

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Einleitung..... | 7 |
| 1.1. | Zum Projekt ReMoMaB | 7 |
| 1.2. | Allgemeines | 7 |
| 1.3. | Problemstellung | 7 |
| 1.4. | Ziel des Forschungsvorhabens | 8 |
| 2. | Theoretische Grundlagen für ReMoMaB..... | 11 |
| 2.1. | Systemisches Denken | 11 |
| 2.1.1. | System „Bauwerk“ und System „Bauen“ | 11 |
| 2.1.2. | Bauwesen und Technische Produkte..... | 11 |
| 2.1.3. | Prozesse und Phasen..... | 12 |
| 2.1.4. | Modularer Aufbau | 14 |
| 2.2. | Strukturebenen | 14 |
| 2.2.1. | Baustruktur..... | 14 |
| 2.2.2. | Bauweise | 15 |
| 2.2.3. | Austauschcluster..... | 17 |
| 2.2.4. | Baugruppe | 17 |
| 2.2.5. | Bauteil | 18 |
| 2.2.6. | Material | 18 |
| 2.3. | Verbindungstechnik | 19 |
| 2.3.1. | Verbindung „Modul-Modul“ und „Schicht-Schicht“ | 19 |
| 2.3.2. | Verbindungsarten | 20 |
| 2.3.3. | Demontageeigenschaften und Design for Disassembly..... | 22 |
| 2.3.4. | Demontageprozesse | 24 |
| 2.3.5. | Rationalisierung und Effizienzsteigerung | 26 |
| 2.4. | Breitenanwendung..... | 28 |
| 2.4.1. | Standardisierung und Individualisierung..... | 28 |
| 2.4.2. | Basisbauteil und Plattformprinzip..... | 29 |
| 2.5. | Recyclingfähigkeit | 30 |
| 2.5.1. | Demontage und Aufbereitung..... | 30 |
| 2.5.2. | Arten des Recycling | 31 |
| 2.5.3. | Lebenszyklusbetrachtungen | 33 |
| 2.6. | Zusammenfassung Abschnitt 2 | 34 |
| 2.6.1. | Begriffsdefinitionen und Festlegungen | 34 |
| 2.6.2. | Schematische Grundprinzipien..... | 35 |
| 2.6.3. | Bewertungsmatrix..... | 40 |
| 3. | Rahmenbedingungen und Zielmarken..... | 43 |
| 3.1. | Konstruktive Durchbildung..... | 43 |
| 3.1.1. | Zur Baukonstruktion | 44 |
| 3.1.2. | Tragwerk und statisches System..... | 45 |
| 3.1.3. | Lastweiterleitung, Standsicherheit und Aussteifung | 46 |
| 3.1.4. | Gebäudeaussteifung | 47 |
| 3.1.5. | Optimierung von Tragwerken | 50 |
| 3.2. | Einteilung nach Bauelementen | 51 |
| 3.3. | Außenwand..... | 52 |
| 3.3.1. | Fassaden im Massivbau | 53 |
| 3.3.2. | Verbindung „Schicht-Schicht“: Vorhangfassade..... | 54 |
| 3.3.3. | Zur Massivwand in Mauerwerk..... | 55 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 3.3.4. | Funktion von Mauerstein und Mauerfuge | 56 |
| 3.3.5. | Mechanische Beanspruchungen im Mauergefüge..... | 57 |
| 3.4. | Trockenmauerwerk | 63 |
| 3.4.1. | Eigenschaften und Stand der Technik | 63 |
| 3.4.2. | Vorteile | 64 |
| 3.4.3. | Nachteile | 65 |
| 3.4.4. | Mechanisches Verhalten von Trockenmauerwerk | 66 |
| 3.4.5. | Potenzial und notwendige Modifikationen von Trockenmauerwerk..... | 72 |
| 3.5. | Geschossdecken | 73 |
| 3.5.1. | Anforderung, Einteilung..... | 73 |
| 3.5.2. | Massivdecken | 75 |
| 3.5.3. | Stahl – Stein - Decken | 76 |
| 3.5.4. | Potenzial und notwendige Modifikationen von Stahl – Stein - Decken | 78 |
| 3.6. | Der Wand – Decken – Knoten | 79 |
| 3.7. | Vorspannung | 82 |
| 3.7.1. | Vorspannung im Mauerwerksbau..... | 84 |
| 3.7.2. | Vorspannung ohne Verbund | 87 |
| 3.7.3. | Notwendige Modifikationen an bestehenden Systemen | 88 |
| 3.7.4. | Rückschlüsse für die zu entwickelnde Konstruktion | 90 |
| 3.8. | Energie- und Versorgungskonzept | 91 |
| 3.8.1. | Zielmarke und Zieldefinition..... | 91 |
| 3.8.2. | Strategie zur Erreichung des Nullenergiestandards..... | 91 |
| 3.8.3. | Bauphysikalische Anforderungen an die Gebäudehülle..... | 92 |
| 3.8.4. | Anforderungen an die technische Gebäudeausrüstung | 93 |
| 3.8.5. | TGA-Konzept | 93 |
| 3.8.6. | Raumlufttechnik und Gebäudekonditionierung | 94 |
| 3.8.7. | Elektrische Installationen..... | 96 |
| 3.8.8. | Wasserführende Systeme / Sanitär..... | 103 |
| 3.9. | Zusammenfassung Abschnitt 3..... | 106 |
| 3.9.1. | Rückschlüsse | 106 |
| 3.9.2. | Übertragung in ein Baukastensystem | 108 |
| 4. | Ausarbeitung und theoretische Untersuchung ausgewählter Varianten..... | 111 |
| 4.1. | Ansätze..... | 111 |
| 4.1.1. | Ansätze für die Außenwand | 111 |
| 4.1.2. | Modularer Ansatz | 111 |
| 4.1.3. | Elementbezogener Ansatz | 112 |
| 4.2. | Gemeinsame baukonstruktive Elemente | 113 |
| 4.2.1. | Geometrische Festlegungen | 113 |
| 4.2.2. | Zum verwendeten Stein..... | 113 |
| 4.2.3. | Schichtung – Konstruktive Aufbauten | 116 |
| 4.2.4. | Statisch - Konstruktiver Ansatz..... | 117 |
| 4.3. | Erläuterungen zur Gebäudestatik des Prototypenhauses | 121 |
| 4.3.1. | Geometrische Konstruktive Vorgaben..... | 121 |
| 4.3.2. | Lasten..... | 123 |
| 4.3.3. | Statisches System..... | 124 |
| 4.4. | Bauphysikalische Aspekte der Untersuchungen | 125 |
| 4.4.1. | Wärmeschutz und Tauwasserfreiheit..... | 125 |
| 4.4.2. | Wärmebrückenfreie Unterkonstruktion | 126 |
| 4.5. | Integration der TGA - Installationen im Wand Decken Knoten..... | 127 |
| 4.5.1. | Deckenkanal: Leitungsführung Zuluft, sowie Stromkreis für Beleuchtung .. | 128 |
| 4.5.2. | Bodenkanal: elektrischer Kreislauf für Steckdosen und Geräte sowie EDV .. | 129 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 4.6. | Variantenbildung und –vorstellung | 130 |
| 4.6.1. | Variante A: Vorspannung mit „modular-kreuzartiger“ Verbindungsart..... | 130 |
| 4.6.2. | Variante B: Vorspannung mit „elementbezogen-linearer“ Verbindungsart.. | 131 |
| 4.7. | Ausarbeitung und Detaillierung: Variante A..... | 131 |
| 4.7.1. | Entwicklung von „Kreuzverbindern“ | 131 |
| 4.7.2. | Übersicht zur Entwicklung anhand von Studien..... | 134 |
| 4.7.3. | Fassadenschnitte und Detailzeichnungen..... | 141 |
| 4.7.4. | Zusammenfassung Variante A | 145 |
| 4.8. | Ausarbeitung und Detaillierung: Variante B..... | 146 |
| 4.8.1. | Anlass zur Entwicklung der „Linienhaften Verbindung“ | 146 |
| 4.8.2. | Modul unabhängige, schichtbezogene Fugenabdichtung | 147 |
| 4.8.3. | Öffnungen in vorgespannten Mauerwerkswänden | 147 |
| 4.8.4. | Im Bauteilinneren angeordnete Spannstelle | 148 |
| 4.8.5. | Zeilenhafte Fassadenbefestigung | 149 |
| 4.8.6. | Schichtbezogene Abdichtung mit zeilenhafter Befestigung | 150 |
| 4.8.7. | Fassadenschnitte und Detailzeichnungen..... | 154 |
| 4.8.8. | Zusammenfassung Variante B | 157 |
| 5. | Variantenvergleich | 159 |
| 5.1. | Vergleich der Varianten A und B | 159 |
| 5.1.1. | Ökobilanzieller Vergleich der Varianten A und B | 159 |
| 5.1.2. | Ausgangsbedingungen..... | 159 |
| 5.1.3. | Untersuchungsmethode | 161 |
| 5.1.4. | Eingangsdaten..... | 162 |
| 5.1.5. | Ergebnisse und Vergleich..... | 172 |
| 5.1.6. | Bewertung der Ergebnisse | 176 |
| 5.1.7. | Optimierungsmöglichkeiten | 176 |
| 5.2. | Recyclingoptionen..... | 178 |
| 5.2.1. | Wiederverwendung (Produktrecycling) | 178 |
| 5.2.2. | Stoffliches Recycling (Materialrecycling)..... | 179 |
| 5.3. | Zusammenfassung der Abschnitte 4 und 5 | 180 |
| 6. | Versuche zur Tragfähigkeit | 183 |
| 6.1.1. | Allgemeine Angaben | 183 |
| 6.1.2. | Vorbereitende Steinmessungen..... | 185 |
| 6.1.3. | Ergebnisse | 187 |
| 6.1.4. | Hinweise, Bemerkungen..... | 188 |
| 6.2. | Begleitende Materialprüfungen | 188 |
| 6.2.1. | Begleitende Materialprüfungen an Steinprismen und Zylindern | 188 |
| 6.2.2. | Druckkraftuntersuchungen an Einzelsteinen..... | 196 |
| 6.3. | Tragfähigkeitstest an Wänden: RILEM-Tests..... | 198 |
| 6.3.1. | Versuchsbeschreibung..... | 198 |
| 6.3.2. | Beobachtungen | 198 |
| 6.3.3. | Testergebnisse..... | 203 |
| 6.4. | Tragfähigkeitstest an vorgespannten Steindecken | 204 |
| 6.4.1. | Allgemeine | 204 |
| 6.4.2. | Einzelstein Anker..... | 206 |
| 6.4.3. | Versuche zum Spannverlust..... | 210 |
| 6.4.4. | Biegetest an vorgespannten Decken | 211 |
| 6.4.5. | Ergebnisse der Tragfähigkeitsprüfung mit Punktlast | 213 |
| 6.4.6. | Ergebnisse der Tragfähigkeitsprüfung mit Flächenlast | 217 |
| 6.5. | Zusammenfassende Bewertung der Bauteiltests..... | 221 |
| 7. | Mögliche Weiterentwicklungen..... | 223 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 7.1. | Weiterentwicklungen bei der Wand..... | 223 |
| 7.1.1. | Beschränkung auf den Einsatz bei Schubwänden..... | 223 |
| 7.1.2. | Kombination von zentrischer Vorspannung mit Umreifungsstählen..... | 224 |
| 7.2. | Außenwand, Fassade..... | 226 |
| 7.2.1. | Forschungsansätze zur Luftdichtigkeit..... | 226 |
| 7.2.2. | Weitere Ansätze..... | 226 |
| 7.3. | Abdichtung erdberührender Bauteile: Gründung, Sockel, Kellerwände..... | 229 |
| 7.3.1. | Stand der Technik..... | 230 |
| 7.3.2. | Vorschläge für demontable Gründungen..... | 231 |
| 7.3.3. | Ansätze zur Entwicklung demontabler Abdichtungen..... | 232 |
| 7.4. | Weiterentwicklungen der Decke..... | 238 |
| 7.4.1. | Verbesserung der Tragfähigkeit..... | 238 |
| 7.4.2. | Leistungsvergleich..... | 240 |
| 7.4.3. | Vorgespannten Steinbalken..... | 244 |
| 7.4.4. | Anwendung im Wand-Decken-Knoten..... | 248 |
| 7.5. | Ringanker..... | 249 |
| 7.6. | Balkone und Dächer..... | 250 |
| 7.7. | Treppen..... | 252 |
| 7.7.1. | Stand der Technik..... | 252 |
| 7.7.2. | modulare Höhenentwicklung..... | 253 |
| 7.7.3. | Ansätze für demontable Massivtreppen..... | 255 |
| 7.8. | Entwicklung eines Prototypenhauses..... | 257 |
| 7.8.1. | Entwurf eines Musterhauses..... | 259 |
| 7.8.2. | Modularität in der Grundrissorganisation..... | 260 |
| 8. | Ergebnis und Ausblick..... | 263 |
| 8.1. | Ergebnis..... | 263 |
| 8.2. | Ausblick..... | 266 |