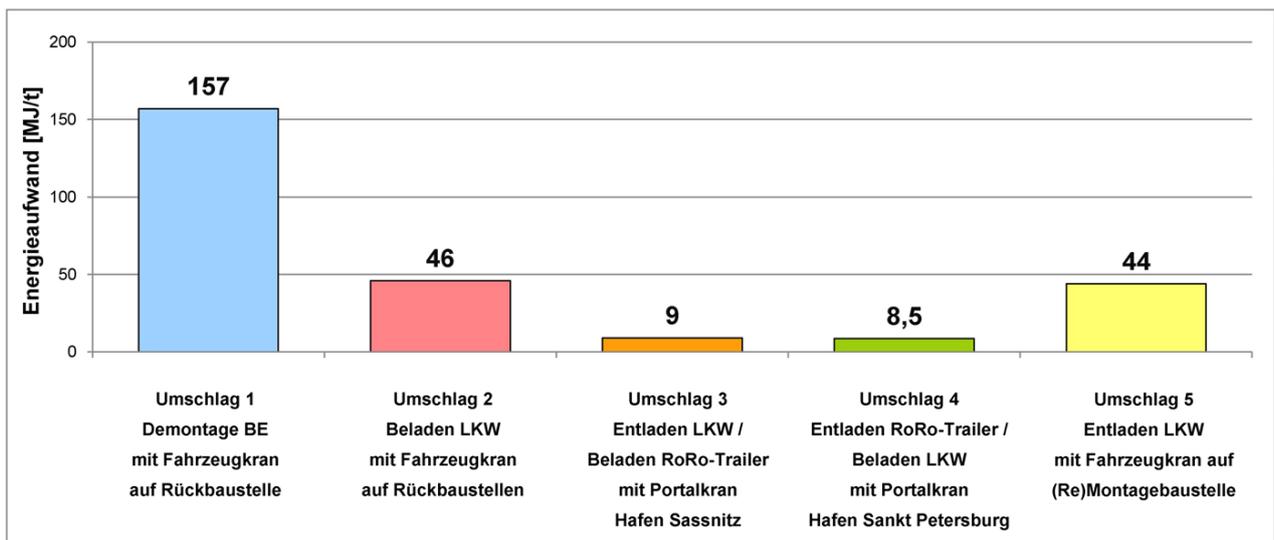


Abb. 36: Energieaufwand für den Bauteilumschlag pro t BE (5 Umschläge)

6.4 Emissionsbetrachtungen

Nachfolgende Emissionsbetrachtungen beziehen sich ausschließlich auf die Analyse atmosphärisch relevanter Stoffe (CO₂, SO₂, NO_x), welche beim Bauteiltransport und -umschlag aufgrund der Energieaufwände für das Pilotprojekt freigesetzt werden. Diese ermittelten Emissionswerte werden den Umweltbelastungen, die sich aus der Neuteilproduktion ergeben, gegenübergestellt.

6.4.1 Herstellung von neuen Betonbauteilen

Die freigesetzten **Emissionen für die Herstellung einer Tonne Betonfertigteil** aus Normalbeton B 25 (entspr. C 20/25) mit Portlandzement (CEM I) unter Dampferhärtung sind nach Angaben der Forschungsstelle für Energiewirtschaft⁶⁵ wie folgt (Tab. 43):

Tab. 43: Energetisch bedingte Emissionen zur Neuherstellung von Fertigteilbeton

		CO ₂	SO ₂	NO _x
Emissionen für 1,0 t Fertigteilbeton	[kg]	394	0,806	0,604
Emissionen Neuteilproduktion von 2.433 t	[t]	959,0	1,96	1,47
Emissionen Neuteilproduktion von 2.433 t	[kg]	959.000	1.960	1.470

Durch den Wegfall der Neuproduktion infolge der Wiederverwendung von 658 ausgewählten Betonbauteilen entfallen ca. 960 t CO₂, rd. 2 t SO₂ und rd. 1,5 t NO_x.

6.4.2 Energetisch bedingte Emissionen der Transportkombination LKW- / Schiffstransport

Für den Transport der Betonelemente von den im betrachteten Fallbeispiel angesetzten zwei Rückbaubaustellen (Neubrandenburg: 140 km; Berlin: 285 km) zum Fährhafen Sassnitz mit dem LKW, Transport der BE mittels RoRo-Zugmaschine und –Trailer, Seetransport und dem LKW-Transport zur (Re)Montagebaustelle sind nachstehend aufgeführte energetisch bedingte Emissionen zu erwarten (Tab. 44 und 45). Hierbei wird wiederum die Nutzung der Kombination aus RoRo-Zugmaschine und –Trailer dem LKW-Transport (Sattelzug etc.) für die Emissionsermittlung gleichgesetzt (vgl. Pkt. 6.2).

⁶⁵ FfE, Forschungsstelle für Energiewirtschaft: Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen und Halbzeugen, Teil II Baustoffe, München, 1999, S. 60.

Tab. 44: Energetisch bedingte Emissionen der eingesetzten Transportmittel⁶⁶

Transportmittel	Energieträger	Emissionen [kg/t*km]		
		CO ₂	SO ₂	NO _x
LKW	Diesel	0,0775	0,0000807	0,000322
RoRo-Zugmaschine	Diesel	0,0775	0,0000807	0,000322
Überseefrachter	Schweröl	0,00803	0,000153	0,00021

Tab. 45: Energetisch bedingte Emissionen der Kombination LKW-Transport, RoRo-Zugmaschine und RoRo-Fähre

Teilprozesse	Energie-träger	Bauteilmasse [t]	Wegstrecke s [km]	Emissionen [kg]		
				CO ₂	SO ₂	NO _x
Vorlauf 1 (LKW) (Rückbaubaustelle 1 -Neubrandenburg - Hafen Sassnitz)	Diesel	1.668	140	18.098	18,85	75,20
Vorlauf 2 (LKW) (Rückbaubaustelle 2 - Berlin - Hafen Sassnitz)	Diesel	765	285	15.296	17,60	70,20
Hafentransport (RoRo-Zugm.) (Hafen Sassnitz)	Diesel	2.433	1	189	0,20	0,78
Seetransport [RoRo-Fähre)	Schweröl	2.433	1.320	25.789	491,40	674,43
Hafentransport (RoRo-Zugm.) (Hafen St. Petersburg)	Diesel	2.433	1	189	0,20	0,78
Nachlauf (LKW) (Hafen St. Petersburg - Nevskaja Dubrovka	Diesel	2.433	70	13.199	13,75	54,84
Gesamt [kg]				72.760 ~ 73.000	~ 542	876,23 ~ 880

Die freigesetzten Emissionen atmosphärisch relevanter Stoffe belaufen sich bei der Transportkombination aus Vor- und Nachlauf und Seetransport (Σ aller Transporte ~ 1.820 km) für die Bauteilmenge von ~ 2.433 t auf ca.:

- 73 t CO₂,
- 542 kg SO₂ und
- 880 kg NO_x.

⁶⁶ <http://www.probas.umweltbundesamt.de>, Werte KEA-nichterneuierbar für LKW (LKW-D-m. Anh.-AO-gross-2010) und Schiff (Schiff-Güter-See / Massengutfrachter-2000); aufgerufen am 15.12.2010.

6.4.3 Energetisch bedingte Emissionen der Umschlagprozesse

Wie bereits unter Pkt. 6.3 erläutert, wurde nur eine überschlägige Mengenermittlung energetisch bedingter Emissionen für die angesetzten 5 Bauteilumschläge, abgeleitet aus der Ermittlung erforderlicher Energieaufwände für die 5 Umschläge, durchgeführt.

Der energiebedingte Ausstoß spezifischer Emissionen während der Umschlagprozesse wird unter Zuhilfenahme des „Globalen Emissions-Modells Integrierter Systeme“ (GEMIS)⁶⁷ errechnet. Die entsprechenden Werte sind der Tab. 46 entnehmbar.

Tab. 46: Emissionsdaten für die Energie- und Strombereitstellung (GEMIS 4.5, 2009)

Energieträger	Emissionsfaktor [kg/TJ Endenergie]		
	CO ₂	SO ₂	NO _x
Diesel	74.400	77,39	-
Elektroenergiemix	178.890	107,04	175,77

In der nachfolgenden Tab. 47 sind die atmosphärisch relevanten Emissionen (CO₂, SO₂, NO_x) zusammenfassend dargestellt, welche während der 5 Bauteilumschläge durch den Kraneinsatz freigesetzt werden.

Tab. 47: Energiebedingter Ausstoß von Emissionen für den Bauteilumschlag (5 Umschläge)

	Energieaufwand			Energieträger	Emissionen [kg]			
	[MJ/t]	[MJ]	→ [TJ]		CO ₂	SO ₂	NO _x	
Wiederverwendung WBS 70-Betonelemente								
Umschlag 1	658 BE (2.433 t)	157	382.000	0,382	Diesel	28.421	29,56	-
Umschlag 2		46	112.000	0,112	Diesel	8.333	8,67	-
Umschlag 3		9	21.000	0,021	Strom	3.757	2,25	3,69
Umschlag 4		8,5	20.000	0,020	Strom	3.778	2,14	3,52
Umschlag 5		44	107.000	0,107	Diesel	7.961	8,28	-
Σ						52.250	50,9	7,21
Energiebedingter Ausstoß von Emissionen [kg] Σ						~ 52.500	~ 51	~ 7,5

⁶⁷ GEMIS berechnet nicht nur die direkten bei der Verbrennung entstehenden Emissionen aus Energiesystemen (Kraftwerke, Stromimporte, Öl-, Kohle-, Gasbereitstellung etc.), sondern auch sämtliche vor- und nachgelagerte Emissionen (Gewinnung, Transport, Verarbeitung).

6.5 Fazit Energieaufwand und Emissionsbetrachtungen zum Bauteiltransport und Bauteilumschlag

Die Untersuchungsergebnisse zum Energieaufwand und die Emissionsbetrachtungen zum Bauteiltransport inkl. der Bauteilumschläge ergeben für die geplante Wiederverwendungsmaßnahme (Pilotprojekt) im Raum Sankt Petersburg deutliche Energieeinspareffekte im Vergleich zur Neuproduktion.

Insgesamt wurden ~ **1.800 GJ für alle TUL-Prozesse** für die 658 BE ermittelt (vgl. Abb. 37). Davon entfallen auf

- den Vorlauf (Vorlauf 1: 140 km, Vorlauf 2: 285 km):	565 GJ
- die Hafentransporte:	6 GJ
- den Seetransport:	366 GJ,
- den Nachlauf:	213 GJ
- den Kraneinsatz auf der Demontagebaustelle (U1):	382 GJ
- das Beladen der LKW auf den Rückbaubaustellen 1 und 2 (U2):	112 GJ
- das Entladen der LKW / Beladen der RoRo-Trailer im Fährhafen Sassnitz (U3):	21 GJ
- das Entladen der RoRo-Trailer / Beladen der LKW im Hafen Sankt Petersburg (U4):	20 GJ
- das Entladen der LKW auf der (Re)Montagebaustelle (U5):	107 GJ

Die **Neuteilproduktion der 658 BE** beläuft sich auf ~ **5.640 GJ**. Daraus resultiert eine Einsparung an Energie in Höhe von 3.840 GJ (~ 68 %). D.h., nur ca. 1/3 der benötigten Energie zur Herstellung der Betonelemente wird für die Wiederverwendung in über 1.500 km Entfernung benötigt.

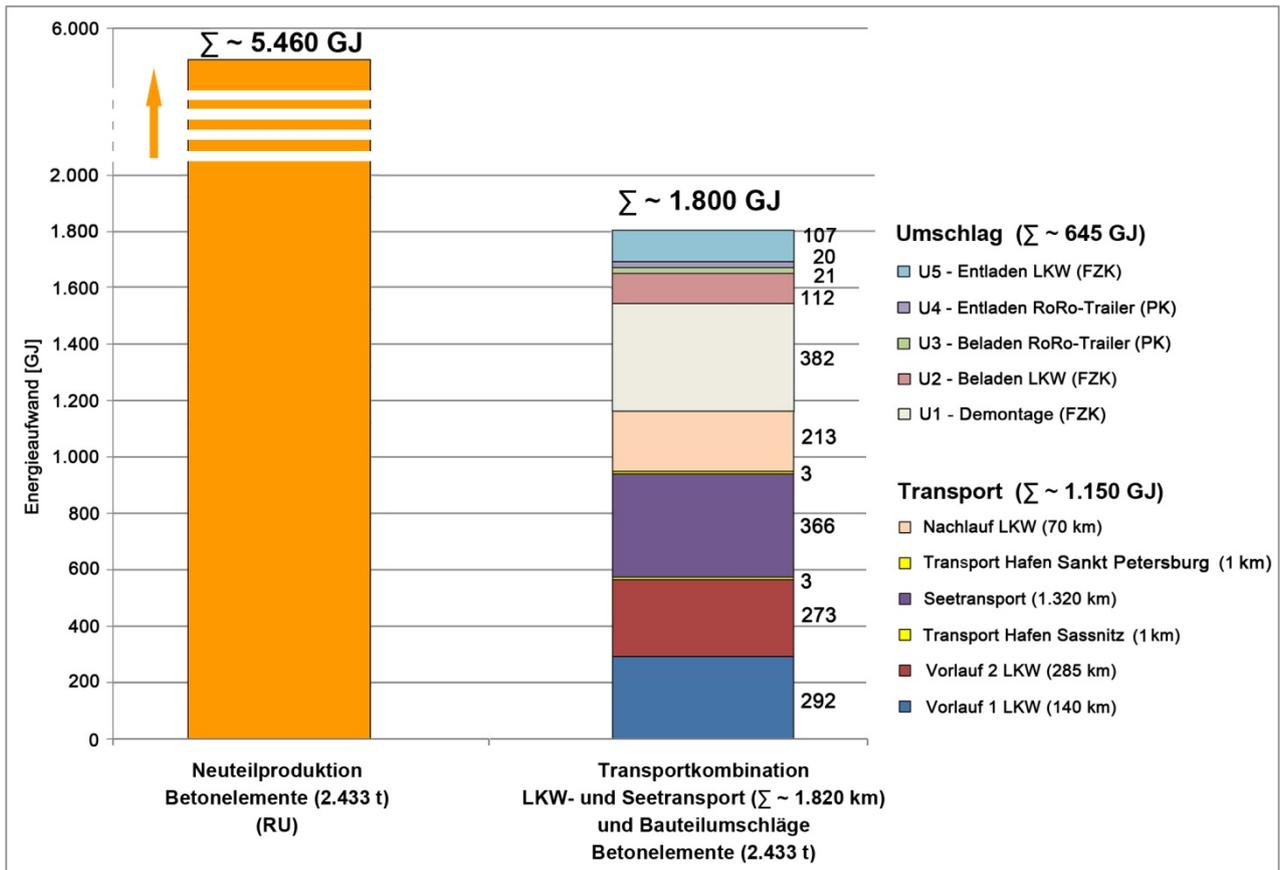


Abb. 37: Gegenüberstellung Energieaufwand Betoneuteilbereitstellung (RU) / Transport und Umschlag Betonelemente (2.433 t)

Die sich aus dem Energieaufwand abgeleiteten Emissionen sind in Abb. 38 dargestellt.

Der CO₂-Ausstoß vermindert sich infolge der Wiederverwendung von 658 BE (2.433 t) bei diesem Projekt um ~ 832 t (~ 87 %). Anstatt 959 t CO₂-Ausstoß werden (nur) rd. 127 t emittiert. Die CO₂-Emissionswerte der Neuteilproduktion sind etwa 7,5-mal höher im Vergleich zu den TUL-Prozessen des Pilotvorhabens.

Die SO₂-Emissionswerte der Neuteilproduktion betragen mit 1.960 kg etwa das 3-fache gegenüber der Wiederverwendung mit 595 kg.

An NO_x-Emissionen fallen bei der Herstellung neuer Betonbauteile 1.470 kg an. Dies entspricht dem 1,5-fachen der emittierten NO_x-Werte (890 kg) für die geplante Wiederverwendungsmaßnahme.

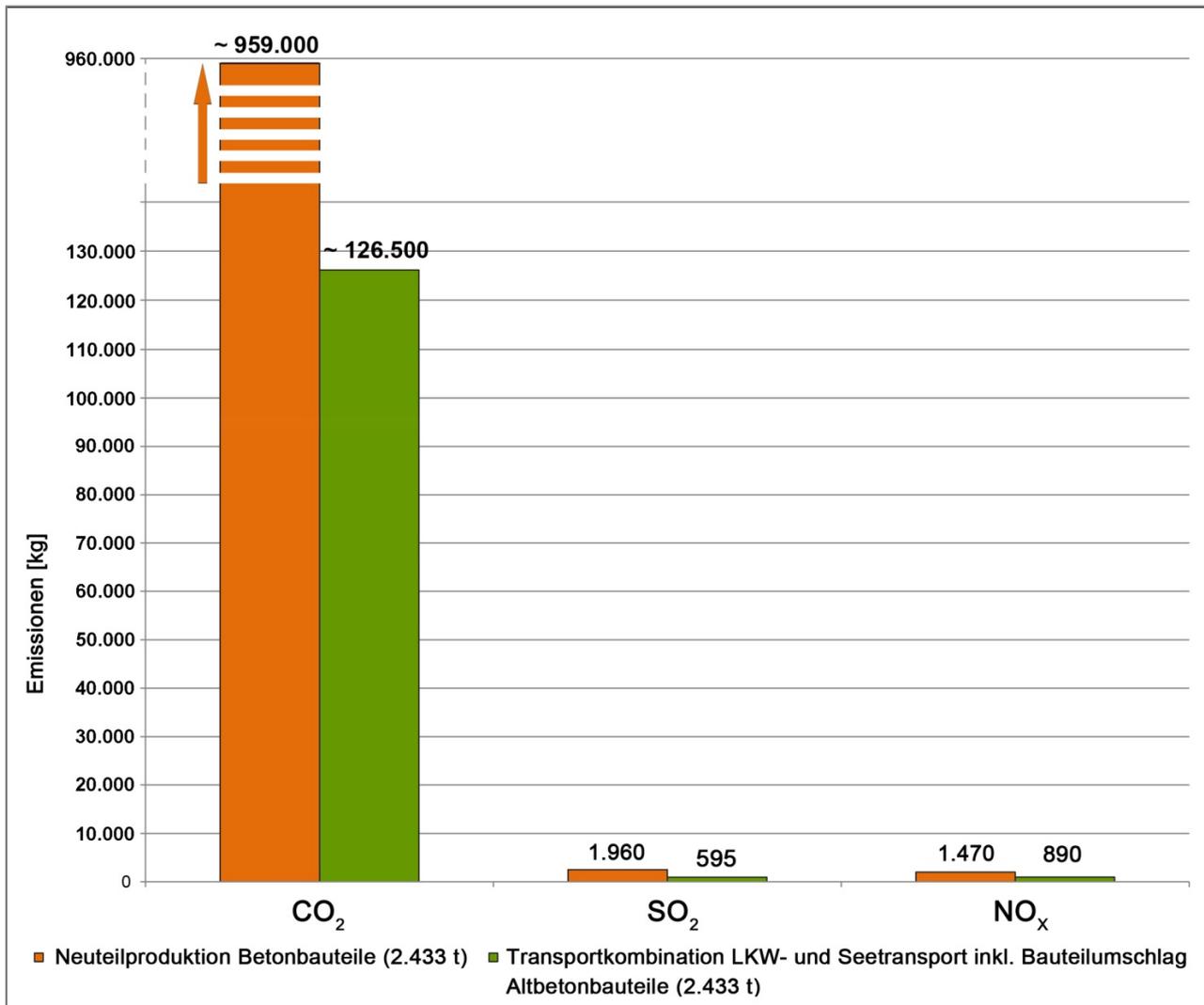


Abb. 38: Gegenüberstellung atmosphärisch relevanter Emissionen der Neuteilproduktion und der Transportkombination LKW- und Seetransport für die Bereitstellung von 2.433 t Betonbauteilen

Alle Untersuchungsergebnisse sind im Bearbeitungsteil 2 des Forschungsvorhabens durch die begleitenden Untersuchungen der Umsetzung nachzuweisen.

Ausschließlich darüber kann der Nachweis erbracht werden, ob solch große Energie- und Emissionseinsparungen erzielbar bzw. ggf. weiter optimierbar sind. Gleichwohl resultieren aus der Wiederverwendungsmaßnahme Einsparungen an natürlichen Ressourcen (Abbau Primärrohstoffe zur Herstellung Beton entfällt), die mit einer Reduzierung der Flächeninanspruchnahme korrelieren.

Selbst die empfohlene Neuproduktion von 93 Loggiaelementen (vgl. Pkt. 5.9 und Tab. 2) mit einer Masse von 222 t weist im Rahmen der Wiederverwendung noch ökologische Vorteile auf im Vergleich zur Neuproduktion aller Betonelemente im Pilotvorhaben. Die Masse der wiederverwendungsfähigen bzw. bereitzustellenden Betonelemente würde sich um 222 t auf 2.211 (~ 10 %) verringern.

Auch zusätzliche TUL-Vorgänge, die ggf. mit berücksichtigt werden müssten, werden die klare Aussage der ökologischen Relevanz unwesentlich verändern.

7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Der hier vorliegende Zwischenbericht verdeutlicht den Sachstand per 12/2010.

Im Mittelpunkt des Forschungsvorhabens „Ökonomische und ökologische Bilanzierung des Transportes von Betonplattenbauteilen aus dem Rückbau von Wohnbauten in Deutschland in Länder Osteuropas und dortige Wiederverwendung beim Neubau von Wohngebäuden“ steht die Vorbereitung der Umsetzung des Pilotprojektes in Sankt Petersburg.

Als Standort für den Bau des Demonstrations-/Pilotprojektes ist seitens der russischen Projektpartner die Ortschaft Nevskaja Dubrovka, Landkreis Vzevolosk, ca. 70 km östlich von Sankt Petersburg entfernt, gewählt worden. In direkter Nachbarschaft zu vorhandenen Bebauungsstrukturen soll mit wiederverwendungsfähigen Betonbauteilen ein dreigeschossiges Mehrfamilienhaus mit einer Gesamtfläche von ca. 3.000 m², nicht unterkellert, errichtet werden.

Die Realisierung des Pilotprojektes ist als deutsch-russisches Gemeinschaftsvorhaben geplant. Investor ist die russische Baufirma „Petrostrojprojekt“ unter Mitwirkung von russischen Beratern und Direktoren für Unternehmensentwicklung. Auf deutscher Seite wurde eine bauausführende Firma als Kooperationspartner für das Vorhaben gewonnen, um bei den vorbereitenden Maßnahmen bis hin zur Umsetzung mitzuwirken. Die Fachgruppe Bauliches Recycling hat die (Wieder-)Neubaumaßnahme initiiert und begleitet das Vorhaben resp. den Bau des Pilotvorhabens wissenschaftlich. Nur durch die Unterstützung der DBU ist dies überhaupt möglich geworden.

Mit einem konkreten Maßnahmenbeginn ist im II. Quartal 2011 / spätestens III. Quartal 2011 zu rechnen. Notwendige Absichtserklärungen bzw. konkrete Kooperationsvereinbarungen zwischen den russischen und deutschen Projektpartnern stehen kurz vor dem Abschluss.

In Absprache mit den russischen Projektpartnern orientiert sich die Akquise von gebrauchsfertigen Betonelementen aus (Teil-)Rückbauvorhaben in Ostdeutschland auf das Bauteilsortiment der Typenserie WBS 70. Ein erstes WBS 70-Spendergebäude ist in Templin für das Pilotprojekt akquiriert. Der Teilrückbau erfolgt im Juni/Juli 2011.

Im Vorfeld ist durch die Fachgruppe Bauliches Recycling ein verfügbares Elementesortiment für das Pilotprojekt mit einer Fläche von rd. 3.000 m² zusammengestellt worden. Insgesamt werden 658 Betonelemente für das Pilotprojekt benötigt. Hierzu gehören Decken, Außen- und Innenwände, Drenpel-, Loggia- und Treppenelemente. Die Gesamtmasse aller Betonelemente beträgt ~ .433 t.

Ermittelt wurde, dass voraussichtlich zwei oder mehrere Rückbauvorhaben als potenzielle Spendergebäude heranzuziehen sind, um die Betonelementeanzahl (658) und das -sortiment bereit stellen zu können. Die Berechnungen zu den Kosten und zu den ökologischen Auswirkungen beziehen sich in der vorliegenden Studie daher auf zwei Rückbaustandorte mit unterschiedlichen Transportentfernungen.

Für den Bauteiltransport der Betonelemente nach Russland wurde folgende Vorzugsvariante ermittelt: Vorlauf per LKW, Schifftransport (RoRo-Fähre auf RoRo-Trailer) und Nachlauf per LKW. Als Hafen in Deutschland wurde der Fährhafen Sassnitz auf der Insel Rügen gewählt. Von dort gibt es eine reguläre Linienverbindung zum Hafen Sankt Petersburg.

Die Ermittlung der Transportkosten ergibt sich aus den angesetzten Tarifen deutscher und russischer Logistikunternehmen unter Beachtung festgelegter Rahmenbedingungen für den Transport.

Die Gesamtkosten der Wiederverwendung betragen rd. 285.000 €. Sie setzen sich aus den Vorbereitungskosten (Planung, Prüfung, Bereitstellung und Bauteilsäuberung der Betonelemente), den TUL-Kosten (angenommen: 100 km Vorlauf: 34.000 € (s. Tab. 4), 70 km Nachlauf, Fracht- und Hafengebühren), Zollgebühren sowie Wagnis & Gewinn zusammen (s. Tab. 9).

Die Kosten für vergleichbare, neue Betonelemente im Raum Sankt Petersburg belaufen sich auf rd. 488.000 €. Damit ergibt sich ein Kostenvorteil zugunsten der Wiederverwendung in Höhe von rd. 203.000 € (~ 42 % der Preise für neue Betonelemente).

In Abhängigkeit des Kostenvorteils von bspw. 40 % könnte das gesamte Elementesortiment (Mix an Bauteilgruppen) für das Pilotprojekt 122 km, bei bspw. 30 % 265 km bis zum Hafen Sassnitz transportiert werden.

Bei Betrachtung des gesamten benötigten Sortiments des Pilotprojektes können durch die Deckenplatten die größten Kostenersparnisse erzielt werden. Das Hauptsortiment, bestehend aus Deckenplatten, Innen- und Außenwandbauteile, deckt dabei ca. $\frac{3}{4}$ des Gesamtkostenvorteils ab.

Aus den ermittelten Kosteneinsparungen der Wiederverwendung für das Pilotprojekt (Mix an Bauteilgruppen) sind Rückschlüsse auf die einzelnen Bauteilgruppen ableitbar. Dies wurde im Hinblick auf Folgeprojekte betrachtet.

Im Ergebnis wurde festgestellt, dass sich der größte Kostenvorteil bei den Treppenbauteilen sowie Drempelementen ergibt. Bei einer festgesetzten Kostenersparnis der Wiederverwendung gegenüber der Neuteilproduktion von bspw. 40 % könnten Treppenelemente noch aus 471 km, Drempelemente noch aus 246 km bis zum Hafen Sassnitz transportiert werden. Hingegen ist der Vorlaufradius (Transportentfernung vom Spendergebäude bis zum Hafen) auf < 75 km begrenzt, um wenigstens einen 20 %-igen Kostenvorteil für die Bereitstellung der Loggiawände zu erreichen. Die maximalen Vorlaufstrecken bis zum Hafen der hauptsächlich zu verbauenden Betonelemente (Außen- und Innenwände sowie Decken) liegen jedoch bei einem festgesetzten Kostenvorteil von 30 % bei Außenbauteilen bei 257 km, bei Innenwänden bei 157 km und bei Deckenplatten 227 km (s. Tab. 16).

Die überschlägigen Berechnungen lassen den Schluss zu, dass die Wiederverwendung gebrauchter Betonbauteile, die im Norden Ostdeutschlands gewonnen und im Raum Sankt Petersburg zum Hausbau eingesetzt werden, wirtschaftlich vertretbar ist. Die Materialkosten zur Errichtung des Rohbaus können um 30 – 40 % reduziert werden.

Bezüglich der ökologischen Relevanz ist festzustellen, dass enorme Energie- und auch Emissionseinsparungen durch die Wiederverwendung der Betonbauteile erzielbar sind, obwohl die Betonelemente über 1.500 km transportiert werden müssen (Spenderort bis (Re)Montagebaustelle).

Die Energieaufwände, die sich aus den TUL-Prozessen für die Wiederverwendung der 658 Betonelemente ergeben, betragen rd. 1.800 GJ. Hingegen beläuft sich die Neuteilproduktion der 658 BE auf 5.640 GJ. Es ergibt sich in Summe eine Einsparung an Energie in Höhe von rd. 3.840 GJ (~ 68 %). D.h., lediglich ca. 1/3

der aufzuwendenden Energie zur Herstellung neuer Betonelemente wird benötigt. In den Berechnungen sind LKW-Transporte, der Schiffstransport sowie die Bauteilumschläge, auch die der Demontage der Betonelemente, berücksichtigt. Lässt man den Energieaufwand der Demontage (~ 382 GJ) außen vor, so beträgt der energetische Aufwand der TUL-Prozesse in Vorbereitung der Wiederverwendung der 658 Betonelemente nur rd. 30 % (~ 1.420 GJ) des erforderlichen Energieeinsatzes der Neuteilproduktion.

Die Emissionsbetrachtung ergab, dass die CO₂-Emissionswerte der Neuteilproduktion (658 BE) mit 959 t etwa 7,5-mal höher sind als die Bereitstellung der gebrauchten Betonelemente für das Pilotvorhaben – angeliefert aus Deutschland (rd. 127 t CO₂ → nur noch 13 % der Neuteilproduktion). Der SO₂-Ausstoß der Neuteilproduktion mit ~ 1.960 kg beträgt etwa das 3-fache gegenüber der Wiederverwendung mit 595 kg. Anstatt ~ 1.470 kg NO_x werden für die Bereitstellung rd. 890 kg emittiert, was einer NO_x-Einsparung von rd. 40 % entspricht.

Die voraussichtlichen Energie- und Emissionsreduzierungen sind außerordentlich exorbitant. Die Kosteneinsparungen sind so interessant, dass sich die Umsetzung des Pilotprojektes in jedem Fall lohnt. Konkrete Einsparungspotenziale sind jedoch erst nach der Realisierung des Pilotvorhabens tatsächlich nachweislich. Durch die begleitenden Untersuchungen wird es erst ermöglicht, weitere Optimierungsoptionen als auch Grenzen für die Wiederverwendung der Betonelemente aufzuzeigen.

Ferner ist in Fortführung des Forschungsvorhabens erstmals geplant, die ressourcenschonende Bauweise (Bauteilwiederverwendung) mit einer energieeffizienten Gebäudeplanung unter Einsatz von alternativen Energien zu vernetzen.

D.h., nicht nur die (Re)Montage der Rohbaukonstruktion des Mehrfamilienhauses aus den Betonbauteilen aus Ostdeutschland soll betrachtet / bewertet, sondern auch der energieeffiziente Ausbau soll angeregt und umgesetzt werden. Somit würde erstmalig eine effektive Vernetzung aus Ressourcen- und Energieeffizienz über die Landesgrenzen hinausgehend erprobt werden – ganz im Sinne der europäischen Gemeinschaft und den derzeit laufenden russischen staatlichen Programme im Bau- und Umweltsektor.

Die Weiterführung des Forschungsvorhabens mit wissenschaftlicher Begleitung lässt zum ersten Mal in allen Phasen der Wiederverwendung – von der Planung über die Gesteherung des Wohnhauses bis hin zum Betrieb / des Nutzens – zu, intelligente Konzepte noch umweltschonender auszurichten.

Die Frage, ob und unter welchen Randbedingungen die Wiederverwendung von Betonelementen aus Nachhaltigkeitsprämissen gegenüber der Verwendung von neuen Betonelementen sinnvoll ist, verlangt eine Verallgemeinerung und Abstrahierung des konkreten Pilotprojektes. Deshalb sind die Nutzenäquivalenz (politisch, rechtlich, logistisch, konstruktiv, technologisch, ökonomisch, ökologisch, soziologisch etc.) zu ermitteln. Herauszuarbeiten sind systemimmanente Unterschiede zwischen Wiederverwendung und Neuproduktion.

Im Ergebnis der Untersuchungen soll eine Handlungsempfehlung zum ressourcenschonenden und energieeffizienten Bauen vorliegen, um – über das Pilotprojekt hinausgehend – Impulse bzw. ein praktische Handreichung für Anschlussprojekte zu geben.

Abkürzungen

Abb.	Abbildung	KMF	künstliche Mineralfasern
Abs.	Absatz	L	Länge
Abschn.	Abschnitt	LB	Loggiabrüstungsplatte
AK	Arbeitskraft	LD	Loggiadeckenplatte
allg.	allgemein	lfdm.	laufender Meter
AW	Außenwand	li.	links
B	Breite	LKW	Lastkraftwagen / Sattelzug
BE	Betonelement	LS	Lehrstuhl
BE	Baustelleneinrichtung	lt.	Laut
bspw.	beispielsweise	LW	Loggiawand
BTF	Bauteilfläche	max.	maximal
BZ	Badzelle	MFH	Mehrfamilienhaus
bzgl.	bezüglich	min.	minimal
BZS	Bauzustandsstufe	min	Minute
bzw.	beziehungsweise	Mio.	Million(en)
ca.	circa	Mrd.	Milliarde(n)
D	Dicke	MwSt.	Mehrwertsteuer
d.h.	das heißt	n	Anzahl
De	Demontage	NG	Normalgeschoss
DG	Dachgeschoss	o.a.	oben aufgeführt
DP	Deckenplatte	o.g.	oben genannt
E	Energieaufwand	OG	Obergeschoss
EFH	Einfamilienhaus	PEI	Primärenergieinhalt
EG	Erdgeschoss	PK	Portalkran
einschl.	einschließlich	Pkt.	Punkt
et.al.	et alterae (und andere)	Po	Podest
etc.	et cetera	PSA	Persönliche Schutzausrüstung
FG	Fachgruppe	PVC	Polyvinylchlorid
FO	Forschung	RC	Recycling
FZK	Fahrzeugkran	rd.	rund
H	Höhe	Re	Remontage
Hrsg.	Herausgeber	re.	rechts
i.d.R.	in der Regel	resp.	respektive
i.M.	im Mittel	RoRo	Roll-on-Roll-off
inkl.	inklusive	Rub.	Russischer Rubel
IW	Innenwand	s.	siehe
K	Kosten	S.	Seite
k.A.	keine Angaben	sec	Sekunde
KG	Kellergeschoss	sog.	so genannt

spez.	spezifisch
Std.	Stunde
T	Transport
Tab.	Tabelle
TDK	Turmdrehkran
TP	Treppenpodest
TS	Treppenstufenelement
TUL	Transport-, Umschlag- und Lagerprozesse
u.a.	und andere
u.v.a.	und viele andere
usw.	und so weiter
v.a.	vor allem
Var.	Variante
VEB	Volkseigener Betrieb
vgl.	vergleiche
WBK	Wohnungsbaukombinat
WBS	Wohnbauserie
WBS 70	Wohnbauserie 70
WE	Wohneinheit(en)
Wfl.	Wohnfläche
WV	Wiederverwendung
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil
zul.	zulässig

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Siedlung Nevskaja Dubrovka östlich von Sankt Petersburg	4
Abb. 2: Siedlung Nevskaja Dubrovka. Blick auf Bebauungsgebiet.....	4
Abb. 3: Vergleich der Anzahl verbauter Betonfertigteile je Wohneinheit in Abhängigkeit des Gebäudetyps	7
Abb. 4: WBS 70 - Verbautes Betonelementesortiment je Wohneinheit (Normalgeschoss).....	8
Abb. 5: Vereinfachte Darstellung Grundriss Normalgeschoss WBS 70 (Wandplan, 3 Sektionen)	10
Abb. 6: Beispiel eines Spendergebäudes der Typenserie WBS 70 (Templin). Ansicht von SW	14
Abb. 7: Beispiel eines Spendergebäudes der Typenserie WBS 70 (Templin). Ansichten SO / N	14
Abb. 8: Übersicht zu hauptsächlich eingesetzten Transportmitteln und -hilfsmitteln	15
Abb. 9: Transportkonzept des Wiederverwendungsvorhabens in Nevskaja Dubrovka	16
Abb. 10: Übersichtskarte des Linienverkehrs per Schiff nach Sankt Petersburg.....	18
Abb. 11: Rolltrailer für RoRo-Fähre im Hafen Sassnitz 40' Länge (li.) und Rostock 60' (re.) Länge	19
Abb. 12: Variante mit max. Beladung eines 40'RoRo-Trailers (95 t) mit 27 Deckenplatten (B x L: 1,80 x 6,00 m), Darstellung ohne Ladungssicherung	20
Abb. 13: Variante der Beladung eines 40'RoRo-Trailers mit 10 Außenwänden (L: 6,00 m) mit Überhang, Darstellung ohne Ladungssicherung	20
Abb. 14: Kostenzusammensetzung: Vorbereitung der BE zur Wiederverwendung / Transport der Altbetonbauteile.....	37
Abb. 15: Vergleich von Transportkosten für das angesetzte Betonelementesortiment mit Bereitstellungspreisen vergleichbarer Stahlbetonfertigteile im Leningrader Gebiet	39
Abb. 16: Darstellung des resultierenden Betrages und maximalen Vorlaufstrecke bei einem Kostenvorteil von 10 %	43
Abb. 17: Darstellung des resultierenden Betrages und maximalen Vorlaufstrecke bei einem Kostenvorteil von 20 %	43
Abb. 18: Darstellung des resultierenden Betrages und maximalen Vorlaufstrecke bei einem Kostenvorteil von 30 %	46
Abb. 19: Darstellung des resultierenden Betrages und maximalen Vorlaufstrecke bei einem Kostenvorteil von 40 %	46
Abb. 20: Darstellung des resultierenden Betrages und maximalen Vorlaufstrecke bei einem Kostenvorteil von 50 %	48
Abb. 21: Darstellung der Vorlaufstrecken für hauptsächliche Bauteilgruppen in Abhängigkeit der festgesetzten Kosteneinsparung	50
Abb. 22: Voraussichtliche durchschnittliche Kostenersparnis pro m ² Bauteilgruppe der Bauteilgruppen bei variierender Vorlaufstrecke	56
Abb. 23: Darstellung der maximalen Vorlaufstrecken des gesamten Bauteilsortimentes für das zu errichtende Pilotgebäude (Wiederverwendung von 658 Betonelementen)	58
Abb. 24: Darstellung der ermittelten Kosteneinsparungen bei einem Rückbaustandort in Rostock	60
Abb. 25: Darstellung der ermittelten Kosteneinsparungen bei einem Rückbaustandort in Templin	61
Abb. 26: Darstellung der ermittelten Kosteneinsparungen bei einem Rückbaustandort in Berlin.....	62

Abb. 27: Darstellung der ermittelten Kosteneinsparungen bei einem Rückbaustandort in Cottbus.....	63
Abb. 28: Darstellung der ermittelten Kosteneinsparungen bei einem Rückbaustandort in Chemnitz.....	64
Abb. 29: Gegenüberstellung der ermittelten Kostenersparnisse für ausgewählte Rückbaustandorte.....	65
Abb. 30: Gegenüberstellung der ermittelten Kosteneinsparungen in EURO für ausgewählte Rückbaustandorte.....	66
Abb. 31: Darstellung der voraussichtlich erzielbaren Kosteneinsparungen durch die Bereitstellung gebrauchter Betonelemente gegenüber neuen Betonelementen für unterschiedliche Spenderstandortkombinationen	72
Abb. 32: Anteile der Bauteilgruppen am Gesamtkostenvorteil am Fallbeispiel Rostock + Templin im Vergleich zu neuen Betonbauteilen im Raum Sankt Petersburg.....	74
Abb. 33: Energieaufwand KEA [GJ] für die einzelnen Transportprozesse von 658 BE (2.433 t).....	80
Abb. 34: Energieaufwand KEA je Betonelement [MJ/t] für die einzelnen Transportprozesse von 658 BE (2.433 t).....	80
Abb. 35: Energieaufwand für den Prozess Bauteilumschlag (5 Umschläge)	89
Abb. 36: Energieaufwand für den Bauteilumschlag pro t BE (5 Umschläge)	89
Abb. 37: Gegenüberstellung Energieaufwand Betonneuteilbereitstellung (RU) / Transport und Umschlag Betonelemente (2.433 t).....	94
Abb. 38: Gegenüberstellung atmosphärisch relevanter Emissionen der Neuteilproduktion und der Transportkombination LKW- und Seetransport für die Bereitstellung von 2.433 t Betonbauteilen	95

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Bewertung Eignung rückgebauter Bauteile zur Wiederverwendung aus bautechnischer Sicht	9
Tab. 2: Betonelementesortiment (WBS 70/11) zur Errichtung Wohngebäudes (ca. 3.000 m ² Grundfläche).....	11
Tab. 3: Zusammenfassung der Transportkosten für den Transport der Betonelemente über den Fährhafen Sassnitz nach Sankt Petersburg.....	26
Tab. 4: Kalkulation der Transportkosten für das ausgewählte Betonelementesortiment.....	28
Tab. 5: Durchschnittliche Transportkosten pro Betonelement für den Transport des angesetzten Sortiments im Pilotprojekt	29
Tab. 6: Vergleich Transportkosten Betonelementesortiment - 3,00 m bzw. 1,80 m breite Deckenplatten	30
Tab. 7: Aktuelle Katalogpreise für vergleichbare neue Betonelemente im Leningrader Gebiet.....	32
Tab. 8: Vorbereitungskosten der Altbetonbauteile des Pilotprojektes (bauelementebezogen).....	35
Tab. 9: Vorbereitungs-, Transportkosten und Wagnis & Gewinn (Gesamtbauelementesumme)	36
Tab. 10: Einsparungseffekte an Kosten je Betonelement (Neuteilpreise – Kosten der Bereitstellung)	38
Tab. 11: Berechnung der maximalen Vorlaufstrecken des Einzelbauteils für die Erzielung eines Kostenvorteils von 10 %.....	41
Tab. 12: Berechnung der maximalen Vorlaufstrecken des Einzelbauteils für die Erzielung eines Kostenvorteils von 20 %.....	42
Tab. 13: Berechnung der maximalen Vorlaufstrecken des Einzelbauteils für die Erzielung eines Kostenvorteils von 30 %.....	44
Tab. 14: Berechnung der maximalen Vorlaufstrecken des Einzelbauteils für die Erzielung eines Kostenvorteils von 40 %.....	45
Tab. 15: Berechnung der maximalen Vorlaufstrecken des Einzelbauteils für die Erzielung eines Kostenvorteils von 50 %.....	47
Tab. 16: Zusammenfassung der maximalen Vorlaufstrecken der Bauteilgruppen in Abhängigkeit der festgesetzten Kosteneinsparungen	50
Tab. 17: Untersuchte Einzugsgebiete, Vorlaufstrecken und optionale Rückbaustandorte	52
Tab. 18: Voraussichtliche Kostenersparnis pro Einzelbauteil in Prozent bei variierender Vorlaufstrecke	53
Tab. 19: Voraussichtliche Kostenersparnis pro Einzelbauteil in EURO bei variierender Vorlaufstrecke	54
Tab. 20: Voraussichtliche Kostenersparnis pro Quadratmeter Einzelbauteil bei variierender Vorlaufstrecke	55
Tab. 21: Voraussichtliche durchschnittliche Kostenersparnis pro m ² Bauteilfläche der Bauteilgruppen bei variierender Vorlaufstrecke	56
Tab. 22: Ermittlung der maximalen Vorlaufstrecken des gesamten Bauteilsortimentes für den Bau des Pilotprojektes in Abhängigkeit festgesetzter Kostenersparnisse	57
Tab. 23: Ermittlung der voraussichtlichen Kosteneinsparungen bei einem Rückbaustandort in Rostock	60

Tab. 24: Ermittlung der voraussichtlichen Kosteneinsparungen bei einem Rückbaustandort in Templin.....	61
Tab. 25: Ermittlung der voraussichtlichen Kosteneinsparungen bei einem Rückbaustandort in Berlin	62
Tab. 26: Ermittlung der voraussichtlichen Kosteneinsparungen bei einem Rückbaustandort in Cottbus	63
Tab. 27: Ermittlung der voraussichtlichen Kosteneinsparungen bei einem Rückbaustandort in Chemnitz	64
Tab. 28: Ermittlung voraussichtlicher Kosteneinsparungen am Fallbeispiel Spenderstandorte Rostock + Templin.....	68
Tab. 29: Ermittlung voraussichtlicher Kosteneinsparungen am Fallbeispiel Spenderstandorte Neubrandenburg + Berlin	69
Tab. 30: Ermittlung voraussichtlicher Kosteneinsparungen am Fallbeispiel Spenderstandorte Schwedt + Frankfurt/Oder	70
Tab. 31: Ermittlung voraussichtlicher Kosteneinsparungen am Fallbeispiel Spenderstandorte Berlin + Chemnitz	71
Tab. 32: Zusammenfassung der voraussichtlich erzielbaren Kosteneinsparungen für ausgewählte Rückbau-Fallbeispiele	72
Tab. 33: Energieaufwand der Neuteilproduktion von neuen bewehrten Betonfertigteilen (ab Werk)	76
Tab. 34: Energieaufwände der verschiedenen Transportmittel	78
Tab. 35: Energieaufwand Kombination LKW-Transport und Seetransport (RoRo-Fähre).....	79
Tab. 36: Durchschnittswerte ermittelter Kranspielzeiten für das Be- und Entladen von Betonelementen mittels FZK	82
Tab. 37: Energieaufwand Einsatz FZK auf der Rückbaubaustelle in Abhängigkeit der Transportleistung (Ansatz 1).....	83
Tab. 38: Energieaufwand Einsatz FZK auf der Rückbaubaustelle in Abhängigkeit mittlerer Kranspielzeiten (Ansatz 2) .	84
Tab. 39: Überschlägiger Energieaufwand Einsatz FZK auf der (Re)Montagebaustelle in Abhängigkeit der Transportleistung (Ansatz 1)	85
Tab. 40: Energieaufwand Einsatz FZK auf der (Re)Montagebaustelle in Abhängigkeit mittlerer Kranspielzeiten (Ansatz 2)	86
Tab. 41: Energieaufwand Portalkran-Einsatz im Hafen Sassnitz – Entladen LKW / Beladen RoRo-Trailer (Umschlag 3).....	87
Tab. 42: Energieaufwand Portalkran-Einsatz im Hafen Sankt Petersburg – Entladen RoRo-Trailer / Beladen LKW (Umschlag 4).....	88
Tab. 43: Energetisch bedingte Emissionen zur Neuherstellung von Fertigteilbeton.....	90
Tab. 44: Energetisch bedingte Emissionen der eingesetzten Transportmittel.....	91
Tab. 45: Energetisch bedingte Emissionen der Kombination LKW-Transport, RoRo-Zugmaschine und RoRo-Fähre	91
Tab. 46: Emissionsdaten für die Energie- und Strombereitstellung (GEMIS 4.5, 2009).....	92
Tab. 47: Energiebedingter Ausstoß von Emissionen für den Bauteilumschlag (5 Umschläge).....	92

Literaturverzeichnis

Bundesvorstand des FDGB (Hrsg.): Montage von Fertigteilen, Verlag Tribüne Berlin, 1970.

Datenblatt Stapelrechen (Transport) Typ Berlin, Zeichn.-Nr. 110-01.00.00, WBK Berlin, 1973.

Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau e.V. (Hrsg.): Merkblatt zur Ladungssicherung von konstruktiven Betonfertigteilen (Nr. 9), Bonn, 09/2010.

GEMIS - Emissions-Modells Integrierter Systeme, Version 4.5, 2009.

Graf, Ulrich; Koch, Volker; Spitzley, Helmut: Woher kommt unsere Energie? Von der Primärenergie zur Energiedienstleistung, Modulares Schulinformationssystem Energie (Hrsg.), Bremen 1995.

Günther, Matthias; Hübl, Lothar: Wohnungsmangel in Ostdeutschland? Regionalisierter Wohnungsbedarf bis zum Jahr 2005, Studie des Eduard Pestel Instituts, 03/2009.

Heuer, H.; Gubany, J.; Hinrichsen, G.: Baumaschinen Taschenbuch - Ratgeber für die Baupraxis, 4. Auflage, Bauverlag 1994.

Lüdtke, Moritz: Kostenuntersuchungen zum Einsatz von Altbetonteilen anhand eines Referenzobjektes, Diplomarbeit am Lehrstuhl Altlasten, Fachgruppe Bauliches Recycling, BTU Cottbus, 11/2007 (unveröffentlicht).

Mettke, Angelika (Hrsg.): Wiederverwendung von Plattenbauteilen in Osteuropa, Endbericht – Bearbeitungsphase I, 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), Fachgruppe Bauliches Recycling, Lehrstuhl Altlasten, BTU Cottbus, 2008.

Mettke, A.; Heyn, S.; Asmus, S. et.al.: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf, Teil 1: Krangeführter Rückbau, gefördert vom BMBF (AFKZ 0339972), BTU Cottbus, Lehrstuhl Altlasten, Fachgruppe Bauliches Recycling, Cottbus, 01/2008.

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 (Hrsg.): Elementekatalog. Übersicht: Elementesortiment des Typs WBS 70 am Beispiel Gebäudetyp WBS 70/11, Fachgruppe Bauliches Recycling, Lehrstuhl Altlasten, BTU Cottbus, 2007.

Mettke, A.: Habilitationsschrift, Ökonomische und ökologische Bewertung von mineralischen Bauabfällen und –produkten, Pkt. 9: Ökonomische Bewertung des Produktrecyclings vs. Neubau, BTU Cottbus, November 2009.

Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente (ProBas), Umweltbundesamt und Öko-Institut (Hrsg.), <http://www.probas.umweltamt.de>.

Projektierungsunterlagen / Montagepläne WBS 70 C 7.1 5- und 6-geschossig, VEB(B) WBK Neubrandenburg, KB Projektierung, Angebotsprojektierung, 1981-1988.

Russische Bundesagentur für Bauwesen und Kommunalwirtschaft (Hrsg.): Katalog der Voranschlagspreise im Bauwesen, Basispreise ab 2000.

Transportunternehmen A: Frachtkontor Junge & Co. GmbH, Rostock / Sassnitz-Neu Mukran, Angebotschreiben vom 03.02.2010.

Transportunternehmen B: TransLog GmbH, Sankt Petersburg, Angebotsschreiben vom 08.02.2010.

<http://www.maps.google.de/maps>

<http://www.panoramio.com/photo/6563299>

<http://www.probas.umweltamt.de>

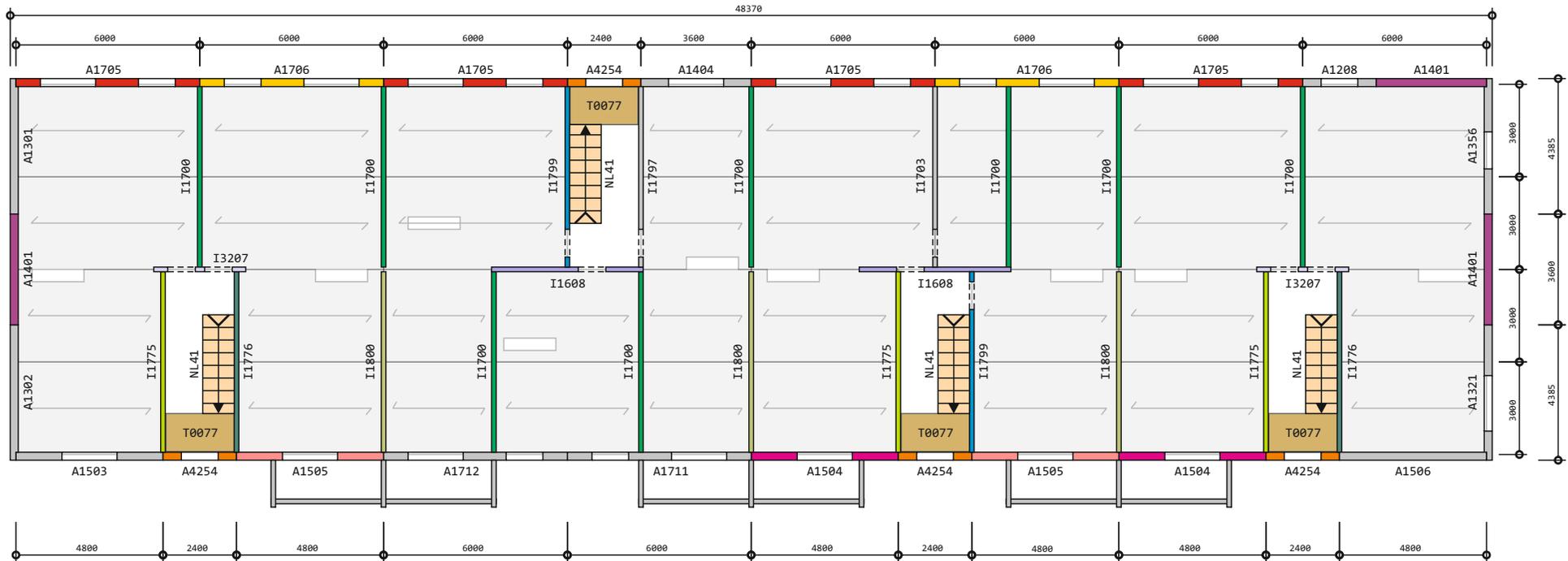
Anlagen

- Anlage 1.1** **Templin, Stahl-Goder-Straße 1 - 4, Grundriss 5. Obergeschoss**
- Anlage 1.2** **Templin, Stahl-Goder-Straße 1 - 4, Grundriss 6. Obergeschoss**
- Anlage 1.3** **Templin, Stahl-Goder-Straße 1 - 4, Deckenplan 5. Obergeschoss**
- Anlage 1.4** **Templin, Stahl-Goder-Straße 1 - 4, Deckenplan 6. Obergeschoss**
- Anlage 1.5** **Templin, Stahl-Goder-Straße 1 - 4, Elementeliste 5. und 6. OG**
- Anlage 2.1 – 2.5** **Schiffstransport der WBS 70-Betonelemente – Beladungsvorschlag
der RoRo-Trailer (Fährhafen Sassnitz – Hafen Sankt Petersburg)**

TEMPLIN
Strahl-Goder-Straße 1-4

Etagenfläche 576 m²

5. OG
Wandelemente
Treppenelemente



Außenwandelemente

Elem.-Nr.	Anzahl	Elem.-Nr.	Anzahl
A1208	1	A1504	2
A1301	1	A1505	2
A1302	1	A1506	1
A1321	1	A1705	4
A1356	1	A1706	2
A1401	3	A1711	1
A1404	1	A1712	1
A1503	1	A4254	4

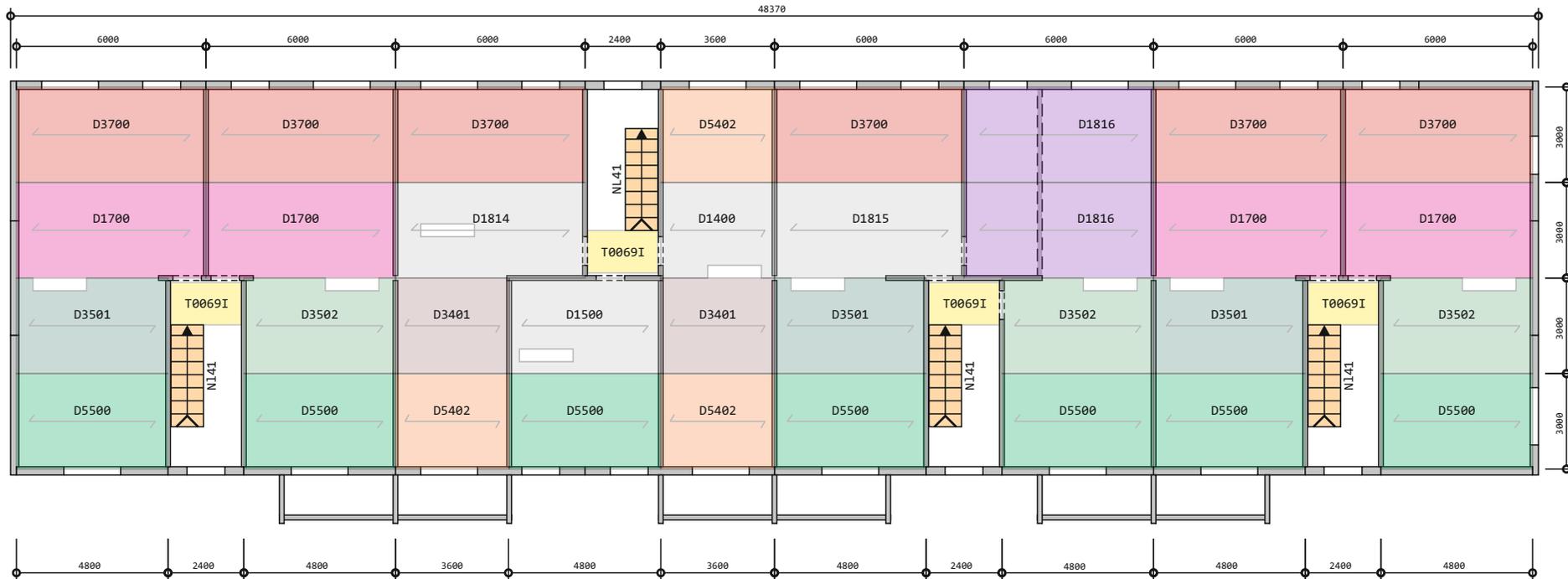
Innenwandelemente

Elem.-Nr.	Anzahl
I1608	2
I1700	8
I1703	1
I1775	3
I1776	2
I1797	1
I1799	2
I1800	3
I3207	2

Treppenelemente

Elem.-Nr.	Anzahl
T0077	4
NL41	4

*Wand- und Treppenelemente, die mehr als ein mal pro Etage vorkommen, sind entsprechend in gleichen Farben hervorgehoben.



Deckenelemente

Elem.-Nr.	Anzahl	Elem.-Nr.	Anzahl
D1400	1	D3502	3
D1500	1	D3700	6
D1700	4	D5402	3
D1814	1	D5500	7
D1815	1		
D1816	2		
D3401	2		
D3501	3		

Treppenelemente

Elem.-Nr.	Anzahl
T0069I	4
NL41	4

*Decken- und Treppenelemente, die mehr als ein mal pro Etage vorkommen, sind entsprechend in gleichen Farben hervorgehoben.

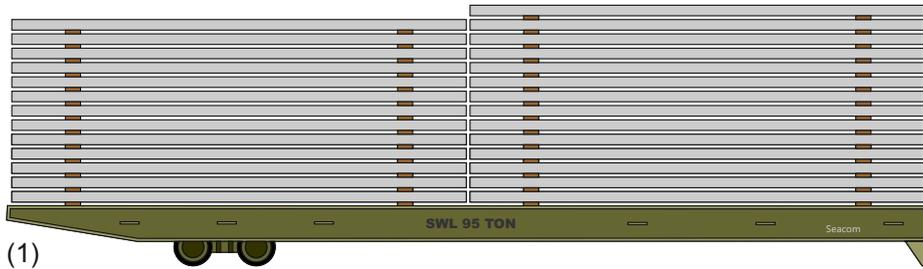
Templin, Stahl-Goder-Straße 1-4

Liste potentiell wiederverwendungsgeeigneter WBS 70-Betonelemente (4 Sektionen, 5. und 6. OG)

Pos.	Elem.-Nr. lt. Projektierung	Systemmaße [m]	Anzahl maximal verfügbarer Elemente	Anmerkungen
Deckenplatten				
1.	D1700, D1814, D1815, D1816, D3700	6,00 x 3,00 x 0,14	14	Spannbeton
2.	D1500, D3401, D3501, D3502, D5500	4,80 x 3,00 x 0,14	14	Stahlbeton
3.	D1400, D3401, D5402	3,60 x 3,00 x 0,14	6	Stahlbeton
Außenwandelemente				
4.	A1705, A1706	6,00 x 2,80 x 0,26	12	2 Fenster
5.	A1711, A1712	6,00 x 2,80 x 0,26	4	2 Fenster, Balkontür
6.	A1503, A1504, A1505, A1506	4,80 x 2,80 x 0,26	12	mit/ohne Fenster/Balkontür
7.	A1401, A1404	3,60 x 2,80 x 0,26	8	Giebelaußenwand/Eckelement, mit Fenster (A1404)
8.	A4254	2,40 x 2,80 x 0,26	8	Treppenhausaußenwand, 2 Fenster
9.	A1208	2,40 x 2,80 x 0,26	2	mit Fenster
10.	A1301, A1302, A1321, A1356	4,40 x 2,80 x 0,26	8	Giebelaußenwand mit/ohne Fenster
Innenwandelemente				
11.	I1700, I1775, I1776, I1800	5,80 x 2,60 x 0,15	32	
12.	I1703, I1706, I1797, I1799	5,80 x 2,60 x 0,15	8	Innenwand mit Tür
Treppenelemente				
13.	T0069I, T0077	2,20 x 1,10 x 0,19	8	Treppenpodest
14.	NL41	2,80 x 1,00 x 0,19	8	Treppenstufenelement
Gesamt verfügbare Betonelemente Fallbeispiel-Teilrückbauobjekt (WBS 70)			∑ 144	(Teilrückbau 4 Sektionen, 5. und 6. OG)

**Schifftransport der WBS 70-Betonelemente - Beladungsvorschlag 40'RoRo-Trailer
(Fährhafen Sassnitz - Hafen St. Petersburg)**

Betonelementesortiment für Pilotvorhaben "Dubrovka" / Σ 32 RoRo-Trailer MA40-60t / MA40-95t
(658 Betonelemente)

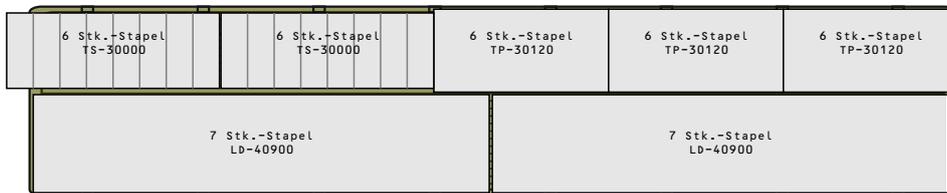


(1)

11 x MA40-95t

297 x DP-20040

pro MA40:
27 x DP-20040 á 3,42 t
m_{netto} = 92,34 t



(2)

MA40-95t

12 x TS-30000 á 1,5 t = 18 t
18 x TP-30120 á 1,03 t = 18,54 t
14 x LD-40900 á 3,71 t = 51,94 t
m_{netto} = 88,48 t



(3)

MA40-60t

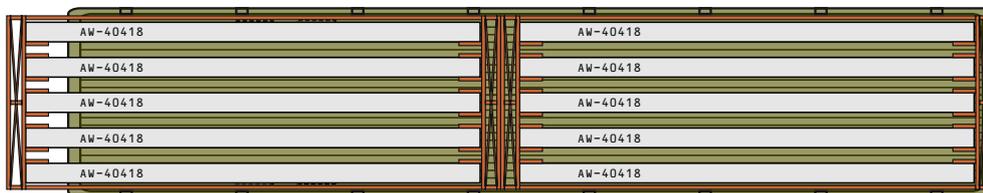
6 x TS-30000 á 1,5 t = 9 t
13 x LD-40900 á 3,71 t = 48,23 t
m_{netto} = 57,23 t



(4)

MA40-95t

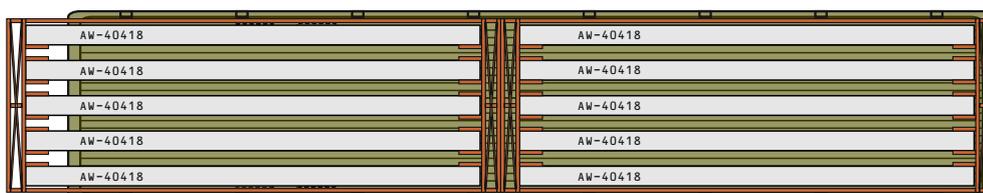
9 x TP-30201 á 4,88 t = 43,92 t
3 x AW-40418 á 5,8 t = 17,4 t
5 x IW-50500 á 5,45 t = 27,25 t
m_{netto} = 88,57 t



(5)

MA40-60t

10 x AW-40418 á 5,8 t
m_{netto} = 58 t

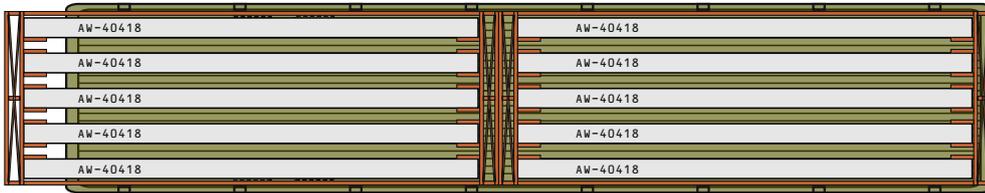


(6)

MA40-60t

10 x AW-40418 á 5,8 t
m_{netto} = 58 t

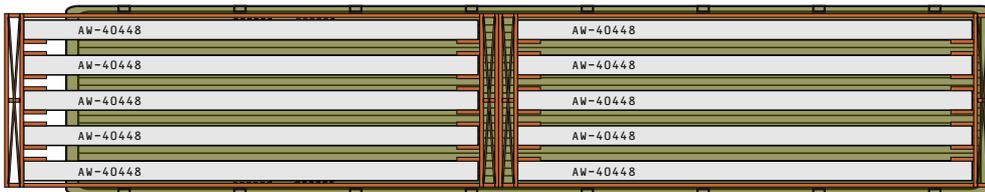
Schifftransport der WBS 70-Betonelemente - Beladungsvorschlag 40'RoRo-Trailer
(Fährhafen Sassnitz - Hafen St. Petersburg)



(7)

MA40-60t

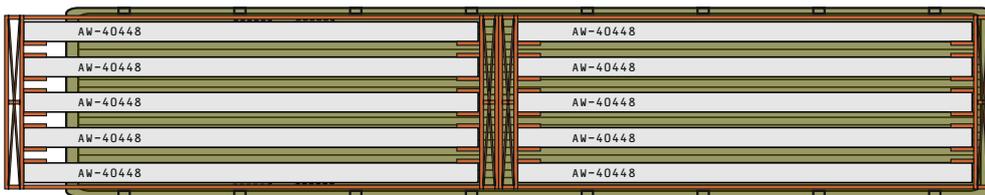
10 x AW-40418 á 5,8 t
 $m_{\text{netto}} = 58 \text{ t}$



(8)

MA40-60t

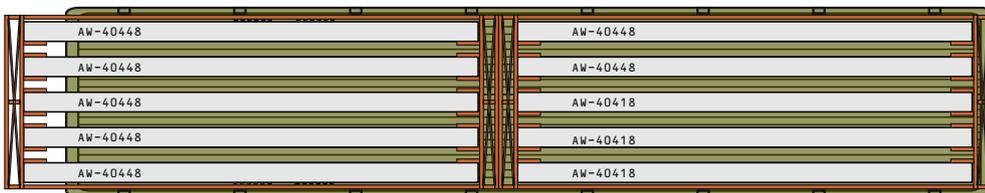
10 x AW-40448 á 5,65 t
 $m_{\text{netto}} = 56,5 \text{ t}$



(9)

MA40-60t

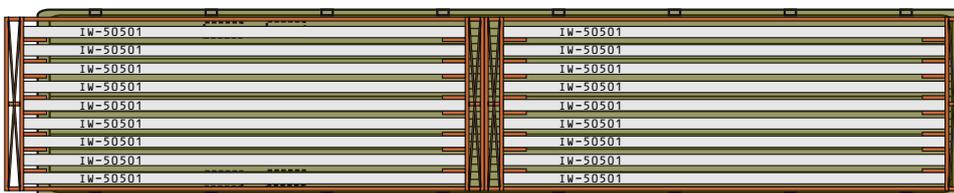
10 x AW-40448 á 5,65 t
 $m_{\text{netto}} = 56,5 \text{ t}$



(10)

MA40-60t

7 x AW-40448 á 5,65t = 39,55 t
3 x AW-40418 á 5,8 t = 17,4 t
 $m_{\text{netto}} = 56,95 \text{ t}$



(11)

MA40-95t

18 x IW-50501 á 4,86 t
 $m_{\text{netto}} = 87,48 \text{ t}$

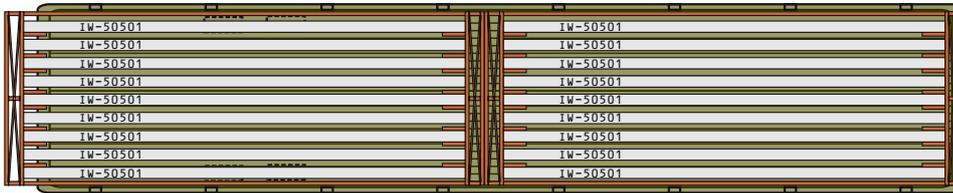


(12)

MA40-95t

18 x IW-50501 á 4,86 t
 $m_{\text{netto}} = 87,48 \text{ t}$

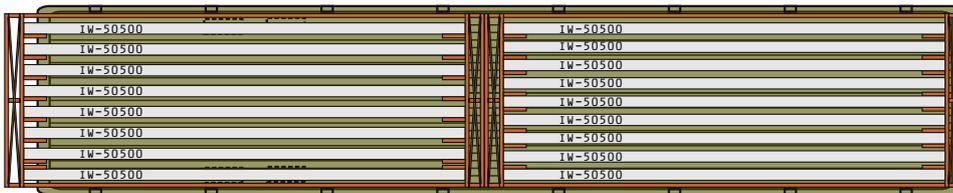
Schifftransport der WBS 70-Betonelemente - Beladungsvorschlag 40'RoRo-Trailer
(Fährhafen Sassnitz - Hafen St. Petersburg)



(13)

MA40-95t

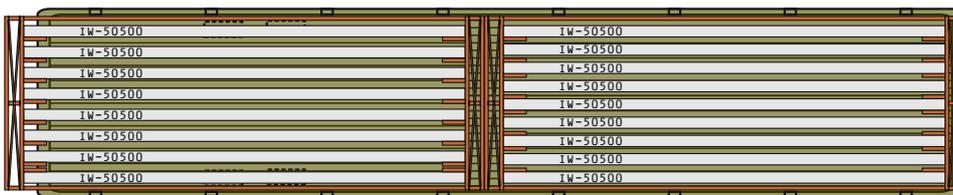
18 x IW-50501 á 4,86 t
m_{netto} = 87,48 t



(14)

MA40-95t

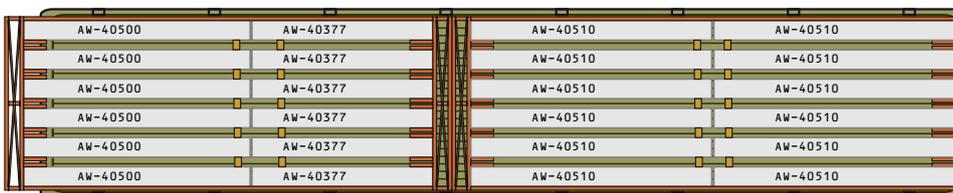
17 x IW-50500 á 5,45 t
m_{netto} = 92,65 t



(15)

MA40-95t

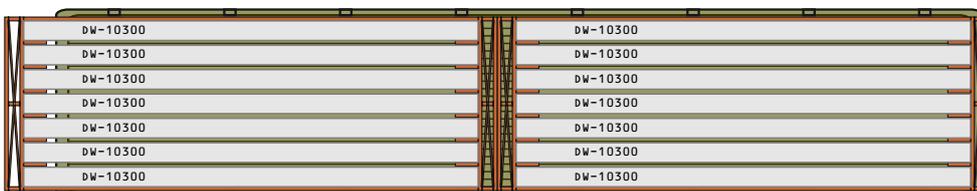
17 x IW-50500 á 5,45 t
m_{netto} = 92,65 t



(16)

MA40-95t

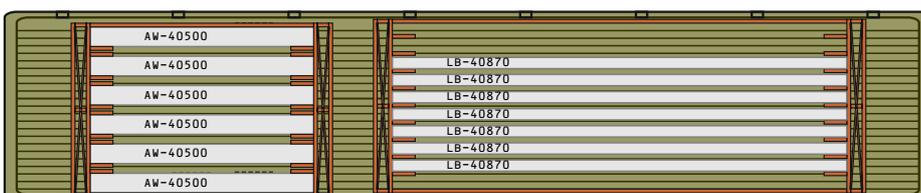
12 x AW-40510 á 3,97 t = 47,64 t
6 x AW-40500 á 3,96 t = 23,76 t
6 x AW-40377 á 2,16 t = 12,96 t
m_{netto} = 84,36 t



(17)

MA40-60t

14 x DW-10300 á 4,26 t
m_{netto} = 59,64 t



(18)

MA40-60t

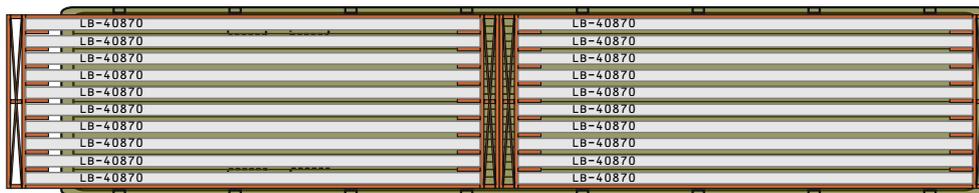
6 x AW-40500 á 3,96 t = 23,76 t
7 x LB-40870 á 2,48 t = 17,36 t
m_{netto} = 41,12 t

**Schiffstransport der WBS 70-Betonelemente - Beladungsvorschlag 40' RoRo-Trailer
(Fährhafen Sassnitz - Hafen St. Petersburg)**



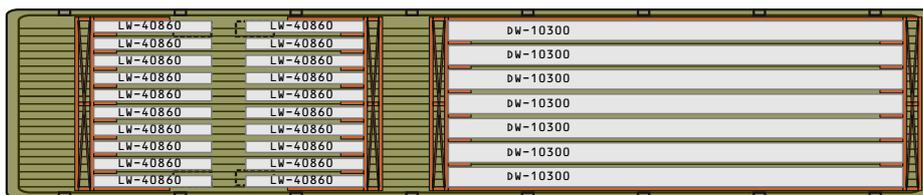
(19)

MA40-60t
 9 x AW-40390 á 4,78 t = 43,02 t
m_{netto} = 43,78 t



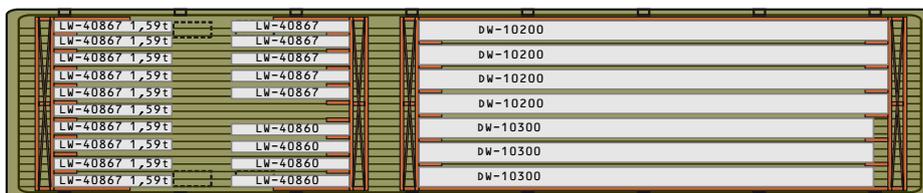
(20)

MA40-60t
 20 x LB-40870 á 2,48 t
m_{netto} = 49,6 t



(21)

MA40-60t
 7 x DW-10300 á 4,26 t = 29,82 t
 20 x LW-40860 á 1,3 t = 26 t
m_{netto} = 55,82 t



(22)

MA40-60t
 4 x DW-10200 á 4,02 t = 16,08 t
 3 x DW-10300 á 4,26 t = 12,78 t
 15 x LW-40867 á 1,59 t = 23,85 t
 4 x LW-40860 á 1,3 t = 5,2 t
m_{netto} = 57,91 t

Gesamt: Σ 32 RoRo-Trailer (40')

davon

19 Trailer mit max. Zuladung von 95 t (MA40-95t)

13 Trailer mit max. Zuladung von 60 t (MA40-60t)

**Schiffstransport der WBS 70-Betonelemente - Beladungsvorschlag 40' RoRo-Trailer
(Fährhafen Sassnitz - Hafen Sankt Petersburg)**

Anzahl RoRo-Trailer	Elementesortiment	RoRo-Trailer (Ausführungsart)	lfd. Nr. (s. Anlage 2.1 – 2.4)
Wandtransport (stehend)			
1	Trailer für Außenwände	MA40-95t	16
5	Trailer für Innenwände	MA40-95t	11, 12, 13, 14, 15
7	Trailer für Außenwände	MA40-60t	5, 6, 7, 8, 9, 10, 19
1	Trailer für Außenwände in Kombination mit Loggiabrüstungsplatten	MA40-60t	18
1	Trailer für Außenwände in Kombination mit Innenwänden und Treppenpodesten	MA40-95t	4
1	Trailer für Loggiabrüstungsplatten	MA40-60t	20
1	Trailer für Drempelelemente	MA40-60t	17
2	Trailer für Drempelelemente und Loggiawände	MA40-60t	21, 22
Transport Deckenplatten (liegend)			
11	Trailer für Deckenplatten	MA40-95t	1
Transport Deckenplatten (liegend)			
1	Trailer für Treppenstufen, -podeste und Loggiadecken	MA40-95t	2
1	Trailer für Treppenstufen und Loggiadecken	MA40-60t	3
Σ 32 RoRo-Trailer (40')			