
DEMONSTRATIONSPROJEKT FÜR EINEN RESSOURCENORIENTIERTEN WOHNBAU IN VORGEFERTIGTER HOLZBAUWEISE MIT STROHDÄMMUNG IN LASSEE/NÖ

Projekt: NÖ-Stroh-WB, F2-B-F-2166

Endbericht

Wien, März 2015

Projektteam:

Projektleitung: Univ.-Prof. Arch. DI Dr. Martin Treberspurg
DI Roman Smutny
DI Nina Obereder
DI Kurt Ecker
Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen,
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau,
Department für Bautechnik und Naturgefahren,
Universität für Bodenkultur Wien (BOKU),
Peter-Jordan Straße 82, A-1190 Wien



Projektpartner Arch. DI Friedrich Mühling
DI Karin Hammer
DI Martin Krapfenbauer
Treberspurg & Partner Architekten ZT GmbH, Wien

Dipl. Ing. FH Manuel Schweizer

DI Wilhelm Hofbauer
Technisches Büro Hofbauer, Wien

Dr. Alois Geißlhofer
Bau.Energie.Umwelt Cluster Niederösterreich, ecoplus GmbH, St. Pölten

Bmstr. Ing. Michael Schafhauser
Gemeinnützige Donau-Ennstaler-Siedlungs-Aktiengesellschaft (GE-DESAG), Krems

Bürgermeister DI Karl Grammanitsch
Gemeinde Lassee, Euregio Ökopark Lassee

Finanzierung: Land Niederösterreich, Abteilung Wohnbauförderung

Zitiervorschlag

Treberspurg, Martin; Smutny, Roman; Obereder, Nina; Ecker, Kurt; Mühling, Friedrich; Hammer, Karin; Schweizer, Manuel (2015) *Demonstrationsprojekt für einen ressourcenorientierten Wohnbau in vorgefertigter Holzbauweise mit Strohdämmung in Lassee/NÖ*. Projekt: NÖ-STROH-WB. Im Auftrag der NÖ Wohnbauforschung. BOKU Wien

Kontaktinformationen

Universität für Bodenkultur Wien

Institut für Konstruktiven Ingenieurbau
Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen
Peter Jordan Straße 82
1190 Wien

Univ.-Prof. Arch. DI Dr. Martin Treberspurg, E-Mail: martin.treberspurg@boku.ac.at
DI Roman Smutny, E-Mail: roman.smutny@boku.ac.at

Im Rahmen des Projekts wurden von der BOKU Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen zwei Masterarbeiten zum Thema Strohbau betreut, deren Inhalte hier in ausgewählten Abschnitten übernommen wurden:

- Kurt Ecker, 2013, Ökologisierung des Bauens – Zukunftsfähigkeit innovativer Strobausysteme. Betreuung: Univ. Prof. Arch. DI Dr. Martin Treberspurg, BOKU Wien. Eingereicht an der Fakultät Architektur und Raumplanung der TU Wien.
- Nina Obereder, 2013, Vergleich der Ökobilanzen von verschiedenen Bauweisen am Beispiel Wohnhausanlage Amselgasse, Lassee. Betreuung: Univ. Prof. Arch. DI Dr. Martin Treberspurg und DI Roman Smutny, BOKU Wien

INHALTSVERZEICHNIS

KURZFASSUNG.....	6
1 EINLEITUNG	9
2 ZIEL	10
3 METHODIK.....	13
4 STAND DER TECHNIK – BAUSTOFF STROH.....	14
4.1 GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG	14
4.2 ROHSTOFFGEWINNUNG	14
4.2.1 SAISONALE VERFÜGBARKEIT.....	21
4.2.2 STROHBALLENPRESSEN	22
4.2.3 ANFORDERUNGEN AN DIE TECHNISCHE QUALITÄT DES ROHSTOFFES	24
4.3 BAUSTOFFHERSTELLUNG	29
4.3.1 BAUSTROHBALLEN: ABMESSUNG, TECHNISCHE QUALITÄT, EINBAURICHTUNG	29
4.3.2 QUALITÄTSSICHERUNG	34
4.4 STROHBAUWEISEN – KONZEPTE FÜR GEBÄUDE MIT BAUSTROH.....	36
4.4.1 HERSTELLUNGS- UND BAUTECHNIKEN VON STROH-HOLZ-ELEMENTEN	36
4.4.2 KOSTENOPTIMIERUNG	40
4.4.3 TECHNISCHE EIGENSCHAFTEN, KENNZAHLEN UND ZERTIFIZIERUNG	43
5 PRAXISBEISPIELE – BAUEN MIT STROH.....	51
5.1 WOHNHAUS IN MAUTERN - SYSTEM HAUS BAU.....	51
5.2 S-HOUSE, BÖHEIMKIRCHEN.....	55
5.3 LEHM-PASSIVHAUS TATTENDORF	57
5.4 REIHENHAUS WOHNHAUSANLAGE MARIA ANZBACH - VORGEFERTIGTE WANDELEMENTE MIT STROHHÄCKSEL-DÄMMUNG.....	62
5.5 HAUS RITTER-REUMILLER, ANDELSBUCH	66
5.6 EXKURS: REFERENZPROJEKTE IN PORENBETONBAUWEISE.....	71
5.6.1 ALLGEMEINE INFORMATIONEN ZU PORENBETON	71
5.6.2 KINDERGARTEN LOOSDORF	72
5.6.3 PASSIVHAUS HORITSCHON	73
5.6.4 MUSEUM AM BERGISEL IN INNSBRUCK.....	74
6 WOHNHAUSANLAGE LASSEE AMSELGASSE	75
6.1 INFORMATIONEN ZU PROJEKTENTWICKLUNG UND PLANUNGSABLAUF.....	75
6.2 INFORMATIONEN ZU BAUTRÄGER UND ARCHITEKTURBÜRO	83
6.3 ALLGEMEINE BAUTECHNISCHE UND HAUSTECHNISCHE BESCHREIBUNG	84

6.4	BAUTEILANALYSE DER UNTERSCHIEDLICHEN BAUWEISEN.....	92
6.4.1	BLOCK A: MASSIVBAUWEISE MIT ZIEGELAUßENWÄNDEN	93
6.4.2	BLOCK B: PORENBETONBAUWEISE MIT MASSIVHOLZDECKE	95
6.4.3	BLOCK C (VARIANTE C1): STROHBAUWEISE MIT STAHLBETONDECKEN	97
6.4.4	VERGLEICH SIGNIFIKANTER BAUTEILE DER VERSCHIEDENEN BAUWEISEN	99
6.5	DETAILPLANUNG STROHBAUTEILE	102
6.5.1	DETAILPLANUNG LASSEE-SCHÖNFELD – EINGESCHOßIGE WINKELHÄUSER	102
6.5.2	BAUTECHNISCHE KONZEPTE – WEITERENTWICKLUNG IN ABSTIMMUNG MIT HOLZBAUUNTERNEHMEN	109
6.5.3	DETAILPLANUNG LASSEE-AMSELGASSE, BLOCK C.....	113
7	<u>ÖKOBILANZ</u>	<u>118</u>
7.1	METHODIK ÖKOBILANZ	118
7.2	RESULTATE ÖKOBILANZ	119
7.2.1	AGGREGIERTES GESAMTERGEBNIS UND EINZELERGEBNISSE DER WICHTIGSTEN ÖKOINDIKATOREN.....	120
7.2.2	VERGLEICH DER ERGEBNISSE FÜR ALLE WIRKUNGSINDIKATOREN.....	121
7.2.3	ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ FÜR PRIMÄRENERGIE UND TREIBHAUSPOTENTIAL	122
7.2.4	ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ FÜR LEBENSZYKLUSPHASEN.....	123
7.2.5	ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ FÜR BAUTEILGRUPPEN.....	126
7.2.6	ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ FÜR MATERIALGRUPPEN.....	129
7.2.7	DETAILANALYSE AUßENWÄNDE - ERGEBNISSE DIFFERENZIERT NACH MATERIALGRUPPEN .	132
7.3	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	136
7.3.1	ZUSAMMENFASSUNG ÖKOBILANZ.....	136
7.3.2	SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DER ÖKOLOGISCHEN BEWERTUNG	138
8	<u>KOSTENANALYSE</u>	<u>142</u>
9	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	<u>148</u>
10	<u>TABELLEN- UND ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</u>	<u>152</u>
11	<u>ANHÄNGE</u>	<u>157</u>
11.1	ANHANG PLANUNTERLAGEN PROJEKT LASSEE – SCHÖNFELD.....	157
11.2	ANHANG PLANUNTERLAGEN PROJEKT LASSEE – AMSELGASSE.....	157
11.3	ANHANG AUSSCHREIBUNG LASSEE – AMSELGASSE, 1. BAUPHASE	157
11.4	ANHANG BERECHNUNGSUNTERLAGEN ÖKOBILANZ.....	157
11.5	ANHANG KOSTENAUFSTELLUNG ANONYMISIERT.....	157

Kurzfassung

Grundlegendes Ziel des Forschungsprojekts war die Unterstützung für die Realisierung eines Demonstrationsgebäudes, das einen massiven Impuls für den Einsatz regional verfügbarer nachwachsender Rohstoffe - insbesondere Stroh und Holz - im geförderten Wohnbau geben soll.

Da bis heute für eine vorgefertigte Holzbauweise mit Strohdämmung keine wirtschaftlich bewährten Konstruktionen für den geförderten Wohnbau entwickelt worden sind, war ein erhöhter Aufwand an Grundlagen- und Entwicklungsarbeit sowie Detailplanungsarbeit zu erwarten, der durch das Forschungsprojekt abgedeckt werden sollte. Es wurden unterschiedliche Baukonzepte für kleinvolumige Wohnhausanlagen in Stroh-Holzbauweise entwickelt.

Am 26.08.2008 hat der NÖ-Gestaltungsbeirat die von Architekturbüro Treberspurg & Partner Architekten ZT GmbH eingereichte Siedlung des gemeinnützigen Bauträgers GEDESAG (Gemeinnützige Donau-Ennstaler Siedlungs-Aktiengesellschaft) in Lassee-Schönfeld als „positives Benchmark-Projekt“ ausdrücklich lobend erwähnt und genehmigt.

Für den Standort Lassee-Schönfeld wurden 14 eingeschößige Winkelhäuser mit einer Nutzfläche von jeweils etwa 106 m² und großzügigen Gartenbereichen vorgesehen. Die Konstruktion war mit vorgefertigten Stroh-Holzbauteilen geplant. Aufgrund der unzureichenden Nachfrage an eingeschößigen Winkelhäusern und der Verfügbarkeit alternativer Grundstücke ergab sich eine grundsätzliche Änderung der Planung. Es wurden fünf zweigeschößige, nicht unterkellerte Mehrfamilienhäuser mit je sechs Wohnungen in Lassee - Amselgasse entworfen und am 22.11.2010 vom NÖ-Gestaltungsbeirat positiv begutachtet.

Die Gebäude sollten einen massiven Impuls für den Einsatz regional verfügbarer, ressourcenschonender Rohstoffe im Wohnbau geben. Für die erste Bauphase sollten in der Amselgasse drei Baukörper in unterschiedlichen Bauweisen aber mit nahezu identer Geometrie realisiert werden, um verschiedene Konstruktionen anhand von gleichen Gebäudetypen zu vergleichen und zu bewerten:

- Block A: Konventionelle Ziegelmassivbauweise mit Stahlbetondecken
- Block B: Porenbeton-Systembauweise mit Holzmassivdecken
- Block C: Stroh-Holzleichtbau mit Stahlkonstruktion und Stahlbetondecke (C1).
In der weiteren Planung erfolgten Alternativangebote für reine Holzbauweise (ohne Stahlkonstruktion):
 - Alternative 1: mit Holzmassivdecke (C2)
 - Alternative 2: mit Holztramdecke (C3)

Auf Basis der Ausführungspläne von Treberspurg & Partner Architekten erfolgte eine gewerkeweise Ausschreibung. Nach einer detaillierten Prüfung aller eingegangenen Angebote wurden mehrere Vergabegespräche mit den anbietenden Firmen geführt und dabei auch Alternativangebote eingehend auf deren Realisierungstauglichkeit hin überprüft.

Der Bauherr kam zu dem Ergebnis, dass diese Wohnhäuser innerhalb des Finanzierungsrahmens leider nicht realisiert werden können. In weiterer Folge wurde der Schwerpunkt des Forschungsprojekts auf Analysen zur Optimierung der Wirtschaftlichkeit gelegt. In Gesprächen mit den Fachfirmen wurde genauer erhoben, aus welchen Gründen die vorgefertigten Holz-Stroh Konstruktionen für den Einsatz im geförderten Wohnbau derzeit nicht geeignet sind.

Es sollte untersucht werden, welche Parameter in Konzeption, Konstruktion, Detailplanung und Projektfinanzierung verändert werden können um eine Realisierung zu ermöglichen.

Neben der Wirtschaftlichkeitsanalyse erfolgte eine ausführliche Zusammenstellung des Stands der Technik für Baustroh sowie die Dokumentation ausgewählter Praxisbeispiele. Weiters wurde eine Ökobilanz der drei Bauweisen erstellt.

Ökologische Lebenszyklusanalyse

Bei der Betrachtung des Gesamtergebnisses über alle Phasen der Ökobilanz und aggregiert über alle betrachteten ökologischen Indikatoren weist die Holz-Strohleichtbauweise keine nennenswerte Ziegelmassivbauweise auf. Um rund 8 % günstiger schneidet die Porenbeton-Systembauweise ab.

Der Schwerpunkt der ökologischen Lebenszyklusbetrachtung lag auf den Indikatoren nicht regenerierbaren Primärenergiebedarf und Treibhauspotential, die einen größeren Unterschied zwischen den Bauweisen aufzeigten. Im Vergleich zur konventionellen Ziegelbauweise zeigte sich für den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf ein Verbesserungspotenzial von rund 10 % gleichermaßen durch Porenbeton-Systembauweise (Variante B und B2) und Holz-Stroh-Bauweise (Variante C). Für das Treibhauspotential zeigte sich ein Verbesserungspotenzial von rund 20 % für Porenbeton-Systembauweise und von rund 10 % für die Holz-Stroh-Bauweise. Die Weiterentwicklung der Variante B2 mit Porenbetondämmung (Mineralschaumplatten) anstatt EPS-Dämmung zeigt für die betrachteten Indikatoren geringfügig ungünstigere Werte.

Den größten Einfluss auf die Performance dieser Indikatoren hatte die Herstellungsphase und in zweiter Linie auch die Instandsetzung im Betrieb (wobei der Einfluss dieser Phase aufgrund der eingesetzten Methode vermutlich etwas zu hoch eingeschätzt wurde). Der Einfluss der Betriebsphase war im Vergleich zu anderen Gebäuden relativ gering, da die Gebäude mit Fernwärme aus dem Stroh-Heizwerk der Gemeinde versorgt werden.

Für den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf der drei zu Beginn untersuchten Hauptvarianten ist die End-of-Life-Phase ausschlaggebend. Die Vor- und Nachteile bestimmter Bauweisen ergeben sich fast ausschließlich durch Gutschriften der End-of-Life-Prozesse, z.B. dem Ersatz fossiler Energieträger durch energetische Verwertung der Baustoffe. Für die Treibhausgasemissionen treten die wesentlichsten Unterschiede zwischen den Bauweisen in der Herstellungsphase auf.

Der Einfluss verschiedener Bauteile und verschiedener Baustoffe und Materialgruppen auf das Gesamtergebnis der betrachteten Indikatoren wurde im Detail untersucht. Es zeigte sich, dass die ökologische Lebenszyklusperformance der ursprünglich angestrebten Holz-Stroh-Bauweise (Block C, Variante C1) durch die weitere Optimierung der Konstruktion hinsichtlich

höheren Holzbauanteils (Variante C2) deutlich verbessert werden konnte. Der nicht regenerierbare Primärenergiebedarf kann um rund 20 % reduziert werden und die Treibhausgasemissionen können um rund 25 % reduziert werden.

Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Kostenanalyse zeigte deutliche Mehrkosten der Holz-Stroh-Bauweise von 275 €/m² im Vergleich zur konventionellen Ziegel-Stahlbeton-Massivbauweise. Auch die zweite Variante einer ressourcenschonenden Bauweise - mit Porenbeton und Massivholzdecken - zeigte deutliche Mehrkosten von 208 €/m².

Der Großteil der analysierten Kosten betrifft Baumeisterarbeiten, welche für die drei zu Beginn untersuchten Hauptvarianten rund 740 bis 800 €/m². Das heißt, dass die ressourcenschonenden Alternativen, den dominierenden Kostenanteil der Baumeisterarbeiten nicht reduzieren konnten, aber dass durch den zusätzlichen Kostenaufwand für Zimmermeisterarbeiten die Gesamtkosten stiegen. Für die Alternativvarianten lagen die Zimmermeisterkosten bei rund 210 €/m² für Porenbeton (Variante B) und bei rund 350 €/m² für Stroh-Holzbau (Variante C1).

Die restlichen Gewerke hatten keine relevanten Auswirkungen auf die Baukosten, bis auf die Trockenbauarbeiten die bei den Alternativvarianten um rund 30 €/m² höhere Kosten aufwiesen.

Es bestand die Vermutung, dass die höheren Kosten der Holz-Strohbau-Varianten auch durch die Mischung verschiedener Bauweisen bedingt waren. In Variante C1 werden die Holz-Stroh-Leichtbauelemente durch eine Stahlkonstruktion unterstützt (diese ist bei den Zimmermeisterarbeiten inkludiert) um die vom Bauherrn angestrebten Stahlbetondecken zu tragen. In der weiteren Planung wurden durch die Varianten C2 und die weiter optimierte Variante C3 eine geringere Mischung der Leistungen von Baumeister und Zimmermeister angestrebt. Die Stahlbetondecken wurden durch Holzdecken ersetzt und die Stahlkonstruktion sowie Installationsebenen wurden eingespart.

Dadurch konnten die Baumeisterkosten um 120 €/m² (Variante C2) bis 150 €/m² (Variante C3) reduziert werden. Dafür stieg jedoch der Anteil der Zimmermannskosten um 140 €/m² (Variante C2) bis 110 €/m² (Variante C3). Auch der Kostenanteil für Trockenbauarbeiten stieg um rund 30 €/m² da aus Brandschutzgründen eine abgehängte Decke einkalkuliert wurde. Dadurch konnte auch durch die weiter optimierte Variante C3 mit hohem Zimmermeisteranteil insgesamt keine Kostenreduktion im Vergleich zur Variante C1 (stärkere Mischung der Bauweisen) erreicht werden.

Aufgrund der Ergebnisse der Detailplanung und der Gespräche mit Holzbauunternehmen besteht die Vermutung, dass eine weitere Kostenoptimierung durch verstärkte Vorfertigung vereinfachter Bauteilmodule besteht, wobei hier jedoch durch die gegenwärtig üblichen Fertigungsprozesse noch Hemmnisse bestehen, beispielsweise hinsichtlich Wandstärken.

Durch das Forschungsprojekt wurden verschiedene Lösungsansätze für zukünftige ressourcenorientierte Wohnhausanlagen in vorgefertigter Holz-Strohbauweise aufgezeigt.

1 Einleitung

Ein zukunftsgerechter Wohnbau entsteht nicht nur durch „gute Architektur“ (gute Lösung der einzelnen Bauaufgaben) sondern auch durch eine **Verbesserung der Planungs- und Errichtungsprozesse**. Durch industrialisiertes Bauen mit **einfacher Bautechnologie** und **ressourcenorientiertem Materialeinsatz** ist es möglich, kurze Bauzeiten zu gewährleisten. Bauen mit vorgefertigten Elementen ermöglicht eine hohe Ausführungsqualität, insbesondere in den Detailverbindungen, die für den Passivhausstandard (und Niedrigstenergiehausstandard) erforderlich ist und damit bei Neubauten zukünftig zu erfüllen ist.

Bauwerke in **Passivhausqualität** liefern nicht nur einen bedeutenden Beitrag für den Klimaschutz sondern gewährleisten vor allem eine Verbesserung der **Wohnqualität**. Holz-Ständerwände mit Strohdämmung haben hier gegenüber massiven Wänden den Vorteil einer geringeren Wandstärke.

Ein verstärktes Interesse der Bewohner zur Nutzung **heimischer und ökologischer Baumaterialien** kann die heimische Land- und Holzwirtschaft nachhaltig stärken. In Niederösterreich werden 40 % der österreichischen Getreideprodukte erwirtschaftet – der überwiegende Großteil davon im Weinviertel, insbesondere im Marchfeld. Aufgrund der sehr guten Bodenqualität kann das dabei anfallende Stroh nur in eingeschränktem Maße einer landwirtschaftlichen Nachnutzung zugeführt werden. Da auch nur ein Teil des anfallenden Strohs für die Wärmeerzeugung genutzt werden kann und somit für einen großen Teil ein Entsorgungsproblem entsteht, gilt es entsprechende wirtschaftlichere und ökologischere Verwendungsmöglichkeiten zu forcieren.

Als regional verfügbarer Reststoff aus der landwirtschaftlichen Produktion, der bei der heutigen und auch zukünftigen landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsform in großem Maße verfügbar ist, eignet sich **Stroh** als nachwachsender Rohstoff hervorragend für die **Herstellung von Dämmstoffen** (Wimmer et al., 2001a+b)

Im walddreichen Bundesland Niederösterreich gibt es eine stetig wachsende Zahl an hoch qualifizierten, mittelständischen Holzbauunternehmen, die im Bereich des Wohnungsbaus tätig werden können. Zudem beabsichtigte der Ökopark Lassee ein Kompetenzzentrum für Stroh einzurichten, das einerseits als Entwicklungs- und Zertifizierungsstelle für Strohbaustoffe und andererseits als zentrale Informationsstelle für Produzenten, Abnehmer und verarbeitende Betriebe aus der Bauwirtschaft dienen soll. (**Förderung der regionalen Wertschöpfung**).

Bislang wurden Strohbaustoffe meist in einer Einzelzulassung für Gebäude mit Experimentalcharakter eingesetzt, wie z.B. im S-House in Böheimkirchen (siehe Seite 55 und Wimmer et al., 2006) oder im Lehm-Passivhaus in Tattendorf (siehe Seite 57 und Meingast, 2005). Als eines der größten Markthemmnisse für den Baustoff Stroh galt vor Projektbeginn 2008 die noch nicht erfolgte allgemeine Zulassung bzw. Eintragung in die Baustoffliste des OIB. Was einer Zertifizierung im Wege steht sind: nicht normierte Produktionsweisen, eine fehlende leistungsfähige Fremdüberwachung der Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse und fehlende Richtlinien für eine Qualitätssicherung, die den Anforderungen der Praxis entspricht. (Adensam et al., 2005). Empfehlungen für die Strohballenbauweise unter Niederösterreichischen Rahmenbedingungen wurden bereits ausgearbeitet (Pokorny, 2000).

2 Ziel

Ursprüngliches Ziel des Forschungsprojekts war die Unterstützung für die Realisierung eines Demonstrationsgebäudes, das einen massiven Impuls für den Einsatz regional verfügbarer nachwachsender Rohstoffe - insbesondere Stroh und Holz - im geförderten Wohnbau geben soll. Da bis heute für eine vorgefertigte Holzbauweise mit Strohdämmung keine wirtschaftlich bewährten Konstruktionen für den geförderten Wohnbau entwickelt worden sind, war ein erhöhter Aufwand an Grundlagen- und Entwicklungsarbeit sowie Detailplanungsarbeit zu erwarten, der durch das Forschungsprojekt abgedeckt werden sollte. Es wurden unterschiedliche Baukonzepte für kleinvolumige Wohnhausanlagen in Stroh-Holzbauweise entwickelt. Aufgrund der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen war eine tatsächliche Realisierung als geförderter gemeinnütziger Wohnbau nicht möglich. Daher wurde der Schwerpunkt der weiteren Arbeit in Kostenanalysen und weiterführenden Konzepten für eine Kostenreduktion gelegt. Diese Grundlagenarbeiten wurden entsprechend dokumentiert und zielgruppengerecht verbreitet, um eine fundierte Basis für zukünftige Holz-Stroh-Bauweisen zu bieten.

Das Ziel des Forschungsprojekts war die qualitätsgesicherte Ausführung einer Kleinsiedlung aus vorgefertigten, ökologischen Holz-Stroh-Bauteilen in Passivhausstandard bzw. Niedrigstenergiehausstandard. Die Wohnhausanlage sollte in der Gemeinde Lassee, der „grünen Mitte des Marchfeldes - der Kornkammer Österreichs“ errichtet werden und ein möglichst breites Spektrum an praxistauglichen Holz-Stroh-Konstruktionen demonstrieren.

Ein Demonstrationsprojekt ist für die Gemeinde Lassee und den geplanten Ökopark Lassee von besonderer Bedeutung, da es eine „Initialzündung“ für das beabsichtigte österreichweit bzw. international agierende Kompetenzzentrum für Strohbaustoffe darstellen kann. Die Wohnhausanlage sollte als anschauliches Beispiel dienen, um mittel- bis langfristig einen breitenwirksamen Impuls für die Holzbauwirtschaft, für den Wohnbau in Passivhausqualität und für die regionale Wertschöpfungskette von Holz und Stroh zu geben.

Es sollte ein hochqualitativer und zukunftsgerechter Wohnbau mit folgenden Anforderungen errichtet werden:

Tabelle 1: Anforderungen an Materialien, Gebäude und Prozesse

Anforderungen an Planung und Umsetzung	Anforderungen an Gebäude	Anforderungen an Bauteile	Anforderungen an Baustoffe
▪ Integrale Planung: Konzept für optimales Zusammenspiel der Planer, Handwerker und der Strohlieferanten ▪ Kurze Planungs- und Fertigungszeit (hoher Standardisierungsgrad) und kurze Bauzeiten (Fertigteile) ▪ dadurch kostengünstig ▪ kurze Materialtransportwege ▪ Standardisierte und praxisgerechte Details	▪ Modulbauweise ▪ Nutzungskomfort ▪ Raumluftqualität ▪ Passivhausqualität ▪ Ressourcenschonung	▪ Eignung zur Vorfertigung ▪ Rückbaubarkeit und Wiederverwendbarkeit ▪ Robustheit (Langlebigkeit) ▪ Leichtigkeit (zwecks Transport und Demontage) ▪ Qualitätssicherung	▪ Nachwachsende, regionale, schadstofffreie Rohstoffe ▪ Kreislauffähigkeit: Trennbarkeit und Wiederverwendbarkeit (oder zumindest stoffliche oder thermische Verwertbarkeit) ▪ Qualitätssicherung ▪ Maßhaltigkeit

Tabelle 2: Projektmatrix - Aufgaben, Arbeitsschritte, geplante Ergebnisse und deren Verwertung

AUF- GABEN	Entwicklung eines DEMONSTRATIONS- GEBÄUDES in HOLZ- STROH-BAUWEISE	Erreichen der PASSIVHAUS-qualität hinsichtl. Wohnkomfort und Primärenergie- grenzwert	QUALITÄTS- SICHERUNG der Stroh-Baustoffe	QUALITÄTS- SICHERUNG der vorgefertigten Holz-Stroh-Bauteile
ARBEITS- SCHRITTE	ERHEBUNG von GRUNDLAGEN: Analyse und Bewertung von Beispielen	DESIGN & ENTWICKLUNG Variantenstudie, Komponenten- entwicklung	MEHRAUFWAND für Detailplanung, Ausschreibung, Umplanung	DISSEMINATION der Ergebnisse an relevante Zielgruppen
ERGEB- NISSE	Grundlagen für PILOTPROJEKT in vorgefertigter Holz- Stroh-Leichtbauweise und Passivhausqualität	BAUTEILKATALOG von praxistauglichen Holz-Stroh-Bauteilen.	Zusammenstellung GEBAUTER BEISPIELE und gewonnener Erfahrungen von Holz- Stroh-Bauweisen	NETZWERK Stroh- Holz-Bauweise.
VER- WERTUNG	Impuls für verstärkten Einsatz von Holz und Stroh im geförderten Wohnbau in NÖ	Verringerung der Hemmschwelle für Baubeteiligte, die bislang Holz-Stroh- Bauteilen skeptisch gegenüber standen	Impuls für ein geplantes STROHWERKSTOFF- KOMPETENZZENTRUM Lasse. Erhöhung der Wertschöpfungskette von Holz und Stroh.	Grundlagen für eine kosteneffiziente Planung von zukünftigen hochqualitativen Holz-Stroh- Bauwerken

Die folgenden **Fragestellungen** bildeten die Rahmenbedingungen für die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten:

1. Wie müssen Wand-, Dach- und Bodenkonstruktionen als vorgefertigte Holzkonstruktion mit Strohdämmung beschaffen sein, damit eine einfache und schnelle Montage vor Ort erfolgen kann? Welche Dimensionen bei Strohballen und Holzkonstruktionen ergeben qualitativ hochwertige Konstruktionselemente? Welche Ausführungen von Holz-Stroh-Bauteilen können empfohlen werden?
2. Welche Produktionsmittel ermöglichen eine maßgenaue Herstellung von Strohballen für vorgefertigte Holzkonstruktionen? Wie können Durchbrüche durch das Bauteil hergestellt werden, ohne dass Beeinträchtigungen beim Wärme-, Schall- und Brandschutz auftreten?
3. Welche Materialeigenschaften bei Stroh als Wärmedämmung sind erforderlich, wenn Stroh in vorgefertigten Holzkonstruktionen eingebaut werden soll? Welche Grenzwerte gelten hinsichtlich Feuchte, Rohdichte, Reifegrad des Strohs, Unkrautbesatz und Restkornanteil? Wie können Strohballen auf diese Qualitäten hin überprüft werden? Ändern sich die Qualitäten nach dem Einbau? Wenn ja, in welchem Ausmaß und in welchem Zeitrahmen?

4. Inwieweit beeinflussen die Materialkennwerte der Strohballendämmung die Detailausbildung und die Art der Fügung bzw. der Verbindung bei vorgefertigten Konstruktionselementen? Welche Auswirkungen haben die Materialien auf optimale Anschlussdetails - z.B. Boden-Wand, Wand-Wand, Wand-Decke, Wand-Dach, Wand-Fenster etc.?
5. Welche Auswirkungen hat der Einsatz dieser spezifischen Baustoffe und deren Verarbeitung bzw. Befestigung auf die Projektentwicklung und Planung? Inwieweit bestimmen Herstellungs- und Montageabläufe den Planungsprozess? Wie werden Rückbau, Demontage und Entsorgung den Planungsprozess beeinflussen? Eine Standardisierung von Konstruktionen zur Reduktion von Produktzulassungskosten ist anzustreben! Jene Arbeitsschritte bei denen Kostenvorteile zu holen sind, sollen bei Herstellung und Montage vereinfacht werden, ohne dass dabei über lange Zeiträume Kapital gebunden wird.
6. Welche Qualitätssicherungsmaßnahmen sind für den Baustoff Stroh und für Holz-Stroh-Bauteile notwendig?
7. Welche Konzepte eignen sich für einen wirtschaftlichen Einsatz im geförderten gemeinnützigen Wohnbau?

3 Methodik

Das methodische Vorgehen besteht aus Literatur- und Materialrecherchen, Firmenbefragungen und kreativer konstruktiver Entwicklungsarbeit. Um eine breitenwirksame und praxisbezogene Lösung zu finden, wurde eine interdisziplinäre Zusammenarbeit mit Bauwirtschaft (Bau.Energie.Umwelt Cluster NÖ und deren Partnerbetriebe), Architekturplanung (Treberspurg & Partner Architekten ZT GmbH), Forschung (Universität für Bodenkultur, Wien), Verwaltung (Gemeinde Lassee) und einem gemeinnützigen Bauträger (GEDESAG) durchgeführt.

PROJEKTSTUFE 1 – Grundlagenerhebung, Komponentenentwicklung

- Gezielte Recherche (Literaturrecherche, Firmenbefragung, Befragung von Bewohner/innen bzw. Nutzer/innen) über den State-of-the-Art von Holzkonstruktionen mit Strohdämmung.
- Ganzheitliche Analyse bestehender Projekte:
 - Materialaspekte: Verfügbarkeit, Qualität, Qualitätskontrollen
 - Handwerkliche und bautechnische Aspekte: Einbringung, Bauzeit, Montageaufwand, Betriebs- und Wartungsaufwand, Dimensionen
 - Ökologische Aspekte: Klimaschutz, Ressourcenschonung, ökologischer Rucksack der Baumaterialien, Passivhausqualität, Haltbarkeit, Wiederverwendbarkeit.
 - Planerische Aspekte: integrale Planung, Logistik, Montage

PROJEKTSTUFE 2 – Qualitätssicherung und Prüfung

- Variantenstudie: Entwicklung von optimierten, qualitätsgesicherten Aufbauten und Konstruktionen. Dokumentation vorhandener Messergebnisse, bautechnische Analysen und bauphysikalische Berechnungen:
 - Qualitätssicherung und -prüfung der Stroh-Baustoffproduktion: Nenndichte, Rohdichte, Feuchtegehalt, Unkraut-Beikrautbesatz, Restkornanteil, Stängeldicke, Wasseraufnahme, Schimmel
 - Qualitätssicherung und -prüfung der Holz-Stroh-Bauteilproduktion: Schichtenfolge, Wärmeschutz, Schallschutz, Wasserdampfdiffusion, Brandschutz
 - Beurteilung und Dokumentation der Variantenstudie und vorhandener Prüfergebnisse
 - Konstruktion: Dachaufbauten, Wandaufbauten, Fassadenelemente, Befestigungssysteme

PROJEKTSTUFE 3 – Variantenuntersuchung und Wirtschaftlichkeitsanalyse

- Dokumentation der Planungsvarianten: technisch, bauphysikalisch und wirtschaftlich hinsichtlich Errichtungskosten.
- Ermittlung von Bandbreiten für fixe Kosten und variablen Kosten für relevante Kostenpositionen.
- Analyse der Mehrkosten im Vergleich zu konventioneller Bauweise
- Ableitung von konkreten Empfehlungen für kostenäquivalente Bauweisen

4 Stand der Technik – Baustoff Stroh

4.1 Geschichtliche Entwicklung

Wie in „Neues Bauen mit Stroh“ (Gruber et al., 2008) beschrieben, fand der Strohbau seinen Anfang um 1800 in den USA, wo er als billige und nachhaltige Bauweise in den Gegenden, in denen viel Getreide angebaut wurde, galt.

Im Süden der USA, der eher holzarm ist, wurden viele Gebäude mit Stroh errichtet. Nachdem der Baustoff zwischen den 50ern und frühen 80ern in Vergessenheit geraten war, wurde er den Menschen ab 1974 wieder in Erinnerung gerufen.

Die Vor- und Nachteile der Strohbauweise sind in der nachfolgenden Tabelle gegenübergestellt:

Strohhäcksel, Strohbauplatten und auch Ballenform sind gängige Verarbeitungsformen von Stroh im Bezug auf Dämmmaterialien. Der Einsatz von Strohbauplatten konnte sich bisher aufgrund von verhältnismäßig hohen Anschaffungspreisen im Hausbau noch nicht durchsetzen. (Gruber et al., 2008) (Minke & Krick, 2009)

Der Bezug von Strohballen kann regional über Landwirte oder als zertifiziertes Produkt über die GrAT (Gruppe angepasste Technologien an der TU Wien) bzw. Über die Firma Waldland Naturstoffe GmbH erfolgen. Lehmgebundene Strohhäckselplatten können über die Firma Egglinger Naturbaustoffe GmbH (Biofaserlehm von Natur & Lehm) erworben werden.

Aufgrund seiner naturbelassenen Verarbeitung kann Stroh ohne großen Aufwand wieder entfernt und als Biomasse abgebaut werden. (Pasteiner, 2013)

4.2 Rohstoffgewinnung

Die Erntemengen für die vier Stroharten Weizen, Gerste, Roggen und Hafer über den Zeitraum von 14 Jahren sowie der Stroh- und Korntrug zwischen 1980 bis 2007 wurde der Statistik entnommen. Weizenstroh dominiert mit seiner hohen Anbaudichte in Österreich.

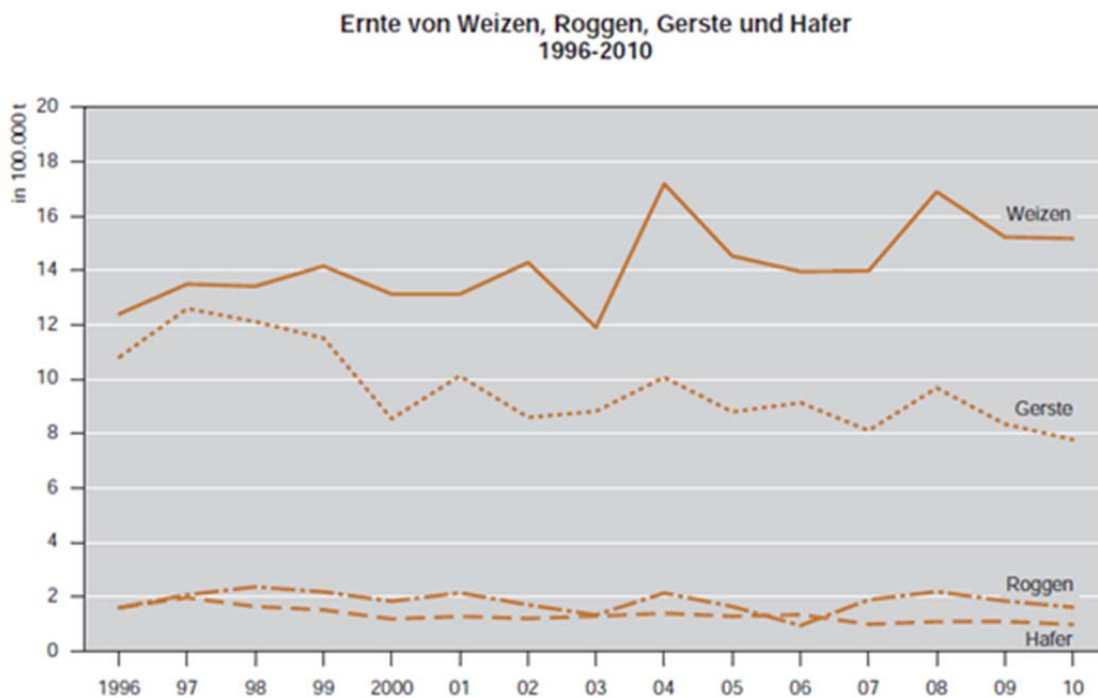


Abbildung 1: Diagramm zu den Erntekurven für Weizen, Gerste, Roggen und Hafer von 1996 bis 2010 (in 100.000 Tonnen). Statistik Austria, 2010.

Im folgenden Kartendiagramm von Österreich ist ersichtlich, dass das dichteste Strohaufkommen in Niederösterreich, gefolgt von Oberösterreich ist. Da es sich bei diesem Stroh um Stroh aus Brotgetreide handelt, erweist sich der Einsatz dieser Rohstoffe als besonders nachhaltig. In diesen Regionen sind auch die meisten Strohballenbauten anzutreffen. Eine vereinfachte Transportlogistik (Anfahrten zu den Holzbaubetrieben und zu den Baustellen) erweist sich als nachhaltig und weniger kostenintensiv als eine erschwerte Transport- und Lagerlogistik mit langen Anfahrtswegen.

Ackerflächen 2012: Brotgetreide - Weichweizen und Dinkel nach Gemeinden

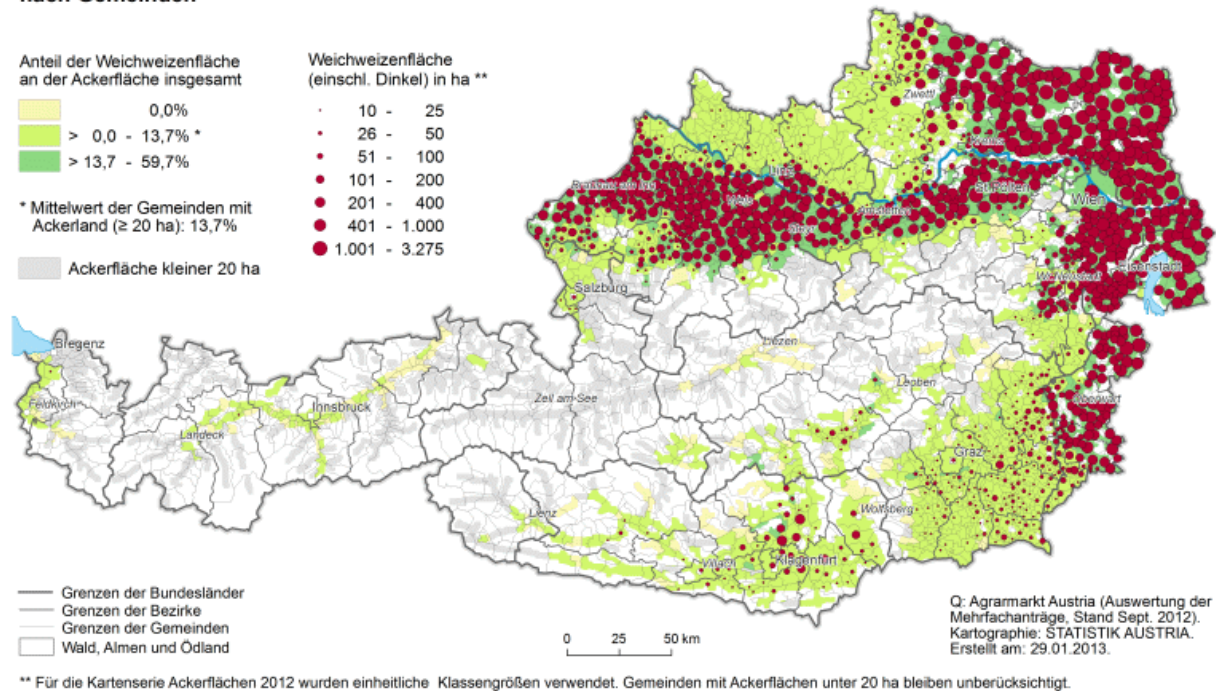


Abbildung 2: Strohaufkommen in Österreich 2012. (Statistik Austria, 2013)

Das Austrian Bio Energy Centre untersuchte anhand des folgenden Diagrammes den Stroh- und Kornertrag im Zeitraum von 1988 bis 2007 in Österreich:

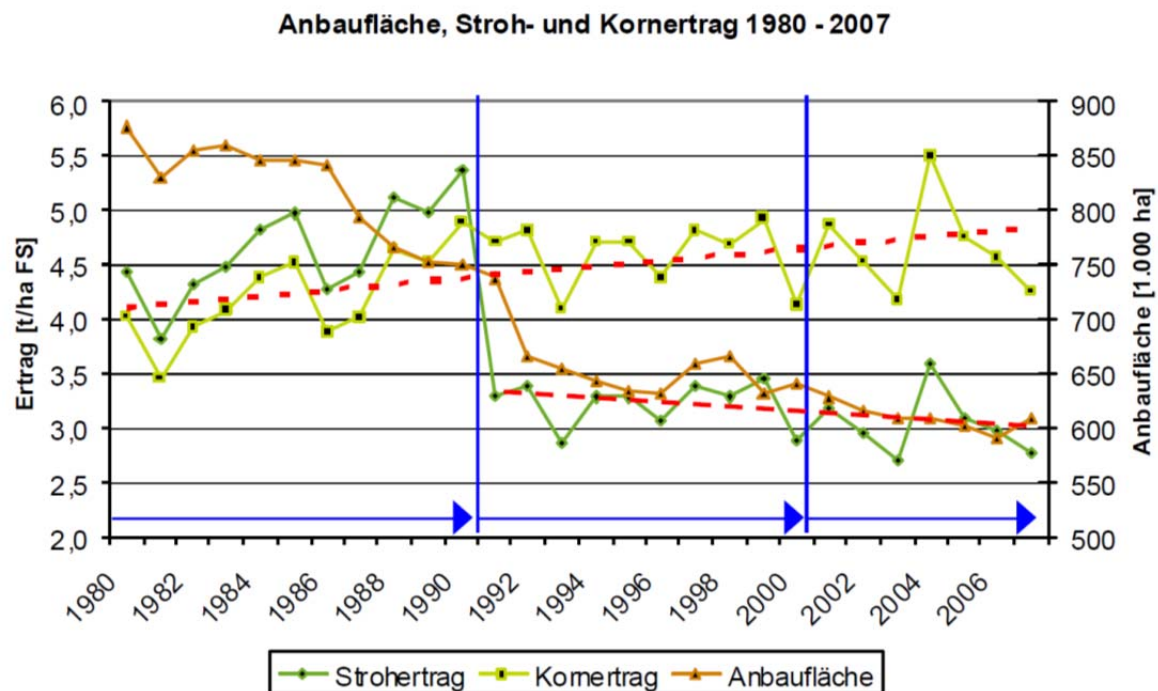


Abbildung 3: Anbauflächen und deren Strohertrag in Österreich im Zeitraum von 1980 bis 2007. Der Strohertrag geht tendenziös zurück, trotzdem ist bis dato noch immer mit einer hohen Verfügbarkeit des Strohs zu rechnen. (Eder et al., 2007)

Weiters untersuchte es in dem Bericht "Situation der Strohverbrennung in Österreich" (Eder et al., 2007):

- Ca. 30% der Flächen in Österreich werden agrarisch genutzt. (3,27 Mio. ha, davon sind 1,4 Mio. ha Ackerflächen)
- Landwirtschaftliche Rohstoffpreise steigen
- Rund 20 ha Land gehen der Landwirtschaft durch Verkehr und Bauflächen täglich verloren.
- Zwischen 1995 bis 2020 wird mit einem agrarischen Flächenrückgang von 7 % gerechnet.
- Lt. Diagramm sind von 1980 bis 2007 die Getreideanbauflächen von 875.000 auf 595.000 ha um umgerechnet 32 % zurückgegangen.
- Die Kultivierung von Ölfrüchten hat sich von 1980 (10.000 ha) bis 2007 (100.000 ha) verzehnfacht.
- Der Getreidestrohertrag ist von 1980 mit 4,5 Mio. t auf 2,7 Mio. t im Jahr 2007 gesunken.

Die Strohmenge in Österreich belief sich 2007 lt. Austrian Bio Energy Centre auf ca. 2,7 Mio. Tonnen pro Jahr. Diese wird vordergründig für Einstreu in der Tierhaltung, als Düngung (steigende Bedeutung aufgrund hoher Düngerpreise) und sonstige Zwecke, wie energetische Nutzung, etc. eingesetzt. Je nach Studie beläuft sich das freie Potential an verfügbarem Stroh zwischen 0,4 und 1,1 Mio. Tonnen pro Jahr. Insbesondere in den Trockengebieten Ostösterreichs ist aufgrund der verhältnismäßig geringen Niederschlagsmenge das Strohaufkommen höher, da das Stroh in der Reifungsphase durch Sonneneinstrahlung und Trockenheit weniger Gefahr läuft vor der Ernte der Verrottung durch Nässe ausgesetzt zu sein. Speziell Niederösterreich wird oft als die Kornkammer Österreichs bezeichnet.

In folgender Abbildung wird das Verhältnis der Produktionswerte insbesondere zwischen pflanzlicher und tierischer Erzeugung im Diagramm dargestellt. Inwieweit dieses Verhältnis eine nachhaltige Agrarwirtschaft bestimmt, wird später noch ausgeführt, bzw. inwieweit es ökologisch eine Rolle spielt, welche/n agrarische/n Erzeugerin man für die Produktion der Strohballen-Baustoffe beauftragt.

Produktionswerte des Wirtschaftsbereichs Landwirtschaft zu Herstellungspreisen 2010: Grobstruktur nach Bundesländern

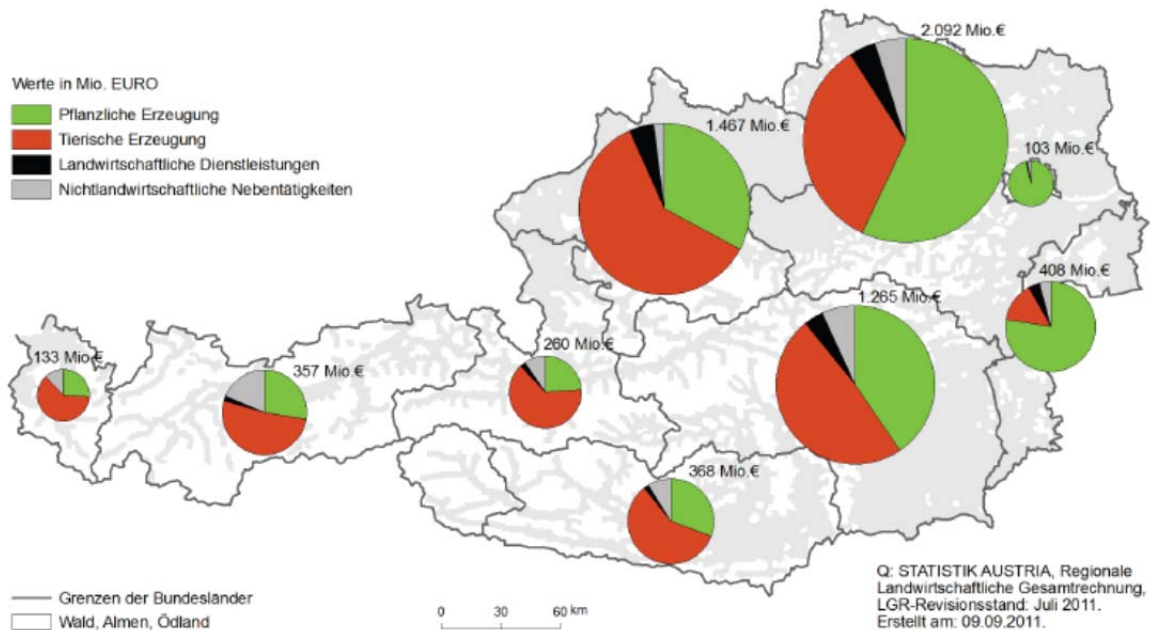


Abbildung 4: Agrarische Produktionswerte und das Verhältnis zu pflanzlicher (grüne Darstellung) und tierischer Erzeugung (rote Darstellung). (Statistik Austria, 2011)

In folgender Abbildung werden die Ackerlandnutzung und deren Unterteilung in Speise- und Futterkulturen den Bundesländern zugeordnet. Eine nachhaltige, sprich zukunftsfähige Agrarerzeugung spiegelt sich u.a. in dem Grundsatz „Teller - vor Trog - vor Tank“ wider. Die konventionellen Nutzungsformen bzw. Bewirtschaftungsformen bringen Probleme, im Speziellen z.B. durch petrochemischen Düngeinsatz, durch vermehrten Kalorieneinsatz bei der sogenannten Veredelung, sprich bei tierischer Erzeugung, durch Einsatz von Tiermedikamenten und die damit verbundene Gefährdung des Grundwassers und des Trinkwasserkreislaufes durch Monokultivierung und Saatgutmonopolisierung (regionale Schäden am Ökosystem), durch genmanipulierten Futtersoja aus Regenwaldgebieten und Schwellenländern (globale Schäden), etc. mit sich. Demgegenüber steht die biologisch-orientierte Erzeugung von Speisekulturen und Brotgetreide. Diese Bewirtschaftungsform wirkt sich positiv auf eine Ökologisierung verschiedenster Kreisläufe aus. Diese Aspekte und inwieweit der/die Auftraggeberin für Strohballen - Baustoffherzeugung darauf Einfluss nehmen kann, werden später näher ausgeführt.

Nutzung des Ackerlandes 2010 nach Bundesländern

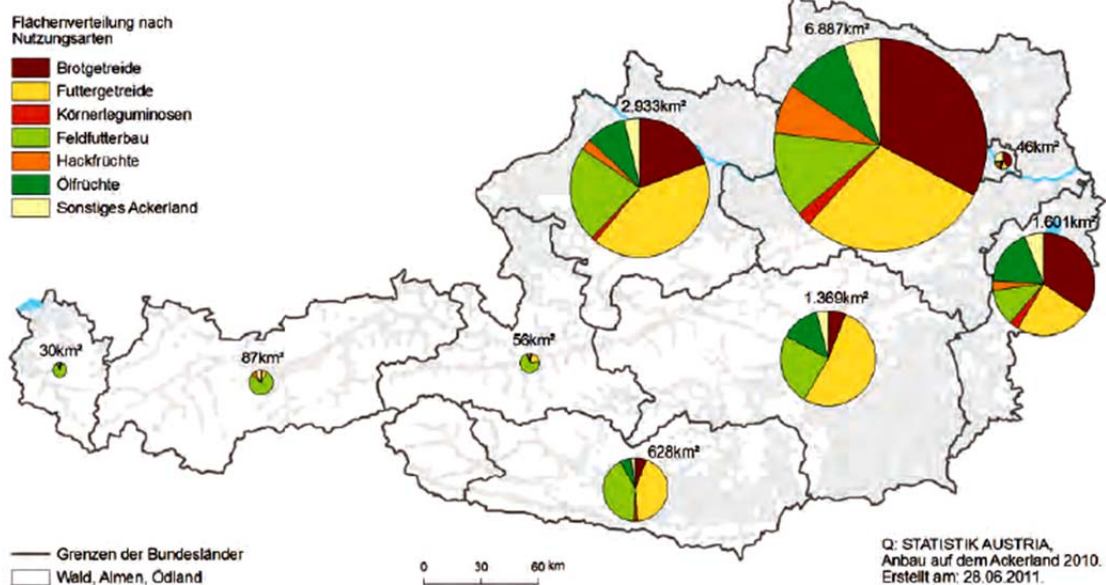


Abbildung 5: Ackerlandnutzung nach Bundesländern 2010, (Statistik Austria, 2011)

Laut der Statistik nimmt der Verbrauch an Getreidestroh für bioenergetische Nutzung mit 0,2% einen marginalen Stellenwert im Vergleich zu anderen Bioenergieträgern ein. Scheitholz, Abfallverbrennung und Waldhackgut bilden die größten Anteile. So wie die energetische Nutzung von Getreidestroh (z.B. für die thermische Rückgewinnung), ist auch die stoffliche Nutzung (z.B. als Baustoff) noch in ihren Anfängen.

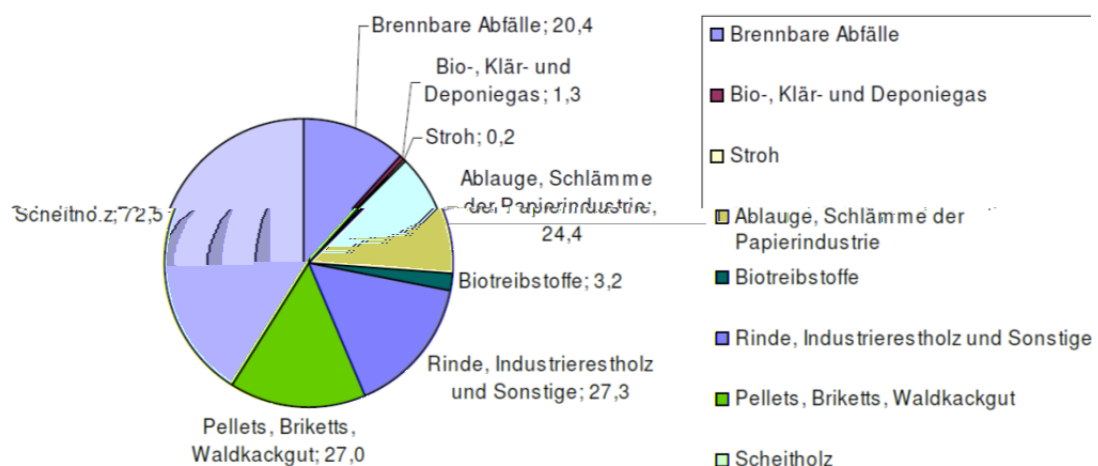


Abbildung 6: Bruttoinlandsverbrauch Bioenergie 2005. (Statistik Austria, 2006)

Der Getreidestroh-Einsatz lässt sich, wie bereits erwähnt in stoffliche Nutzung (z.B. für Dämmstoffe, diverse Baustoffe aller Art, Verwertung für Klebstoffe, etc., aber auch in der gartenbaulichen Nutzung, zur Bodenauflockerung und als Einstreu in der Tiermast) und in die energetische Nutzung in Form von Bioenergie und Biomasse unterteilen. Biomasse wird

entweder thermisch in Energie durch Verbrennung in Heizkraftwerken rückgewonnen oder es wird sogenanntes Biogas aus Stroh durch biogene Vergärungsprozesse in Biogasanlagen generiert. Dabei handelt es sich jedoch vorwiegend um Gülle und eventuell auch Mist, vormals Stroheinstreu in der Tierproduktion. Für die Gewinnung von Biogas sind Vergärungs- und Zersetzungsprozesse von Vorteil, die einen hohen Eiweiß- oder Enzymanteil erfordern. Stroh allein verrottet nämlich sehr langsam. Der hohe Anteil an Lignin in der Pflanzenfaser verzögert die Zersetzungsprozesse und die Vergärung.

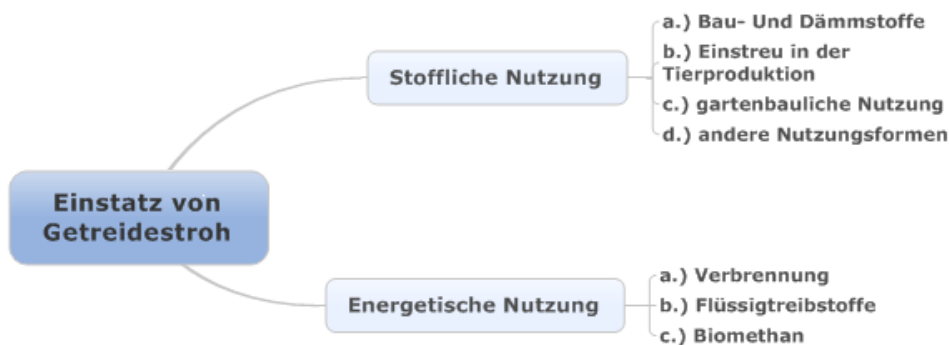


Abbildung 7: Unterteilung des Einsatzes von Getreidestroh (Ecker, 2013)

Stoffliche Nutzung:

- a.) Bau- und Dämmstoffe: als Strohballen in Klein- oder Großformaten, als faserverstärkender und dämmwirkender Zuschlag z.B. in Lehmziegeln (außereuropäisch auch als Adobe-Ziegel bezeichnet), Bauplatten aus Strohfasern für Innenausbau (Möbel, Türen, Wandpaneele, etc.), Formpressungen technischer Bauteile.
- b.) Einstreu in der Tierproduktion: Der größte Anteil wird für die Großtierhaltung eingesetzt (Rinder, Pferde, Schweine). Nach der Nutzung wird Gülle und Mist zumeist auf Wiesen und Felder aufgebracht. Weizen- und Roggenstroh können Feuchtigkeit besser aufnehmen als Gersten- und Haferstroh.
- c.) Gartenbauliche Nutzung: Am Acker verbleibt nach der Ernte die Wurzel und der abgeschnittene Halm, diese werden als Dünger wieder ins Feld eingebracht. Stickstoffbildende Gründüngungen, wie z.B. Klee treiben den Verrottungsprozess der sehr beständigen Lignine im Stroh bzw. die Humusbildung voran. Stroh wird auch als Unterlage bei Erdbeer- und Tomatenkulturen, als Frostschutz bei Jungbäumen, als Mulch und als Aufzuchtsubstrat für Pilzkulturen verwendet.
- d.) Andere Nutzungsformen: wie z.B. geflochtene Bienenkörbe, Schuhwerk, Hüte, als Verpackungsmaterial, mitunter auch für die Papierherstellung, wieder eingeführte Strohkernmatratzen, Formgussprodukte, Garne, etc. (Holzmann & Wangelin, 2009)

Energetische Nutzung:

- a.) Verbrennung: Thermische Rückgewinnung und Stromerzeugung, z.B. bei (Block-) Heizkraftwerken u.a. mit gleichzeitiger Stromgewinnung in der sogenannten Kraft-Wärme-Kopplung
- b.) Flüssigtreibstoffe: In bestimmten Herstellungsverfahren ist zellulosereicher Rohstoff das Ausgangsprodukt (u.a. Zellulosealkohol). Diese Treibstoffe befinden sich in Entwicklung.
- c.) Biomethan: Die Vergärungsrückstände können dem Boden wieder zugeführt werden und es tritt kein Nährstoffverlust auf. 2012 wurde in Sachsen-Anhalt in Deutschland eine derartige Anlage erstmals in Betrieb genommen. Sie generiert aus jährlich 20.000 Tonnen Stroh Biomethan.

4.2.1 Saisonale Verfügbarkeit

Aufgrund der saisonal begrenzten Verfügbarkeit des Strohs bedarf es einer gut geplanten Logistik. Viele Rohstoffe sind das ganze Jahr über verfügbar. Stroh hingegen wird während des Zeitfensters der Erntesaison eingebracht und wird dann auch zumeist in der landwirtschaftlichen Tierhaltung eingesetzt und aufgebraucht. Somit bedarf es schon im Vorfeld an Absprachen und Vereinbarungen, um die Menge an erforderlichen Baustrohballen sicherzustellen.

„Der richtige Zeitpunkt für den Bauherren ist ca. 3 Monate vor der Getreideernte, also im Mai. Sinnvoll ist es, wenn möglich einen Bauern zu finden, der bereits Erfahrungen mit dem Strohballen als Baumaterial gesammelt hat. Zu Bedenken gibt es, dass die Ernte für alle Bauern eine Arbeitsspitze ist, d.h. das Hauptgeschäft liegt für die Bauern zunächst in der Ernte und nicht beim Pressen und Bergen. Ein ganzes Jahr wird auf diesen Zeitpunkt hingearbeitet und alle Arbeiten müssen in Hand laufen. Vom Funktionieren dieses Arbeitsablaufes ist entscheidend der Verdienst abhängig. Deshalb sollte der Bauherr sehr sorgfältige Absprachen treffen und gut vorbereitet sein. Das Pressen und Bergen der Ballen kann sich witterungsbedingt um Tage und Wochen verschieben, was sehr nervenaufreibend sein kann.“ (Hansen et al., 2004).

Die Bauphase ist ebenso zeitlich festgelegt. Vorzugsweise sollen während der niederschlagsfreien, warmen Monate, die Holz-Stroh Bauteile oder Module aufgebaut werden, um eine trockene Errichtung sicherzustellen. „Schäden durch direkt eintretendes Wasser sind im Allgemeinen die größte potentielle Gefahr für Strohballenwände und es gilt, dies in den konstruktiven Details zu berücksichtigen. Auf jeden Fall ist nach dem Errichten der Wände so schnell wie möglich das Dach fertigzustellen.“ (Gruber & Santler, 2012). Eine etwaige eingeschränkte Verfügbarkeit der Ballen und das Zeitfenster der Errichtung muss somit gut geplant und aufeinander abgestimmt werden. „Eine zeitpunktgenaue Anlieferung ist sehr wichtig, da auf den meisten Baustellen keine optimalen Lagerungsmöglichkeiten vorhanden sind.“ (GraT & Global 2000, 2005)

Mehraufwände entstehen, wenn das Stroh bzw. die Ballen in lagertauglichen Hallen untergebracht werden oder neue Hallen und Versiegelungen für Bauflächen hierfür geschaffen werden müssen. Darüber hinaus bedarf es eines zusätzlichen Ablade- und Aufladevorganges und einer Steh- oder Lagerzeit in der Halle oder in der Scheue. Will man diese Kosten

einsparen, erfordert es an Vorlaufzeit und Rücksprache mit dem/der Erzeugerin. Auch Ernteaussfälle, anhaltende Regenfälle oder eine schlechte Trocknung mit erhöhter Restfeuchte sollten als Risiko in Erwägung gezogen werden. Bei entsprechend regen- und windfester Abdeckung mit Planen besteht auch die Möglichkeit der Lagerung im Freien (am Feld oder an der Baustelle). Dies stellt vermutlich die kostengünstigere Variante dar, sofern eine nicht ohnehin leerstehende Lagerräumlichkeit kostenlos genutzt werden kann. Bei der Lagerung im Freien empfiehlt es sich, die Ballen in Pyramidenform z.B. auf Paletten zu stapeln und mit einer regenfesten Folie abzudecken. Durch die Schräge der Pyramide wird verhindert, dass sich auf der Regenschutzplane Pfützen bilden. (Gruber & Santler, 2012). Die Folie muss darüber hinaus gegen Windangriffe fest am Sockel fixiert werden. Eine aufwendigere und auch teurere Variante des Regenschutzes ist ein konstruktiver Folientunnel, wie er in folgender Abbildung dargestellt ist.

Allgemein sollte man bei absehbaren Engpässen in der Strohernte die Möglichkeit haben auf Bestände des Vorjahres zurückgreifen zu können. Hier verliert die saisonale Verfügbarkeit an Bedeutung. Wichtiger ist, die Bauphase kurz zu halten und einen z.B. modularen Hausbau während der warmen, trockenen Jahreszeit rasch abzuschließen. Baustoffpuffer können als Jumboballen (Großformatige Ballen), Rundballen oder Kleinballen zwischengelagert werden. Jumboballen und Rundballen erfordern Gabelstapler, Frontlader und, oder Greifer bei der Einbringung und Lagerung. Rundballen, ev. auch Jumboballen müssen später in das richtige Bauformat, z.B. in Kleinballen umgepresst werden.

Bei steigender Nachfrage des Strohballenbaues, bei Ernteaussfällen und Ernteengpässen muss man auf Bestände des Vorjahres zurückgreifen können. Dazu bedarf es einer gut geplanten Lagerlogistik und ressourcenschonender Maßnahmen:

- günstige Hallen oder Scheunen
- zusätzliche Bodenversiegelungen weitgehend vermeiden
- flexible Lagertechnologie und sinnvolle Standortwahl
- kurze Transportwege
- witterungsfeste und gut belüftete Unterbringung
- Schutz vor Bodenfeuchte, z.B. mit Euro-Paletten

4.2.2 Strohballenpressen

Benjamin Krick (2008) klassifiziert in einem Zeit-Diagramm die eingesetzten Technologien zum Verpressen von Stroh und klassifiziert moderne Ballenpressen:

- 1.) Hochdruck-Kleinballenpressen (HD - Ballenpressen)
- 2.) Quaderballenpressen (Q – Ballenpressen)
- 3.) 3 - String Baler (US – amerikanische Technologie)
- 4.) Rundballenpressen (als größtes Format)

Ad. 1.) Hochdruck – Kleinballenpressen sind heute noch weit verbreitet. Sie werden seit den späten 70er Jahren nahezu unverändert gebaut, da ihre ausgereifte Technologie kaum mehr verbessert werden kann. Die Kleinformate sind manuell einfach zu heben, sprich Kräne oder

Frontlader sind nicht erforderlich. Zudem sind die kleinen Maschinen auf beengten Feldverhältnissen gut zu manövrieren. Sie stellen jene Kleinformate her, die im nicht – lastragenden Strohballenbau am häufigsten eingesetzt werden. Deren Dämmstärke mit circa 36 cm hat sich als effizient herausgestellt. Die Ballen lassen sich aufgrund des geringen Gewichtes leicht anheben und verbauen: Ein Ballen mit einer Abmessung 36 cm / 45 cm / 110 cm und der Dichte von 120 kg/m³ hat ein Gewicht von rund 20 kg.

Tabelle 3: Kenngrößen und Preise (inkl. MwSt. und Lohnproduktion) für HD – Ballenpressen. Ebenso Stückpreise von Ballenformaten, die je nach Quelle sehr unterschiedlich sind. (Krick, B., 2008)

Übliche Ballengrößen	Dichte Ballen	Durchsatz	Anzahl Knoter	Kraftbed. Zapfwelle	Preis Anschaffung	Preis Ballen
cm	kg/m ³	t/h	-	kW	Eur/Maschine	Eur/Ballen
36x46-49	bis 120	20	2	30-	16.500.-	0,27.-
30-130				50	25.500	0,41

Ad.2.) Quaderballenpressen stellen die neue Generation von Ballenpressen dar. Viele Groß- und Mittelbetriebe stellen diese Maschinen trotz der bis zu 8 mal höheren Anschaffungskosten ein. Das hohe Gewicht der Ballen ist manuell nicht mehr zu bewältigen: Ein Ballen mit einer maximalen Abmessung von 120 x 130 x 300 und einer Pressdichte von 220 kg/m³ wiegt rund 1030 Kilogramm und bedingt einen erhöhten Maschineneinsatz. Trotzdem kommen schmalere Q-Ballen z.B. mit einer Höhe bzw. Dämmstärke von 50 cm beim lastragenden, sowie vereinzelt auch beim nicht-lastragenden Strohballenbau zum Einsatz. (z.B.. 50 x 80 x 140 cm mit einem Gewicht von rund 123 kg). Sie werden mit Stapler und Lastkran verladen und versetzt. Die Quaderballenpressen wurden in den 80er Jahren eingeführt und werden laufend weiterentwickelt. Gängige und handelsübliche Marken sind z.B.: Welger, Krone und Claas.

Tabelle 4: Kenngrößen und Preise (inkl. MwSt. und Lohnproduktion) von Q-Ballenpressen und deren Ballen (Krick, B., 2008)

Übliche Ballengrößen	Dichte Ballen	Durchsatz	Anzahl Knoter	Kraftbed. Zapfwelle	Preis Anschaffung	Preis Ballen
cm	kg/m ³	t/h	-	kW	€ / Maschine	€ / Ballen
50-120	bis 220	bis 32	4-	59-	87.000-	1,20-
80-130			6	92	143.000	2,80
70-300						

Ad. 3.) Während in Europa HD-Ballenpressen mit 2 Garnverschnürungen und Q-Ballenpressen mit 4 bis 6 Bindungen gängig sind, ist in den USA der sogenannte 3-String Baler mit 3 Garnbindungen handelsüblich und wird insbesondere zur Herstellung von Ballen zur lasttragenden Bauweise eingesetzt. Gängige Marken werden von *Freeman*, *New Holland* und *Hesston* produziert.

Ad. 4.) Rundballenpressen, die größten Maschinenformate, können zwar nicht unmittelbar baufähige Ballen herstellen, da sie in zylindrischer Form und nicht in Quaderform gepresst sind, sie können aber als Zwischenform und zum besseren und schnelleren Transport eingesetzt werden, wenn das Pressgut dann im Werk in Quaderform als Ballen erneut verpresst werden soll. Eine Produktion im Werk bietet sich dann an, wenn sich der Strohballenbau stärker am Markt etabliert: Hierzu müsste die Lager- und Transportlogistik verbessert und weiterentwickelt werden.

In Europa werden Ballenpressen vorwiegend gezogen, in den USA gibt es darüber hinaus selbstfahrende Maschinen für effiziente Pressungen. Zu bedenken ist, dass sehr schwere Erntemaschinen und Traktoren die unterschiedlichen Bodenschichten und aerobe, oberflächennahe Bodenorganismen und die Durchlässigkeit der Erde (Staunässe, Verschlämmung, oberflächlicher Lehm, Verlust von Humus) schädigen können. Auch hier erweisen sich wiederum die kleinstrukturierten Betriebe mit leichteren Maschinen als ökologisch vorteilhafter.

Ernte und maschinelle Aufbereitung laufen folgendermaßen ab: Nach der Getreideernte, dem sogenannten Drusch bleibt in der Regel das Stroh für ein paar Tage zur weiteren Trocknung liegen. Schon bei der Ernte wird auf eine ausreichende Lufttrockenheit in Abhängigkeit der Witterung und in Abhängigkeit des Tageszeitpunktes (z.B. wegen Morgentau) geachtet. Zur späteren bautechnischen Nutzung darf der Ballen einen Feuchtegehalt von maximal 15% M.-% (15% an Wassergehalt von der Gesamtmasse des Ballens) nicht übersteigen.

Neben Feuchtegehalt, spielen Verkrautungsgrad und Restkornanteil eine Rolle: Der Beikrautbeisatz darf nicht über 0,5 % Masseanteil und der Restkornanteil nicht über 0,4 % Masseanteil liegen (0,5% Beikrautanteil und 0,4% Restkornanteil vom Gesamtgewicht des Ballens). Beikräuter oder sogenannte (Un)kräuter weisen auch in trockener Form eine andere bauphysikalische Beschaffenheit bei Dichte, Festigkeit und Wärmeleitfähigkeit auf als Stroh. Sie sind zudem verrottungs- und schädlingsanfälliger. (Holzmann & Wangelin, 2009). Darüber hinaus ist die Brandbeständigkeit der Strohbauballen durch einen überhöhten Beikrautanteil nicht mehr gewährleistet. Ein überhöhter Beikrautanteil kann die Kompaktheit und somit die Brandbeständigkeit des Strohballens herabsetzen. Beikraut kann insbesondere im ökologischen Landbau eine Rolle spielen: im konventionellen Landbau kommen nebst Herbiziden zur Unkrautbekämpfung, auch Pestizide gegen sogenannte Schädlinge und Fungizide gegen Pilzbefall zum Einsatz. Ein Beikrautanteil kann hier gering gehalten werden.

4.2.3 Anforderungen an die technische Qualität des Rohstoffes

Die Dämmung mit Stroh zeichnet sich vor allem dadurch aus, dass sie weder eine besondere Vorbehandlung noch Zusätze für Brandschutz oder Schädlingsbefall benötigt.

Stroh kann von regionalen Anbietern bezogen werden. (Wimmer et al., 2011) Stroh eignet sich für die Anwendung als Wand-, Decken- und Dachdämmung.

Entscheidend für die Verarbeitung ist der Feuchtegehalt. Übersteigt dieser beim Einbau einen Gehalt von 15 % kann es zur Schimmelbildung kommen. Bei der Dämmung mit Strohballen wird eine Pressdichte von 90 bis 110 kg/m³ erreicht.

Häufig wird im Zusammenhang mit Stroh die Brand- und Schädlingsresistenz diskutiert. Aufgrund der hohen Dichte von Strohballen und durch fachgerechten Einbau kann aber die notwendige Brandsicherheit gewährleistet werden. Der Schädlingsbefall ist ebenfalls durch die hohe Dichte erschwer. (Wimmer et al., 2011)

Stroh als Rohstoff für Baumaterial muss verschiedenen technischen bzw. bauphysikalischen und in bestimmter Hinsicht auch statischen Anforderungen gerecht werden. Zusammengefasst und klassifiziert kann man folgende Anforderungen subsummieren:

- Der **Feuchtegehalt** ist maßgeblich bei der saisonalen Ernte (Vermeidung von Regen- und Staunässe am Acker, Morgentau, zu viel Restfeuchte im Getreide). Nach der Pressung und während der Lagerung ist ein Monitoring zur Feuchteüberprüfung sinnvoll (z.B. durch mobile Messgeräte). Der Feuchtegehalt von 15 Masse-% soll nicht überschritten werden, um die Gefahr von Schimmelbildung und Verrottung auszuschließen.
- Der **Restkornanteil** soll eine bestimmte Grenze nicht überschreiten. Zuviel Getreidekorn im Ballen kann eventuell Mäuse anlocken, die über den Putz oder die Verschalung in die Dämmung eindringen. Zudem kann das Korn z.B. nach einem Lehmputzauftrag zu keimen beginnen und die Putzarbeiten erschweren. Das Eiweiß des Korns stellt zudem auch eine Grundlage für Schimmelpilze dar. Die Grenze für den Restkornanteil liegt bei 0,5 Masse-%. Anmerkung: Für Mäuse ist Stroh kein Nahrungsmittel und die stark verdichteten Strohballen, die eine Dichte von 90 kg/m³ und mehr aufweisen, bieten den Nagern genügend Widerstand um ihr Einnisten zu verhindern. Dies ist allenfalls möglich, wenn zwischen den Ballen Fugen entstehen, die nicht oder nur leicht ausgestopft sind.
- **Beisatz von Beikräutern** kann zum Problem werden, wenn dieser nach dem Pressen im Ballen nicht gut ausgetrocknet sind, bzw. der Anteil im Ballen überaus hoch ist. Zuviel Beikräuter- oder Gräseranteil kann die Dämmwirkung sowie die Brandbeständigkeit beeinträchtigen, da die getrockneten Pflanzen und deren Fasern nicht die bauphysikalischen Eigenschaften wie die des hohlen Strohhalmes aufweisen. Der Getreidehalm ist außen mit einer schützenden Wachsschicht umgeben. Diese Vorteile bzw. Eigenschaften können Beikräuter und Gräser nicht vorweisen. Sie sind somit anfällig gegenüber Feuchte und Verrottung. Der kundige Experte untersucht vor der Ernte, bzw. nach der Ernte nach eigenem Ermessen inwieweit das geerntete Stroh dadurch beeinträchtigt ist.
- Zu beachten ist auch die **Halmlänge** heutiger Getreidesorten. Sie ist oftmals kürzer als die von alten oder früheren Sorten. Sogenannte biochemische Halmverkürzer oder Wachstumsregulatoren schränken die Wuchslänge des Strohs ein und sollen die Standfestigkeit der Pflanze und indirekt die Erntemenge an Getreide erhöhen. Ein gut ausgebildeter, langer Halm, mit einem für die Dämmwirkung gut ausgebildeten Hohl-

raum eignet sich aber besser als Halme, die zu stark verkürzt sind bzw. sehr dünne bis keine Hohlräume aufweisen. Qualitativ sinnvoll ist es auch, wenn die Halme bei der Ernte aufrecht stehen und das Getreide nicht aufgrund von Regen oder Hagel auf dem Ackerboden liegt. Das Stroh könnte so zu feucht bei der Ernte sein oder gar erste Verrottungsschäden aufweisen. Die Schnittlänge wird beim Drusch eingestellt. Darüber hinaus sollen der Schneidwagen und die Messer bei steinigten Böden nicht zu tief eingestellt sein, weil die Messer dadurch Schaden erleiden.

In der Expertise (Hansen, et al., 2004) für den Fachverband Strohballenbau Deutschland) wurde u.a. der richtige Zeitpunkt für die Ernte bzw. für die Herstellung von optimalen Strohballen als Baustoff erörtert:

- Ca. 3 Monate vor der Getreideernte ist ein sinnvoller Zeitraum, um den richtigen Bauern zu finden. Das Hauptgeschäft des Bauern liegt vorrangig in der Ernte und nicht im Stroh. Sein Verdienst ist von Getreideernten abhängig, ergo dessen schenkt er der Strohproduktion weniger Beachtung. Das Pressen und Bergen kann sich witterungsbedingt um Wochen verschieben. Deswegen sind sorgfältige Absprachen und gute Vorbereitungen wichtig.
- Der richtige Presszeitpunkt ist zwei Tage nach dem Drusch. Danach sind auch bei Sonnenlage die nun offen liegenden Halmröhren und der Anschnitt trocken.
- Vor dem Pressen darf es nicht regnen, auch nicht auf bereits gepresste und nicht eingebrachte Ballen.
- Wichtig ist der zeitgerechte Transport vom Feld zum Lager mit entsprechenden Maschinen und Ladewägen
- Ein bereits vorbereitetes, wasserdichtes Lager, nicht direkt am Betonfußboden, vermeidet Feuchte und Kälte von unten. Dienlich sind trockene Lagerpaletten, die eine Belüftung am Boden ermöglichen.
- Ausreichende Helferinnen sollten darauf achten, dass die Ballen bei Transport und bei der Lagerung nicht verschoben oder krumm gedrückt werden. Die Ballen sollten immer an beiden Schnüren getragen werden, um das Abstreifen oder Verrutschen der Schnüre zu verhindern.
- Der beste Presszeitpunkt der Pressung ist am Nachmittag zur größten Hitze, um einen etwaigen Eintrag von Taunässe zu vermeiden.
- Ein großer Beisatz von grünen Beikräutern erfordert eine längere Trocknungszeit als zwei Tage. Am besten sollte man vor der Pressung nochmals den Feuchtezustand von Beikräutern überprüfen.
- Optimal ist es, wenn das Getreide vor dem Drusch steht und nicht durch Regen, Wind oder Halme am Boden zum Liegen kommt. Bei am Boden liegenden Ernten werden die Mähbalken generell tiefer gestellt. Der Feuchteeintrag bei liegenden Halmen ist höher, zudem können kleine Steine das Schneidwerk der Mähdrescher zerstören und so Unkosten verursachen.

Stroh aus der konventionellen Produktion ist normalerweise holziger als jenes aus biologischer Erzeugung, da das Getreide mit einem Halmverkürzer (*Cycocel* beeinflusst das hormonelle Wachstum der Pflanze und steigert die Masse des Korns) chemisch behandelt bzw. gespritzt wird. Der Halm erhält zwar mehr Festigkeit, die Halmverkürzung ist jedoch ungünstig für den Pressvorgang. Zudem befinden sich in der konventionellen Herstellung Reste und Abbauprodukte von Insektiziden, Herbiziden und Fungiziden im Ballen und im Korn.

Industrialisierung und Produktionssteigerung in der Agrarwirtschaft hat dazu geführt, dass nahezu keine Strohpressen mehr für Kleinballen produziert werden. (Höhe ca. 35 cm, Breite ca. 45 cm, Länge variiert zwischen 35 und 95 cm). Großballen- und Rundballenpressen hingegen werden technisch immer weiter entwickelt und immer mehr eingesetzt. Sie verdrängen die Kleinballenpressung. Mittelformatige Pressen werden am Markt ebenso angeboten, jedoch kaum eingesetzt. (Ballen mit Höhe ca. 60 cm, Breite 90 cm, Länge variabel).

Man muss damit rechnen, dass sich die Anzahl der Kleinballenpressen weiterhin verringern wird. Es gibt noch zahlreiche Klein- und Mittelbetriebe, die diese Kleinformate einsetzen und bevorzugen, da die Einstreu in der Tierhaltung von Hand vorgenommen werden kann. Zum Bauen werden gerade diese Kleinformate eingesetzt, da sie günstige Abmessungen ergeben und zudem einfach per Hand z.B. in die Holzelemente eingelegt werden können.

Technische Qualitätsverbesserungen erzielt man durch Einstellungen an der Pressmaschine (Hansen et al., 2004):

- Alle Pressen haben die Möglichkeit die Festigkeit der Ballen einzustellen. Diese Einstellung sollte immer am obersten Limit sein. Die Ballenfestigkeit lässt sich durch im Presskanal eingeschweißte Flacheisen erhöhen: Die Flacheisen verengen den Presskanal und bewirken so eine nachträgliche Verdichtung der Ballen, der beim Austreten aus dem Kanal gegen mehr Widerstand zu arbeiten hat. Die Flacheisen mit den Stellschrauben müssen jedoch so angeschweißt werden, dass sie die Schnüre nicht verletzen oder an diesen scheuern.
- Optimal sind Kleinpressen mit einer U-Schiene als Schnurfurche. Die Schnur wird besser platziert und kann weniger verrutschen.
- Von Vorteil ist auch eine verengte Ladeschurre (verlängerter Presskanal aus Rundgestänge, um die Ballen besser am Anhänger austreten zu lassen.) Die Ladeschurre und das Gestänge wird im Querschnitt verengt: So werden die Ballen kompakter und gerader in ihrer Form.
- Die Einstellung der Kolbenmesser und der Gegenschneide soll möglichst nahe beieinander liegen, bzw. nicht über 5 mm (siehe Bedienungsanleitung, je nach Pressentyp unterschiedlich). Ein gerader und exakter Schnitt in der Pressmaschine ermöglicht eine eher glatte Strohwand, die weniger Nacharbeit und Nachschneiden erfordert. Eine bereits gerade Wand ist so einfacher zu verputzen oder zu verschalen. Die Schnittflächen der Strohballenwand sind gerade bzw. glatter als bei einem schlecht eingestellten Kolbenschnittmesser. Sind jedoch zu viele Steine im Pressgut bzw. Kiesel am Boden, sollte das Schneidwerk über 5 mm eingestellt werden, um ein Zerstören der Schneidmesser zu verhindern.

Gegenwärtig werden Bauprodukte aus Stroh teilweise ähnlich wie die historischen eingesetzt, bzw. es wurden deren Baustoffeigenschaften untersucht und weiter entwickelt. Die Art der Anwendung ist vielseitig:

- a.) Strohhäcksel zum Einblasen
- b.) Faserzuschlag für Lehmputze, Stampflehm und Lehmziegel
- c.) Stopfdämmung mit losem Stroh (z.B. als nachträgliche Außendämmung)
- d.) Strohfaserplatten (ähnlich Holzweichfaserplatten)
- e.) Ballen für Stroh-Holz-Leichtbau: nicht-tragend
- f.) Ballen für lasttragende Bauweisen
- g.) Ballen für Stroh-Holz-Massivbau (z.B. S-house)
- h.) Peripher zur Dacheindeckung für Freilichtmuseen bzw. Retro-Wohnbau
- i.) Dämmstoffplatten
- j.) Strohbauplatten

- a. Strohhäcksel zum Einblasen wird ähnlich wie eingeblasene Zellulose oder getrocknete Grasdämmung eingesetzt. Das geschredderte Stroh wird über einen ventilierten Schlauch in die zu dämmenden Zwischenräume eingebracht. Es kann überall dort eingesetzt werden, wo auch sonst eingeblasene Dämmmaterialien verwendet werden: in der Zwischendecke, als Außendämmung, beim Dachausbau bzw. im Wandaufbau von Dachschrägen und in der obersten Geschoßdecke. In kritischen, schwer zugänglichen Ecken muss sorgfältig auf eine ausreichende Dichte geachtet werden bzw. weitgehend manuell nachgestopft werden.
- b. Faserzuschläge in Lehmziegeln, Putzen oder bei Stampflehm haben eine bewehrende und festigende Wirkung. Sie wirken Trocknungsrisen entgegen und verringern Abrieb, Erosion und Zerfall der Ziegel durch Drucklasten.
- c. Die lose Stopfdämmung kann zur Außendämmung hinter einer vorgesetzten Holzverschalung eingesetzt werden. Zudem müssen die Fugen bei den Ballen-Einbauten händisch nachgestopft werden, um Wärmebrücken zu unterbinden.
- d. Strohfaserplatten werden ähnlich wie Holzfaserplatten erzeugt. Das zerfaserte Stroh wird unter Druck und mit Bindemitteln verdichtet und zu Platten verpresst. Sie werden ähnlich wie die Holzfaserplatten für beispielsweise Innenausbauten eingesetzt.
- e. Stroh-Kleinballen für Holz-Leichtbau-Konstruktionen können in der Vorfertigung im Werk oder vor Ort an der Baustelle in die Holzrahmenkonstruktion eingesetzt werden.
- f. Bei der lasttragenden Bauweise werden vorwiegend Jumboballen oder Quaderballen eingesetzt. Sie sind zumeist dichter verpresst und können höhere Lasten abtragen.
- g. Ballen für Stroh-Holz-Massivbau wurden z.B. beim S-house als Dämmung vor eine massive tragende Holzschale vorgesetzt. Der Aufbau ist kompakter, da durch die

durchgehende Strohballendämmschicht keine Fugen oder potentielle Wärmebrücken aufgrund von Holzkonstruktionen anfallen.

- h. Strohdacheindeckungen wurden über Jahrhunderte angewandt. Das Handwerk wird nach und nach wieder entdeckt und nicht nur bei Freilichtmuseen praktiziert.
- i. Das Stroh der Dämmstoffplatten wird nicht zerfasert, sondern nur unter hohen Druck verklebt und verpresst. Sie eignen sich zur Außendämmung und thermischen Sanierung. In Verbindung mit Lehm- oder Kalkputzen erreicht man ein synergetisches Zusammenspiel der Baustoffe.
- j. Strohbauplatten werden mit und ohne Bindemittel unter Hitzeeinwirkung gepresst. Das Stroh bleibt in der Regel ganz bzw. wird nur beschränkt zerfasert. Die Produktvielfalt umfasst leichte, kartonkaschierte bis hin zu festen Ausbauplatten, ähnlich wie Holzspanplatten (Holzmann & Wangelin, 2009). Die Platten eignen sich zum Innenausbau und zum Möbelbau.

4.3 Baustoffherstellung

4.3.1 *Baustrohballen: Abmessung, technische Qualität, Einbaurichtung*

Befragung Strohhersteller und Hersteller von Strohpressen

Abmessungen: Breite und Höhe der Ballen ergeben sich durch die Querschnittsabmessung des Kanals der Ballenpresse. Die Länge der Ballen beträgt üblicherweise 80 cm oder 90 cm. Sie ist in der Regel zwischen 50 cm und 100 cm manchmal auch bis 120 cm in Schritten von etwa 10 cm einstellbar. Dies ist dadurch bedingt, dass die Presse das Stroh in Portionen aufnimmt und diese zu ca. 10 cm dicken Lagen presst, die dann aneinander gereiht und mit zwei Bindefäden zusammen geschnürt werden.

Laut Fa. Waldland Naturstoffe GmbH sind derzeit zwei Abmessungen von Strohballen im Handel. Erstens gibt es den „Multiballen“ mit den Abmessungen 700 cm Breite, 1250 cm Höhe und einer Ballenlänge (entspricht der Dämmstärke) von 360 cm. Dieser Ballen kann nur mit entsprechender Vorbestellung geordert werden, das heißt die Bauzeit muss bekannt sein daraus ergibt sich die notwendige Erntezeit und daraus ergibt sich der Zeitpunkt für die Vorbestellung.

Zweitens gibt es den „Normalballen“, der hat die Abmessung 400 cm und Breite 400 cm Höhe. Die Tiefe (entspricht der Dämmstärke) variiert von 300 cm bis 800 cm. Diesen Baustrohballen gibt es als Lagerware. Der Normalballen ist ein zertifizierter Baustrohballen und wird aus 100% Weizenstroh hergestellt.

Die Fa. Kreativer Holzbau GmbH (GF Christoph Kastner) verwendet bei dem von ihr vertriebenen system/haus/bau wiederum einen anderen Strohballen. Dieser hat eine Strohballenbreite von 750 cm und passt somit in das von der Firma bevorzugte Achsmaß von 800 cm. Dieser Strohballen wird ebenfalls von der Firma Waldland produziert.

Henry Haage Bauingenieur und Strohbauperte definiert 2008 in seinem Buch „Wandkonstruktionen mit Strohballen“, die Dimensionen lt. folgender Darstellung:

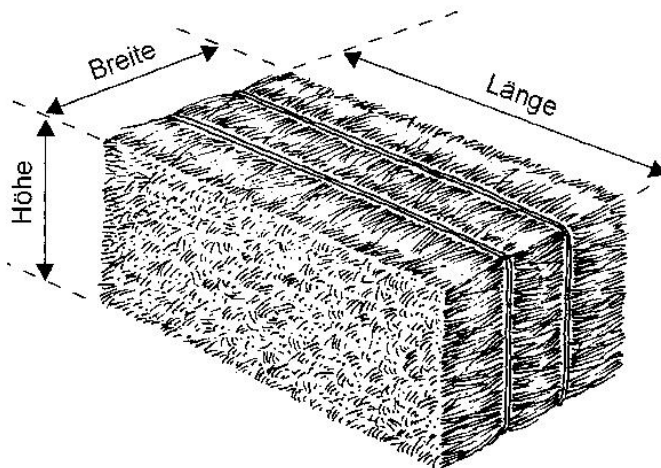


Abbildung 8: Strohballenabmessungen (Lacinski, Bergeron, 2000) übernommen in (Minke & Krick, 2009)

Haage (2008) übernimmt die Definition für die Abmessungen von den Autoren Gernot Micke und Benjamin Krick aus dem „Handbuch Strohballenbau“ (Minke & Krick, 2009). Diese Autoren übernahmen die Definition von Lacinski, Bergeron aus dem Jahr 2000. In der Literatur finden sich auch unterschiedliche Angaben zu der Definition von Länge, Breite und Höhe beim Bauteil Strohballen. Die obige Definition scheint am geläufigsten zu sein. Die quaderförmigen Ballen werden auch in dieser Weise in der Scheune gelagert und gestapelt.

Die Dämmwirkung ist neben der Baustoffdichte auch abhängig von der Halmorientierung der Pressballen bzw. in welcher Richtung letztlich eingebaut wird. Das Stroh wird in ca. 10 cm dicken Presslagen im Presskanal der Ballenpresse geschichtet. Diese Schichten oder Lagen werden ebenso im Presskanal hintereinander gesetzt und letztlich mit der an der Maschine voreingestellten Ballenlänge verpresst und verschnürt. Seitlich sind die Halmüberstände geschnitten, bzw. teilweise durch den Presskanal um 90 Grad geknickt. Die Orientierung der hohlen Halme verläuft in Richtung der Breitseite. Vergleichbar sind diese länglichen Hohlräume auch mit einem Hohllochziegel. Dieser wird so eingebaut, dass die Dämmstruktur, bestehend aus vielen kleinen durchgehenden, länglichen Hohlräumen und dazwischen liegenden Stegen quer zum Temperaturverlauf in der Wand eingebaut wird, um eine bessere Dämmwirkung zu erzielen. Der Hohllochziegel hat durch die Anordnung von Hohlräumen und Stegen darüber hinaus auch eine statische und lasttragende Funktion. Wird der Ballen als Dämmbaustoff außen an eine tragende Mauerschale vorgesetzt, sollen auch hier die Hohlräume des Strohhalmes in Richtung der Dämmebene bzw. quer zum Temperaturverlauf des Wandaufbaues verlaufen. Dieser Hinweis wird u.a. auch von dem österreichischen Naturdämmstoffhersteller Waldland bestätigt. Auf der Betreiberseite ist hierzu angeführt, dass zertifizierte Baustrohballen mit Halmrichtung quer zum Wärmeverlauf hergestellt und eingebaut werden um so die optimale Wärmedämmwirkung zu ermöglichen.

(Datenquelle: http://www.waldland.at/de/waldviertler_flachshaus/ , 16.1.2013).

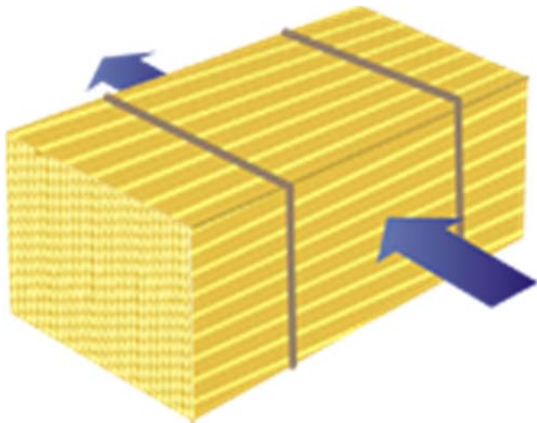


Abbildung 9: Zertifizierter Baustrohballen in optimaler Wärmedämmrichtung hergestellt
 Zinner, G., Almeder, R., 2013. Stroh als Baustoff.
http://www.waldland.at/de/waldviertler_flachshaus/. Abgerufen am 16.1.2013

Im Auftrag der FASBA wurde vom Forschungsinstitut für Wärmeschutz die Wärmeleitfähigkeit von Strohballen gemessen (FIW, 2003). Dazu wurde der Strohballen bei 70° C bis zur Massenkonzanz getrocknet und ein Probekörper von 10 cm Einbaudicke und 0,25 m² Probenfläche mit 90 kg/m³ Rohdichte in einem Sperrholzrahmen verpresst. Die Messungen ergaben eine Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10, \text{tr}}$ von 0,0379 W/(mK) bei 10 °C Mitteltemperatur im trockenen Zustand. Bei Berücksichtigung des Zuschlagswerts nach DIN V 4108-4 Tab. 4 Zeile 4 ergibt sich eine Wärmeleitfähigkeit λ_z von 0,045 W/(mK). Dies entspricht jedoch nicht dem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit für die Berechnung, welcher durch eine bautechnische Zulassung festgelegt wird.

Die von der FASBA in Auftrag gegebene bauaufsichtliche Zulassung von Strohballen wurde vom Deutschen Institut für Bautechnik erteilt (DIBt, 2014) und ist bis 2019 gültig. Darin ist ein Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von 0,052 W/(mK) quer zur Halmrichtung angegeben, wobei die folgenden Anforderungen vorgegeben und zu überprüfen sind:

- Herstellungsverfahren,
- Rohdichte
- Feuchtaufnahme $\leq 18 \text{ M\%}$ bei 23 °C und 80 %,
- Wärmeleitfähigkeit: Messwert $\lambda_{10, \text{tr}} \leq 0,044 \text{ W/(mK)}$ Bei Prüfung des Probekörpers bei 10 °C Mitteltemperatur nach DIN EN 12667
- Brandverhalten; Anforderung Klasse E nach DIN EN 13501-1 erfüllt
- Einbauverfahren:
 - o Konstruktion innen luftdicht;
 - o Einbau mit Wärmestrom quer zur Halmrichtung
 - o Einbaufeuchte Strohballen max. 18 M%
 - o Einbaufeuchte Konstruktionsholz max. 20 M%
 - o Rohdichte in eingebautem Zustand 85 – 115 kg/m³
 - o Feuchteschutz: Gesicherte Bauteilaufbauten mit vorgegebenen Diffusionskennwerten um Schimmel zu vermeiden.

Diese bauaufsichtliche Zulassung (DIBt, 2014) enthält keinen Hinweis auf die Wärmeleitfähigkeit in Halmrichtung, für welche in der zurückgezogenen Zulassung (DIBt, 2009) noch ein Bemessungswert von $0,080 \text{ W/(mK)}$ angegeben war.

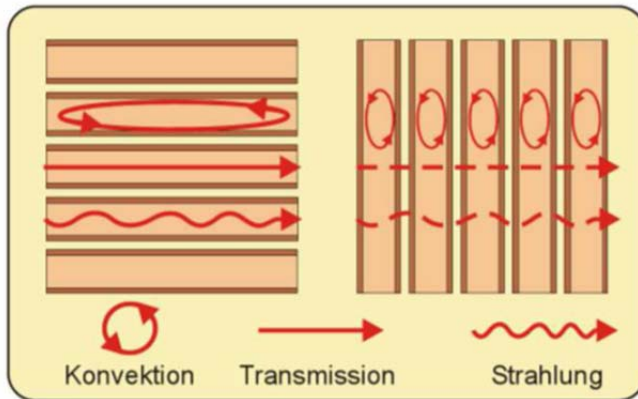


Abbildung 10: Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit der Halmrichtung. Die Wärmeübertragung findet durch Konvektion, Transmission und Strahlung statt. Der Wärmefluss durch Transmission und Strahlung wird bei der querliegenden Halmrichtung am meisten gehindert. Diese Einbauart verbessert den λ -Wert rechnerisch um 35%. (Krick, 2008)

Betreffend Halmrichtung sei hier noch angemerkt, dass aufgrund der unterschiedlichen Strohpressen die Halmrichtung nicht immer eindeutig zu erkennen ist, wie folgende Abbildung zeigt.

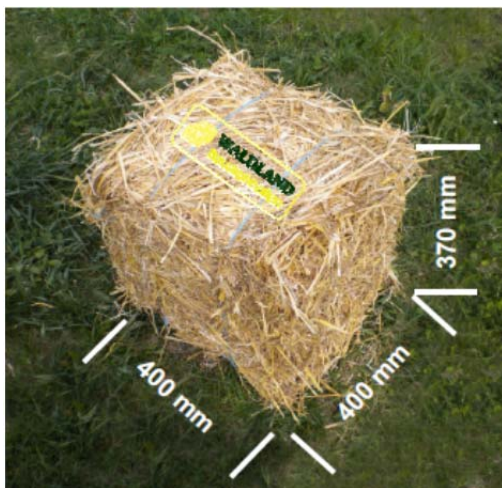


Abbildung 11: Waldland Baustrohballen Standard (Waldland, 2011)

Für Österreich beträgt laut ÖNORM B 8110-7:2013 der Default-Bemessungswert für die Wärmeleitfähigkeit von Strohballen bei $0,051 \text{ W/mK}$, wobei kein Hinweis auf die Faserrichtung angegeben wurde. Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit wurde definiert als der Fraktile-Wert (90 %-Fraktile) bei Ausgleichsfeuchte von 23 °C und 80 % relative Luftfeuchte.

Von der Firma Waldland (Waldland, 2011) wird ein Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von 0,051 W/mK und eine Nenndichte von 105 kg/m³ angegeben, die gemäß Europäischer technischer Zulassung ETA 10/0032 (OIB, 2010) erfolgten, die bis 11.04.2015 gültig ist.

Tabelle 5: Technische Eigenschaften von Waldland Baustrohballen (Waldland, 2015)

	STANDARD (Typ 1)	KOMPAKT (Typ 2)
Zulassungsnummer	ETA-10/0032	
Höhe / Breite	40 / 40 cm	25 – 250 / 25 – 125 cm
Lieferdicken, Dämmstärken	30 - 80 cm	300 - 1250 cm
Inhaltsstoffe	100 % Weizenstroh	
Nenndichte	105 kg/m ³ (95 - 120 kg/m ³)	140 kg/m ³ (120 - 167 kg/m ³)
Nennwert Wärmeleitfähigkeit Kat. 1	$\lambda_D (23,50) = 0,047 \text{ W/mK}$	$\lambda_D (23,50) = 0,084 \text{ W/mK}$
Bemessungswert Wärmeleitfähigkeit (ÖN B 6015-5:2003)	$\lambda_r = 0,050 \text{ W/mK}$	$\lambda_r = 0,080 \text{ W/mK}$
Brandschutzklasse (EN 13504-1)	Euroklasse E	
Biologische Stabilität	Klasse 2	
Strömungswiderstand	mind. 1,9 kPa s/m ² / 2,7 kPa s/m ²	
Wasseraufnahme	max. 6,96 kg/m ²	
Lieferform	Einzelballen, palettiert (Jumbopaletten: 2400x1250x2100 mm)	

Üblicherweise werden die Strohballen in Bezug auf Wärmefluss quer zur Halmrichtung eingebaut. Eine Ausnahme stellt der lasttragende Strohballenbau dar: die Ballen werden aufgrund der quaderförmigen Form so wie folgt beschrieben eingebaut. Die Breitseite als Auflage stabilisiert den Wandaufbau. Zudem können so die Setzungen geringer gehalten werden. Die Enden des geschnittenen Strohs haben zudem die Funktion eines Putzträgers. Wird der Lehmputz maschinell oder manuell aufgetragen, kann er sich so besser mit dem Stroh bzw. den rauen, geschnittenen Strohsenden als Putzträger verbinden.

Die Autoren Gruber und Santler präzisieren diese Eigenschaften und unterteilen den Balleneinbau und die Halmrichtung in folgende Einbausituationen:

- Liegender Ballen mit 50 cm Dämmdicke (Rohrblick). Dieser Einbau ist am gängigsten für den lasttragenden Strohbau. Die Halmschnitte sind sichtbar (Rohrblick). Zwar kann hier ein Putzauftrag ohne Putzträger erfolgen, relativ gesehen (unabhängig von der Dicke) können daraus aber schlechtere Dämmwerte eintreten.
- Stehender Ballen mit 35 cm Dämmdicke (Zaublick) und den unterschiedlich dichten Presslagen. Dieser wird hauptsächlich im Holzständerbau verwendet. Die Dämmwirkung ist durch die Lage der Strohalm-Hohlräume, die gegen den Wärmefluss ausgerichtet ist, besser als beim sogenannten Rohrblick.
- Idealer Ballen bis zu 35 cm Dämmdicke (Zaublick). Er besteht nicht aus unterschiedlichen Presslagen, sondern nur aus einer einheitlich verdichteten Lage. Zudem bewirken 3 bis 4 Schnüre eine kompaktere Form, eine dichtere Verpressung und gerade Kanten, dessen Stöße beim Einbau nahezu nicht nachgestopft werden müssen.

4.3.2 Qualitätssicherung

Die Gruppe angepasste Technologie, GraT fasst im Forschungsbericht „Stroh als Baustoff – zu schade zum Verheizen“ (GraT et al., 2001) 12 Mess- bzw. Beurteilungskriterien zusammen, um Strohbaustoffe qualitativ zu bewerten. Die Qualitätssicherung wird durch folgende Maßnahmen und Messgeräte sichergestellt:

- Optische Begutachtung
- Feuchtemessgerät mit Sensor und Lanze
- Maßband und Waage
- Radiuschablone, Winkelmesser, Maßband
- Mikroskop
- Einstellung des Pressdruckes an der Presse

Das mobile Prüflabor ermöglicht einfache und rasche Messungen Vorort. Die Ballen werden stichprobenartig geprüft. Zudem macht es Sinn schon am Feld eine Prüfung des Rohstoffes vorzunehmen, bei der schon im Vorfeld ungeeignetes Baustroh erkannt und vermieden werden kann. Dazu zählen:

- Zu hoher Beikrautanteil
- Feuchte Stellen und Senken, die mit Niederschlagswasser befüllt sind
- Zu Boden gefallene, geknickte Halme
- Grüne Halme oder Grünanteile in den Halmen
- Vermodertes, verrottetes Stroh oder Schimmelspuren am Halm durch zu starke oder andauernde Regenfälle

Strohballen müssen trocken gelagert werden, das bedeutet, dass sie nicht direkt auf feuchter Erde liegen dürfen und gegen Regen geschützt sein müssen. Auf der Baustelle lagert man sie am besten auf Paletten. Feuchte Ballen dürfen nicht dicht gelagert werden, da sie zu langsam austrocknen und die Gefahr besteht, dass Mikroorganismen einen Verrottungsprozess einleiten.

Tabelle 6: Messkriterien zur Qualitätssicherung, (Wimmer et al., 2001a) Die angeführten Prüfkategorien und die zugehörigen Messgeräte sind ein wesentliches Instrumentarium zur Qualitätssicherung.

Messgröße/-parameter	Qualitätsbeeinflussende Eigenschaften	Messverfahren	Mobil messbar
Feuchte	Verrottung, Mikroorg., Keimung, (Wärmeleitfähigkeit), Rückschluss auf Lagerbedingungen	Handelsübliche Sensoren (el. Sonde), elektrische Leitwertmessung, Messung der relativen Luftfeuchte	Ja
Dichte	Wärmeleitfähigkeit, Tragfähigkeit, Setzung, Nagetierbeständigkeit	Abhängig von: Masse, Volumen, Feuchte Zollstock, Waage	Ja
Maßhaltigkeit + Form	Einbaueignung, Wärmebrücken, Nagetierbeständigkeit	Radiusschablone, Winkelmesser, Zollstock	Ja
Korngehalt	Schädlingsbefall	-	Nein
Zusammensetzung (Beikräuter, ...)	Verrottung, Mikroorg., Wärmeleitfähigkeit	Optisch	Ja
Mikrobieller Befall (Schimmel, ...)	Allergiepotenzial, Baueignung, Akzeptanz, Messung der Sporenzahl	Mikroskop, Kulturen, optisch	Teilweise
Schadstoffgehalt	Baubiologie	Chem. Messverfahren, Studien, Anbaumethoden	Nein
Strohart	Wärmeleitfähigkeit, Haltbarkeit, Stabilität	Optisch	Ja
Pressdruck / Elastizität	Einbauverhalten, Statik, Erdbeben	Druck-, Dichtemessung	Ja
Schnürung	Material, Art d. Bindung	Optisch	Ja
Ballenaufbau	Ausrichtung der Halme	Optisch	Ja
Langfristverhalten (unter feuchten Bedingungen)	Haltbarkeit, Akzeptanz	(Studien USA) Langzeittests an Demonstrationsgebäuden	Nein
Brand	Feuerbeständigkeit	Brandtests	Nein

4.4 Strohbauweisen – Konzepte für Gebäude mit Baustroh

4.4.1 *Herstellungs- und Bautechniken von Stroh-Holz-Elementen*

Gruber, H. et al. führen in ihrem Fachbuch „Neues Bauen mit Stroh“ (Gruber et al., 2012) verschiedene Bautechniken für Stroh-Holz-Elemente an. U.a. verweist Gruber auf die richtige Wahl des Wandsystems: „Der lasttragende Strohballenbau ist in Gegenden entstanden, wo es wenig Holz und kaum Feuchtigkeit gibt. Genau für diese Gegenden und v.a. kleinere Gebäude ist er sicher die erste Wahl...“ Weiters: „Der Holzständerbau hat die Vorteile, dass es kaum Setzungen in der Strohballen-Dämmebenen gibt, dass schneller gearbeitet werden kann, dass die Vorfertigung der Bauteile (Wand, Bodenplatte, Dach) in der Halle möglich ist, dass Fassaden und Installationen leichter zu befestigen sind und, dass man dafür leichter Baubewilligungen erhält.“

Bei nicht last tragenden Strohwänden übernehmen die Strohballen keine tragende Funktion. Diese wird von einer Skelettfunktion übernommen, die in der Regel aus Holzprofilen besteht. Die Strohballen übernehmen dabei die Funktion der Wärmedämmung und in der Regel auch die des Wandabschlusses. Sie sind entweder zwischen den Ständern des Skelettsystems als Ausfachung oder als durchgehende Scheibe vor bzw. hinter der Ständerkonstruktion angeordnet.

Liegen die Strohballen über der Dachkonstruktion, so entsteht das Problem, dass die Dachhaut, die Wetter abweisende Schicht, gegen abheben durch Windsogkräfte befestigt werden muss. Bei geneigten Dächern kommt hinzu, dass die Ballen dazu tendieren nach unten zu rutschen so dass oben am First eine Fuge entstehen kann.

Eine weitere konstruktive Lösung besteht darin, dass die untere Tragkonstruktion lediglich die Strohballen trägt und darüber sich die eigentliche Dachkonstruktion befindet. Diese obere Dachkonstruktion dient der Abtragung von Schnee- und Windlasten und ist somit konstruktiv getrennt von der unteren Lage.

Bei allen konstruktiven Lösungen ist es vorteilhaft wenn die Strohballenschicht entlüftet ist, um das austrocknen eventl. vorhandener Restfeuchte der Ballen bzw. des durch mangelhafte Ausbildung der Dampfsperre entstehenden Tauwassers zu ermöglichen.

Wandkonstruktionen müssen stets einen Spritzwasserschutz bis zu einer Höhe von mind. 30 cm aufweisen. Bei Strohballenwänden sollte deshalb die erste Ballenlage erst oberhalb dieser Höhe beginnen oder aber es wird ein Spritzwasserschutz in Form von Platten oder speziellen Putzen vorgesehen. Eine harte, glatte Fläche vor der Wand ist nachteilig. Vegetation und Kies verringern die Spritzwasserwirkung erheblich. Der μ -Wert der Strohballen beträgt 2,5 nach TGL 35424/2. Aus den feuchtetechnischen Berechnungen für die Dampfbremse im Inneren ergibt sich, dass der Sd-Wert mehr als 10mal so groß wie der Sd-Wert der Außenschicht außerhalb der Dämmung sein soll. Allerdings sollte dieser auch nicht größer als 5 Meter sein, damit die Feuchtigkeit aus den Ballen zu mind. teilweise auch in den Innenraum diffundieren kann (Wimmer et al., 2001a). Eine Dampfsperre in Form einer Folie ist bei einer Dampf durchlässigen Wand, wie sie mit einem Kalkaußenputz oder mit einer hinterlüfteten Schalung erreicht wird, in der Regel nicht notwendig.

Auf der Homepage des Strohbau-Experten und Autors werden die Bautechniken folgendermaßen differenziert und in Handskizzen und Fotos dargestellt:

1.) Lasttragend mit oder ohne Vorspannung

Die Ballen werden versetzt aufgemauert und zusätzlich innen oder außen versteift (mit Holz, Bambus oder Metall). Nachdem sich die Wand gesetzt hat (vier bis sechs Wochen) kann verputzt werden. Die natürliche Setzung kann man umgehen bzw. künstlich herbeiführen, indem man Spannvorrichtungen mit Gurten oder Seilen oder Klammern und Pressen (außen) einsetzt. Ebenso kann man mit Gewindestangen innerhalb des Ballens die gewünschte Vorspannung erzielen.

1.a.) Lasttragend mit Strohballen

Großballen erzielen aufgrund der höheren Dichte bessere Dämmwerte. Zudem sind sie höher belastbar und statisch bestens zur Lastabtragung geeignet. Aufgrund der Halmrichtung in Richtung des Wärmeflusses (sog. Rohrblick) kann sich die Dämmwirkung um bis zu 35% verschlechtern. Die Dämmstärke eines Großballens beträgt bis zu 80 cm, die der Kleinballen rund 36 cm (beide mit Rohrblick eingebaut). Die mehr als doppelte Dämmstärke verdoppelt wiederum die Dämmwirkung.

1.b.) Lasttragend mit Rundungen für Gewölbe, Nischen, Kanten.

Die Ballen werden bearbeitet: gebogen (Gewölbe), gekürzt und gesägt.

2.) Hybride Systeme aus lasttragender Bauweise und Ständerkonstruktion

Bei hybriden Systemen werden die Vorteile der lasttragenden Technik mit der Ständerkonstruktion vereint. Die verputzten Strohballen haben zudem eine windaussteifende Funktion. Die massiven Hilfssteher tragen zusätzliche statische Lasten ab. Sanierungen mit Strohballen sind ebenso hybride Systeme.

2.a.) Dachausbauten

Dachbodenausbauten mit Strohballengewölbe werden mit Hilfsständern aus Dreischichtplatten errichtet. Zudem werden die nach innen geneigten Ballen mit horizontal verlaufenden Konstruktionshölzern oder Brettern gehalten.

Entsprechen die Höhe der Sparren der Höhe der Strohballen (ca. 35 cm) und der Sparrenabstand der Ballenlänge so ergibt sich eine sehr einfache Montage. Der bei diesem Aufbau entstehende Wärmedämmwert ist $U = 0,14 - 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ entspricht in etwa dem Niedrigstenergiehausstandard. Besteht die Schalung aus einer OSB-Platte, so kann auf eine Dampfsperre verzichtet werden, wenn die Plattenstöße dampfdicht überklebt werden, da die OSB-Platte einen hohen Wasserdampfdiffusionswiderstand aufweist. Um die Schalung feuerhemmend zu gestalten, so dass sie den Feuerwiderstandswert EI 30 erreicht, muss zusätzlich auf der Innenseite eine 12,5 mm dicke Gipsfaserplatte oder Gipskartonplatte aufgebracht werden. Liegen die Strohballen über der Dachkonstruktion, so entsteht das Problem, dass die Dachhaut, die Wetter abweisende Schicht, gegen Abheben durch Windsogkräfte befestigt werden muss. Bei geneigten Dächern kommt hinzu, dass die Ballen dazu tendieren nach unten zu rutschen, sodass oben am First eine Fuge entstehen kann.

Eine weitere konstruktive Lösung besteht darin, dass die untere Tragkonstruktion lediglich die Strohballen trägt und darüber sich die eigentliche Dachkon-

struktion befindet. Diese obere Dachkonstruktion dient der Abtragung von Schnee- und Windlasten und ist somit konstruktiv getrennt von der unteren Lage.

Bei allen konstruktiven Lösungen ist es vorteilhaft wenn die Strohballenschicht entlüftet ist, um das Austrocknen ev. vorhandener Restfeuchte der Ballen bzw. des durch mangelhafte Ausbildung der Dampfsperre entstehenden Tauwassers zu ermöglichen.

2.b.) Nachträglicher Vollwärmeschutz durch vorgesetzte Strohballenwand mit Hilfskonstruktion aus Holz

Mit Strohballen, vorzüglich Kleinballen kann man unter bestimmten Voraussetzungen bestehende Gebäude (Altbau, ungedämmte Hallen, Scheunen, etc.) thermisch sanieren und revitalisieren. Die Hilfskonstruktion aus Holz presst die Ballen an die Wand und trägt statische Lasten ab. Der Sockelbereich muss vor Spritzwasser geschützt werden. Ebenso verringert sich der Dachüberstand, somit sind witterungsfeste Holzverschalungen (z.B. mit Lärche) oft effektiver als stark wetterexponierte Putzoberflächen.

Wandkonstruktionen müssen stets einen Spritzwasserschutz bis zu einer Höhe von mind. 30 cm aufweisen. Bei Strohballenwänden sollte deshalb die erste Ballenlage erst oberhalb dieser Höhe beginnen oder aber es wird ein Spritzwasserschutz in Form von Platten oder speziellen Putzen vorgesehen. Eine harte, glatte Fläche vor der Wand ist nachteilig. Vegetation und Kies verringern die Spritzwasserwirkung erheblich. Der μ -Wert der Strohballen beträgt 2,5 nach TGL 35424/2. Aus den feuchtetechnischen Berechnungen für die Dampfbremse im Inneren ergibt sich, dass der S_d -Wert mehr als 10mal so groß wie der S_d -Wert der Außenschicht außerhalb der Dämmung sein soll. Allerdings sollte dieser auch nicht größer als 5 Meter sein, damit die Feuchtigkeit aus den Ballen zu mind. teilweise auch in den Innenraum diffundieren kann (Wimmer et al., 2001a). Eine Dampfsperre in Form einer Folie ist bei einer Dampf durchlässigen Wand, wie sie mit einem Kalkaußenputz oder mit einer hinterlüfteten Schalung erreicht wird, in der Regel nicht notwendig.

3.) Ständerkonstruktionen mit innen vorgesetzter Dämmung.

Die Ballen werden innen vor eine Riegelkonstruktion gesetzt. Die Wärmedämmschicht ist durchgehend, was grundsätzlich von Vorteil ist (keine Wärmebrücken). Innenliegende Dämmebenen sind jedoch für Tauwasser anfälliger. Diese Technik wird somit selten angewandt, da Außendämmungen bauphysikalisch idealer sind.

4.) Ständerkonstruktion mit außen vorgesetzter Dämmung

Die Ballen werden außen vor eine Riegelkonstruktion gesetzt. Auch hier ist eine wärmebrückenfreie, durchgängige Dämmebene vorteilhaft, da sie die Gefahr von Tauwasserbildung verringert. Die Ballen werden versteift oder an der Konstruktion befestigt.

5.) Tragende Holzbox mit Außendämmung – System S-house

Die Ballen werden vor eine massive Wand bzw. Box gesetzt. Die massive Box wird z.B. aus massiven Brettschichtholz BSH (Herstellernamen Kreuzlagenholz, KLH) errichtet. Auch hier ermöglicht die durchgängige Dämmebene eine weitgehende Wärmebrückenfreiheit.

6.) (Holz)-Rahmenbauweise "infill" – System (System StrohTec)

Zwischen den Holzständern werden die Strohballen geschichtet und verdichtet. Setzungen bleiben weitgehend aus, da die Ballen keine statisch tragende Funktion übernehmen. Im Holzrahmenbau werden die Ballen zwischen den Stützen meist hochkant eingebracht, so dass sich eine Dämmstoffdicke von 36 cm ergibt. Die Passivhaustauglichkeit lässt sich mit entsprechenden Ausbauplatten und erhöhter Gebäudedichtheit ermöglichen.

6.a.) Thermische Sanierung von Decken zum nicht-ausgebauten Dachboden

Die Ballen können in Holzrahmen mit entsprechender Höhe (36 cm Ballenhöhe und Konstruktionsholzhöhe) eingeklemmt werden. Die an der Mauerbank und Bundtram befestigten stehenden Holzrahmen stabilisieren die Ballen, zudem kann darauf ein fester Bretterboden montiert werden. Dieser konstruktive Aufbau ist auch für Dachbodenausbauten geeignet. Demgegenüber steht die lose oder schwimmende Ballenverlegung. Hier werden die Ballen nur dicht aneinander verlegt und danach können die Ballen mit einem begehbaren, ebenso schwimmend verlegten Bretterboden verbaut werden. Bei beiden Varianten müssen Fugen oder Ritzen mit losem Stroh nachgestopft werden. Zudem muss aus brandtechnischen Gründen ein Abstand zum Kamin vorgesehen werden. Dieser Abstand wird ebenso mit einem stehenden Holzrahmen ermöglicht, dessen Hohlraum dann mit z.B. nicht brennbaren Glasschotter aufgefüllt wird.

7.) Modularer Strohballenbau – System I haus I bau

Immer mehr Zimmerer- oder Holzbaubetriebe befassen sich mit der Vorfertigung von im Werk gedämmten Wandmodulen. Durch die Vorfertigung (Prefab) von strohballenbefüllten Modulen lassen sich Kosten einsparen, Abläufe vereinfachen, die Bauzeit verkürzen und die Arbeiten witterungsunabhängig durchführen. Die Baufamilie kann ihre Leistung, insbesondere das Befüllen der Ballen in die Module einbringen, Kosten einsparen und aktiv am Baugeschehen teilhaben. Darüber hinaus kann man besser mit Fixpreisen kalkulieren. Die Kosten werden somit überschaubarer als bei Baustellen, die vor Ort eingerichtet sind.

Es werden Wand-, Dach-, Fenster-, Parapet-, und Attika - Module vorgefertigt. Durch die modularen Rastervorgaben mit 80 cm vereinfacht sich die Vorfertigung und die Kosten sinken noch einmal. Ein Nachteil ist, dass die Gestaltung der Grundrisse dadurch weniger flexibel ist.

4.4.2 Kostenoptimierung

Die Frage, ob ein Strohballenhaus billiger als ein konventionelles Haus ist, lässt sich kaum allgemein gültig behaupten. Ein entscheidender Faktor für die Kosten ist der Zeitaufwand für das Einbringen der Strohballen in die Holzkonstruktion. Die Kosten der Strohballen sind wesentlich geringer als die konventioneller Dämmmaterialien. Sie machen nur einen geringen Prozent der Gesamtkosten aus.

„Die Transportkosten und insbesondere die Lagerkosten machen dabei einen wesentlichen Anteil an den Gesamtkosten für den Strohballendämmstoff aus, Transporte und Lagerdauer sollten daher so weit wie möglich reduziert werden.“ (Adensam et al., 2005)

„Die Strohdämmstoffproduktion ist an natürliche, nicht beeinflussbare Rahmenbedingungen gebunden, da die Kornernte je nach Witterung, Getreideart und Gebiet von Ende Juni bis Mitte August erfolgt. Um das Risiko der Dämmstoffüberproduktion für den Landwirt und das Risiko der Strohdämmstoffknappheit für den weiterverarbeiteten Betrieb zu verringern wären Mindestbestellungen oder Vorbestellungen zu einem Fixpreis durch die weiterverarbeiteten Betriebe bis spätestens kurz vor der Ernte (Juni) wünschenswert.“ (Adensam et al., 2005)

„Die großen Strohballen „Multi“ müssen wenn Ende Juni gemäht wird bis Mitte Juni bestellt sein. Beim kleinen Strohballen „Standard“ ist man bestrebt Lagerware zu erzeugen. Es empfiehlt sich aber auch hier, die gewünschte Menge bis jeweils Mai zu bestellen wenn die Strohballendämmung ab August eingesetzt werden soll.“ (Hiess, 2012)

Für eine kostengünstige Bauweise ist die Einhaltung des Modulrasters angepasst an die Strohballendimensionen eine wesentliche Voraussetzung: Dadurch ergeben sich jedoch auch starke Zwänge für die Architektur. „Die Strohdämmung wird händisch mit Druck eingebracht. Allfällige Fugen werden mit losem Stroh ausgestopft und danach die Strohballenschnüre geöffnet. Durch das Öffnen der Schnüre wird eine innere Vorspannung im Gefach erzeugt.“ (Adensam et al., 2005). Das modulare Bausystem zeigt ganz deutlich, dass nur eine strenge Befolgung der Modulmaße eine wirtschaftliche Bauweise ermöglicht. So richten sich nicht nur die Breitenmaße sondern auch das Höhenmaß nach der Größe der Strohballen. Für die Festlegung der Wandlängen so wie für Lage und Größe ihrer Öffnungen ist es sinnvoll ein Raster zu entwickeln das der Länge der verwendeten Strohballen entspricht. Denn das kürzen von Strohballen auf ein erforderliches Maß ist sehr zeitaufwändig. Ist eine Beplankung mit Gipsfaser-, Holzfaser-, OSB-, Sperrholz-, oder Gipskartonplatten vorgesehen so ist es sinnvoll die Ständer so anzuordnen, dass sie gleichzeitig zur Befestigung der Platten dienen. Entsprechendes gilt bei einer hinterlüfteten Außenfassade aus Schalblätter oder Schaltafeln. Da die Strohballen für die Wandkonstruktion keine aussteifende Wirkung haben, muss die Holzständerkonstruktion wie bei konventionellen Bauten gegen horizontale Kräfte durch Windlast stabilisiert werden. Eine Ständerkonstruktion innerhalb der Ballenscheibe ist ungünstig da diagonal verlaufende Holzprofile für die Montage der Ballen sehr hinderlich sind. Deshalb ist es sinnvoller, Verbundstützen zu verwenden, die so breit wie die Ballen sind, und die horizontalen Kräfte über Diagonalschalungen oder steife Platten, beispielsweise OSB-Platten abzuleiten.

Für die Planung der Wohnhausanlage Lasee-Amselgasse wurden folgende Grenzmaße abgeleitet: Die Höhe der Baumodule ist mit 276 cm festgelegt. Die Abmessungen der Fenster passen sich ebenfalls in die Maßordnung ein. Zur Auswahl stehen „raumhohe“ Fenster

mit 243 cm Höhe oder „halbhohe“ Fenster mit 154 cm Höhe in den Rasterbreiten 80/160/240/320 cm. Das zugehörige Parapet-Modul hat eine Höhe von 86 cm (Treberspurg & Partner Architekten ZT GmbH)

Der Holzbaubetrieb „Kreativer Holzbau GmbH“ aus Zwettl in Niederösterreich, der sich seit geraumer Zeit auch auf dem Segment Strohballenbau erfolgreich behauptet, erstellt einen Kostenvergleich bei der Dämmstoffwahl (pro m³). Hierbei zeigt sich, dass der Strohpreis ab 2006 bis jetzt zwar fast um das mehr als 5-fache zugelegt hat (von 7,5 eur/m³ auf 40 eur/m³), aber der Einkaufspreis noch um einiges unter dem der herkömmlichen, synthetischen Dämmstoffe lag. Laut Anfrage beim Erzeuger Kreativer Holzbau belaufen sich die gegenwärtigen Kosten bzw. der Einkaufspreis, exkl. Mehrwertsteuer auf mittlerweile 55 Euro/m³. (Quelle: Mailanfrage an Kreativer Holzbau, vom 20.09.2013)

In dem Forschungsbericht: „Thermisches Sanieren mit Stroh“ werden das Qualitätsmanagement und die Kosten beim Strohkaufl gegenübertgestellt: „Für gute Strohqualität kann man ruhig mehr zahlen: der Dachbodenausbau mit Strohdämmung von Lothar Rehse kostete 30.000 Euro, davon betrugten die Kosten für das Stroh nur 600 Euro.“ (GraT & Global 2000, 2005)

Im „Handbuch Strohballenbau“ (Minke &, Krick, 2009) wird die Kostenfrage folgendermaßen behandelt: eine Möglichkeit der Vergleichbarkeit ist es, Wandaufbauten mit einem gleichen Wärmedämmwert gegenüberzustellen. Hier stellt sich die lasttragende Strohballenwand bezüglich der Materialkosten als günstigster Aufbau heraus. Bei nicht-tragenden Bauweisen kommt es auf die Art der Konstruktion an.

Weiters ist die Wahl der Oberflächenverarbeitung entscheidend. Entscheidet man sich für eine Verschalung, eine Verputzung durch Lehm oder Kalk oder eine Kombination aus diesen? Das Verputzen ist zeitintensiv, das Verschalen hingegen weniger aufwendig, da dies teilweise im Werk erfolgen kann. Insbesondere die Arbeitszeit ist beim Hausbau einer der relevantesten Kostenfaktoren. Das Verputzen und die Vorarbeiten hierzu sind beim Strohballenbau zeit- und kostenintensiver als beim konventionellen Mauerwerksbau:

- Bei sichtbaren Oberflächen bedarf es eines mindestens 3 –lagigen Putzes
- Es ist eine vorangegangene Verfugung bzw. das Ausstopfen von Ritzen und Spalten mit Stroh erforderlich.
- Die Strohoberflächen lassen sich mit einem elektrischen Heckenschneider glätten.
- Ein Innenputz mit einer sichtbaren Aussparung der Fachwerkskonstruktion ist besonders kostenintensiv. Eine Verschalung mit Holzwerkstoffplatten, Gipskarton- oder Lehmboaplatten ist dagegen kostengünstiger.

Ein bestimmter Teil der Arbeiten kann unter professioneller Anleitung von der Baufamilie selbst ausgeführt werden. Diese Eigenleistungsanteile sind:

- Ausfachung mit Ballen, Fugenausstopfen mit Stroh
- Maschinelles Lehmputzauftrag, innen wie außen

- Montage der Verschalung und Anbringen von Folien. (Da die Dichtheit der Folien (z.B. beim Passivhaus) aber erfüllt werden muss, ist die professionelle Anleitung fast unumgänglich.)

Die Autoren Minke und Krick schreiben 2009, dass die Kosteneinsparung durch Strohballendämmung im Vergleich zu den konventionellen Dämmungen zwar wesentlich höher, aber in Relation zu den Gesamtkosten (Material samt Arbeitszeit) nahezu unbedeutend. Baufähige Kleinballen kosten heutzutage (Stand 2009) ein bis zwei Euro. Die Zulieferung zur Baustelle ist ein weiterer Kostenfaktor. (Minke & Krick, 2009). Mittlerweile ist jedoch der Preis der Ballen ab 2006 bis jetzt Ende 2013 von 7,5 Euro/m³ auf 55 Euro/m³ gestiegen. Der Einkaufspreis ist somit um das sieben-fache gestiegen. (Quelle: Mailanfrage an Kreativer Holzbau, vom 20.09.2013)

Aufwendige Lagerlogistik, Zertifizierungen und hochwertige, neue Pressmaschinen, vermehrter Arbeitsaufwand, etc. verteuern den Baustoff. Beim Versuchsprojekt eines Wohnhauses für Waisenkinder in Kaliningrad, Russland dessen folgende Arbeiten von Laien ausgeführt wurden, ergab der Zeit- und Arbeitsaufwand zum Errichten der Strohballenwände 18% und zum Stopfen, Verputzen und Nacharbeiten der Oberflächen 20%. Der Arbeitsaufwand für das Verputzen fiel sehr hoch aus, da das Verputzen manuell ohne Zwangsmischer vorgenommen wurde. Eigenleistungen wie Balleneinbau und Putzauftrag mit der Maschine können nach einer entsprechenden Einschulung durchaus von Laien bzw. der Baufamilie übernommen werden.

Die Kosten der Gebäudeversicherung lassen sich unter Nachweis der Brandschutzzertifikate mit denen von konventionellen Bauweisen vergleichen. Problematischer könnte jedoch die Versicherung gegen Leitungswasserschäden ausfallen, da eine Trockenlegung und ein etwaiger Austausch der Ballen als sehr kosten- und zeitintensiv gelten. (Minke & Krick, 2009)

Ein weiterer Kostentreiber oder Kostenfaktor ist die Einhaltung der Bauzeit, die insbesondere auch von der Lieferbarkeit und Verfügbarkeit der Strohballen abhängt: Der/die LandwirtIn kann z. B. witterungsbedingte Ausfälle nicht vorhersehen. Ein Lieferengpass würde z.B. Bau- und Wartezeiten verlängern. Ein Puffer im Strohballen-Lagerbestand kann Ausfälle ausgleichen. Hier können z.B. Vorjahresbestände und auch große vom Vorjahr gelagerte Rundballen abhelfen, die dann bei Bedarf zu Klein- oder Jumboballen umgepresst werden.

Im Jahre 2012 lieferten die Strohbauprotagonisten Herbert Gruber und Helmut Santler in ihrem Forschungsbericht "Strohbau konkret - Virtuelle Baustelle, Ausstellung und Schulungsunterlagen" ein Gesamtresümee zur Kostenfrage. Die Experten differenzieren hier zwischen den Kosten für den/die Endverbraucherin und beantworten die Frage nach der Wirtschaftlichkeit für Anbieterinnen: „Die nachhaltige Bauweise kostet mehr Geld, zumindest solange die Materialien und deren Verarbeitung eher ein Nischendasein führen (Serienfertigung, Sicherheitszuschlag), der Wettbewerb bzw. die Konkurrenz nicht preisdrückend wirkt (Preiskampf, Preiswahrheit) und die Haftung für Unternehmen (vor allem die Systemhaftung) aufgrund europäischer Konsumentenschutzbestimmungen so heikel ist, dass ein kleiner Fehler oder ein misslungenes Experiment für ein Unternehmen den Konkurs bedeuten kann.“ Weiters: „Der Strohballen wird nur in Kombination mit anderen hochwertigen Materialien, consequenten Bauweisen und nachhaltigen Ausbaulösungen angenommen, so dass der preisliche Vorteil des Materials sich schnell relativiert. Schon allein durch die Zertifizierung des Baustrohballens (Waldland, ETZ) ist der Preis für den „Rohstoff“ auf das Doppelte gestiegen und

trotzdem noch kein wirkliches Geschäft für die Anbieter. Nicht, weil er zu schwierig zu verarbeiten wäre, auch nicht, weil das Qualitätsmanagement zu aufwendig ist, nein, weil der Strohballen vom Feld zu günstig ist und dementsprechend zu geringe Gewinne pro Projekt erzielbar sind.“ (Gruber, H. Santler, H., 2012)

In ihrem Fachbuch „Neues Bauen mit Stroh“ beantworten Herbert und Astrid Gruber, sowie Helmut Santler die Kostenfrage folgendermaßen: „Direkte Einsparungen lassen sich in erster Linie durch die einfache Verarbeitung im Selbstbau erzielen (Arbeitskosten). Die Einsparungen durch die Materialkosten sind –v.a. im Vergleich zu den Gesamtbaukosten – gering. Baukosten ab 1.000 eur/m² Wohnnutzfläche sind machbar, bei einem schlüsselfertigen Strohballen-Passivhaus ohne Eigenleistung ist mit dem Doppelten zu rechnen.“ Weiters schreiben sie, dass eine 35 cm mit Strohballen gedämmte Passivhauswand in einer Zimmerei zum gleichen Preis hergestellt werden kann, wie eine 24 cm dicke Wand eines Niedrigenergiehauses in Holzbauweise. Im Vergleich zu den Gesamtkosten macht der Preis des Dämmstoffes generell einen geringen Anteil aus. „Es sollten jedenfalls andere Gründe für den Strohballenbau ausschlaggebend sein: vor allem der Spaß damit zu arbeiten, das gute Gefühl, nachhaltig und unübertrefflich umweltfreundlich zu agieren sowie das höchst angenehme Raumklima beim Einsatz von Naturbaustoffen.“(Gruber et al., 2012)

4.4.3 Technische Eigenschaften, Kennzahlen und Zertifizierung

Die Überprüfung der technischen Eigenschaften von Strohballen und Strohbaufbauten wurden in Österreich erstmals im Jahre 2000 von der Versuchs- und Forschungsanstalt der Stadt Wien, der Magistratsabteilung 39 (im Jahre 2000, beauftragt durch die GraT (Gruppe angepasste Technologie) in Wien vorgenommen. Die Prüfungs- und Zertifizierungsmaßnahmen umfassten:

- Prüfung über die Brennbarkeit von Strohballen
- Prüfung über das Brandverhalten einer Strohballenwand (mit Innen- und Außenputz)
- Untersuchung über die Messung der Wärmeleitfähigkeit von Strohballen

Im Jahre 2003 beauftragte der Fachverband für Strohballenbau in Deutschland, FASBA ebenso die Prüfungen zur Wärmeleitfähigkeit und zum Brandverhalten und bestätigte die Messwerte vom Jahr 2000 durch ähnliche Ergebnisse.

Am Ende des österreichischen Prüfberichtes ist angeführt, dass die Gültigkeit gem. ÖNORM B 3800-2, Ausgabe 1997, vier Jahre ab Ausstellungsdatum beträgt. Diese kann auf Antrag um jeweils 2 Jahre verlängert werden.

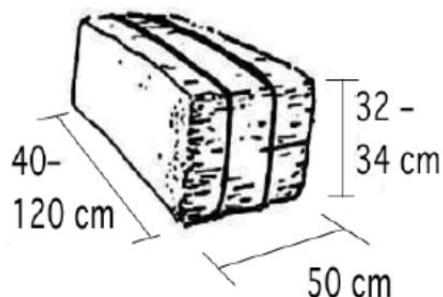
Folgende Fragestellungen wurden am 31.12.2012 an die MA39 per Mail gerichtet:

- a.) Wie oft kann dieser Antrag verlängert werden?
- b.) Sind Antragsfristen einzuhalten?
- c.) Welche Kosten entstehen für den/die AntragstellerIn pro Verlängerung?
- d.) Wodurch kann der Prüfbericht seine Gültigkeit verlieren?
- e.) Woraus setzen sich die Kosten für die jeweiligen Prüfberichte zusammen?
- f.) Wie hoch waren die Kosten für die jeweiligen Prüfberichte?

Dipl.-Ing. Dieter WERNER, MSc, Laborleiter-Stellvertreter – Bauphysiklabor, Magistrat der Stadt Wien, Magistratsabteilung 39, Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien antwortet hierauf am 2.1.2012 per Mail folgendes:

- a.) „Auf Antrag können die Prüfberichte beliebig oft verlängert werden - ausgenommen es erfolgt eine Veränderung des Produktes oder eine Veränderung der Normenlage, die eine Neuprüfung nach sich ziehen.
- b.) Üblicherweise erfolgt die Verlängerung in einem Zeitraum von zwei Wochen ab Antragseingang bei der MA 39. Es ist also sinnvoll ca. einen Monat vor dem Ablaufdatum die Verlängerung zu beantragen. Üblicherweise werden die Prüfberichte auch dann verlängert, wenn der Antrag auf Verlängerung verspätet gestellt wird. Der Nachteil liegt darin, dass die inzwischen vergangene Zeit hinsichtlich der Gültigkeit verloren gegangen ist. Eine neue Prüfung ist in diesen Fällen nicht vorgesehen.
- c.) Eine Verlängerung kostet ca. 250 € exkl. USt.
- d.) siehe a) - Beispiel Brennbarkeit/Brandverhalten: Da gab es den Übergang von nationalen Normen auf europäische Normen, sodass nach der Übergangsfrist die Verlängerung "alter" nationaler Prüfzeugnisse nicht mehr möglich war. So könnte beispielsweise das Prüfzeugnis für die "alte" B2-Klasse nicht mehr verlängert werden, sondern es müsste eine Neuprüfung nach EN 13501-1 durchgeführt werden.
- e.) Die Kosten für die Prüfberichte setzen sich aus den Prüfungskosten und den Kosten für die Berichtserstellung zusammen.
- f.) Die Kosten für die Brennbarkeitsprüfung (B2 bzw. Klasse E) liegen bei ca. 500 €; die Feuerwiderstandsprüfungskosten hängen von der Prüfungsdauer ab: für 90 Minuten und nichttragende Anordnung sind ca. 5000 € für die Prüfung anzunehmen; der jeweilige Prüfbericht kommt auf ca. 800 €, alle Preise exkl. USt.“

Tabelle 7: Kenngrößen des Baustoffes Strohballen, wie Wärmeleitfähigkeit, Diffusionswiderstand, Brennbarkeitsklasse, Dichte, spezifische Wärmekapazität und Elastizitätsmodul ermöglichen eine Überprüfung und Einhaltung von Qualitätskriterien.
Aus: Wimmer et al., 2001a



Kenngröße	Wert	Einheit	Quelle
Wärmeleitfähigkeit λ_R	0.045	W/mK	Gutachten MA39
Diffusionswiderstandszahl μ	2.5	-	TGL 35424/2
Brennbarkeitsklasse	B2		Gutachten MA39
Dichte ρ	100.8	kg/m ³	Gutachten MA39
Spez. Wärmekapazität c	2.0	kJ/kgK	TGL 35424/2
Elastizitätsmodul E			Keine Angaben

2005 veröffentlicht die GraT und Global 2000 im Forschungsbericht „Thermisches Sanieren mit Stroh“ ExpertInnen-Interviews. Robert Wimmer beantwortet die Frage, ob Brandschutztests nach EU-Maßstäben durchgeführt werden folgendermaßen: „Es gibt nicht für alle Brandschutztests eine EU-Regelung. Für die Brennbarkeit von unbehandeltem Stroh wurden von der GraT EU-konforme Tests durchgeführt – mit positivem Ergebnis. In der Schweiz werden die österreichischen Tests in der Regel anerkannt. Auch in Deutschland wurden österreichische Tests anerkannt.“ Weiters: „Es gibt aus meiner Sicht ein Defizit in der Kommunikation von Testergebnissen. Dem soll die Internetplattform www.nawaro.com entgegenwirken. Die Ergebnisse der teuren Brandschutztests sollen weltweit ausgetauscht werden.“ (GraT & Goba 2000, 2005)

2010 erfolgte durch die Firma Waldland die Zertifizierung für eine europäische technische Zulassung von Dämmstoffen auf Strohbasis (ETA-10/0032). Dies wurde auch in die Datenbank baubook übernommen. Nicht zugelassen ist der dieses Produkt jedoch als lasttragendes Element. Bei der lasttragenden Bauweise müssten zusätzliche Belastungstests vorgenommen werden, um die statische Unbedenklichkeit nachzuweisen.

Die anfänglichen Kosten für eine Zertifizierung und für Prüfungsaufträge bei anerkannten Prüfeinrichtungen (z.B. Magistratsabteilung 39 - Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien) hat der/die AuftraggeberIn (im Regelfall die Herstellerfirma) zu übernehmen. Derartige Kosten werden aber letztlich auf das Endprodukt, sofern die Baufirma oder die Einrichtung den Baustrohballen dann auch verkauft, aufgeschlagen. Dies ergibt

zwar eine Teuerung des Produktes, ermöglicht aber Sicherheiten und Garantien, u.a. auch für Versicherungen oder für Förderanträge. Zudem ist die Zertifizierung ein sinnvolles Instrument, um dem Baustoff Stroh ein Zeugnis als einsatzfähigen und qualitativ hochwertigen Dämmstoff auszustellen. Nach einer Zertifizierung durch eine anerkannte Prüfeinrichtung sollten die Baustrohballen nochmals einzeln kontrolliert werden, um sicherzustellen, dass die Messwerte tatsächlich innerhalb der Referenzwerte liegen. Hierzu eignet sich ein mobiles Prüflabor, das die Gruppe angepasste Technologie GraT bereits im Jahre 2001 empfiehlt.

In dem Forschungsbericht "Stroh Cert" (Wimmer et al., 2011) befassen sich die Autoren umfassend mit den Themen der Qualitätssicherung und der Zertifizierung des Baustrohballen. Bezugnehmend zum Ausblick der Zertifizierungen schreiben sie: „In Zukunft werden viele Akteure das Planen und Bauen mit dem Dämmstoff Stroh als nachhaltige Alternative zu herkömmlichen Dämmstoffen sehen und können damit ihre Bauprojekte ohne zusätzlichen baubehördlichen Aufwand klimafreundlicher und wirtschaftlicher realisieren.“ Durch verbesserte Zertifizierungen werden baubehördliche Einschränkungen im Bewilligungsverfahren beseitigt. Die Strohballen werden zu einem förderbaren Dämmstoff (z.B. Wohnbauförderung). Standardisierte Baustoffe sind die Basis für das Segment der industriellen Vorfertigung. Darüber hinaus sind Gesamtkosten für den/die BauherrIn leichter kalkulierbar. (Wimmer et al., 2011) Eng mit der Baustoffzertifizierung ist auch eine professionelle Strohlogistik verbunden. Die Experten untersuchten darin die beiden Konzepte der zentralen sowie der dezentralen Produktion. Eine professionelle Strohlogistik kann eine ganzjährige Verfügbarkeit von Baustrohballen gewährleisten.

2001 befasste sich die GraT (Gruppe angepasste Technologie) der TU Wien mit einer "wirtschaftsbezogenen Grundlagenstudie für Wandsysteme aus nachwachsenden Rohstoffen" (Wimmer et al., 2001a) und vergleicht darin acht Konstruktionsarten mit unterschiedlichen Wandaufbauten.

Diese vergleichende Untersuchung gewährt einen guten Einblick in das vielfältige Potential von Konstruktionsvarianten und ist ein Zeugnis für ein nachhaltiges Bausystem. Die zugehörigen Kenngrößen des Strohbaustoffes wurden seinerzeit von zwei Einrichtungen errechnet und geprüft. Die Zertifizierungen wurden von der der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle Magistratsabteilung 39 vorgenommen.

Tabelle 8: Technische Kennwerte von Baustrohballen für die Berechnungsgrundlage der Stroh befüllten Wandaufbauten. (Wimmer et al., 2001a)

Kenngröße	Wert	Einheit	Quelle
Wärmeleitfähigkeit λ	0.045	W/mK	Gutachten MA39
Diffusionswiderstandszahl	2.5	-	TGL 35424/2
Brennbarkeitsklasse	B2		Gutachten MA39
Dichte	100.8	kg/m ³	Gutachten MA39
Spez. Wärmekapazität c	2.0	kJ/kgK	TGL 35424/2
Elastizitätsmodul E			Keine Angaben

Feuchteverhalten:

Langlebigkeit und Funktionalität der Gesamtkonstruktion hängt vom Feuchteschutz ab: Lang einwirkende und eindringende Feuchte kann zu Schimmelbildung und Zerfall des Strohs und auch der Holzkonstruktion führen. Die Anforderung an den Feuchteschutz wird 2001 mit der ÖNORM B 8110-2 geregelt.

Die Angst, dass auf Strohballen Schimmelpilze wachsen können ist bei richtiger baukonstruktiver Ausführung der Wand unbegründet. Denn auf trockenem Stroh können sich keine Schimmelpilze entwickeln. Zur korrekten Ausführung gehört, dass die Ballen trocken sind, d.h., das sie einen Feuchtegehalt von weniger als 15% haben und das entweder eine Dampfbremse an der innen Oberfläche dem Eintritt von Luftfeuchte verhindert oder die außen Oberfläche so Wasserdampf durchlässig ist, das eventuell im Ballen entstehendes Tauwasser schnell genug nach außen aus diffundieren kann. Beim Verputzen ist darauf zu achten, dass der Putz relativ schnell austrocknet. Dazu muss dieser ausreichend diffusionsoffen sein, sodass das beim Putzen angefeuchtete Stroh schnell genug austrocknen kann.

Tabelle 9: Maßnahmen zur Vermeidung von Feuchteintrag. Aus: GraT et al., 2001

Mechanismus	Maßnahmen zur Vermeidung oder Verminderung von Schäden
Anfall Kondensat in Dämmstoffebene durch Wasserdampfkonvektion	Strömungsdichte Verlegung der innenseitigen Luftdichtigkeitsschicht, z.B. sorgfältige Verklebung der Dampfbremse an den Stößen, keine Durchdringungen, Schutz der Schicht vor Beschädigungen während des Einbaus und im Betrieb (anliegende Platte, Installationsebene, rascher Einbau der innenliegenden Verkleidung)
Eindringendes Wasser durch Schlagregen	Hinterlüftungsebene mit 2. wasserableitender Schicht, bzw. Putzsystem, das gegen Wasser abdichtet, aber diffusionsoffen ist
Eintrag von hoher Feuchtigkeit durch "nasse" Baustoffe	Nur ausreichend trockenes Holz und Stroh verwenden, diffusionsoffene Konstruktion wählen
Eintrag Niederschlagswasser beim Aufbau der Außenwand	Vorfertigung der Wandelemente, sorgfältige Abdeckung der Konstruktion
Anfall Kondensat durch Wasserdampfdiffusion	Bauphysikalisch richtiger Aufbau der einzelnen Schichten, diffusionsoffener Aufbau der Außenschicht
Anfall Wasser durch Rohrbruch	Hohe Austrocknungskapazität durch diffusionsoffenen Aufbau

Die ersten beiden Mechanismen treten am häufigsten bei Holzbaukonstruktionen auf. Deren Vermeidung gilt das Hauptaugenmerk in der Planung, sowie auch in der Ausführung.

Wasserdampfdiffusion

Windsperrern sollten möglichst diffusionsoffen, aber auch luft- und wasserdicht sein, um einen etwaigen Feuchteintrag gering zu halten oder die Möglichkeit der raschen Trocknung zu gewährleisten (z.B. bei Wassereintritt während des Einbaus, Rohrbruch, feuchtem Bauholz etc.). Windsperrern mit sehr niedrigem s_d - Wert erhöhen die Austrocknungskapazität und die Sicherheit gegenüber erhöhtem Anfall von Feuchte und Wasser. Ein effizientes Verhältnis zw. Windsperrere und innenseitiger Dampfsperre lässt sich mit folgender Faustformel errechnen:

$$s_{d,i} > 10 \cdot s_{d,e}$$

$s_{d,i}$ (m): diffusionsäquivalente Luftschichtdicke der inneren Schichten / Bekleidungen

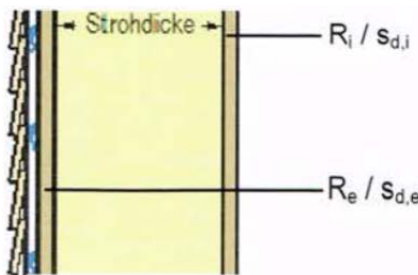
$s_{d,e}$ (m): diffusionsäquivalente Luftschichtdicke der äußeren Schichten / Bekleidungen

Der innere s_d – Wert soll nicht um sehr vieles stärker sein als in der obigen Formel dimensioniert. Somit wird eine hohe Austrocknungskapazität auch nach innen ermöglicht. Kondensation wird während der Sommerzeit an der Außenseite der Dampfbremse vermieden.

s_d (innen): < 5 m sollte eingehalten werden.

Detaillierte Vorgaben betreffend Feuchteschutz unterschiedlicher Konstruktionen sind in der aktuellen bauaufsichtlichen Zulassung (DIBt, 2014) von Baustroh für Deutschland enthalten und hier im Folgenden angeführt.

Außenwand hinterlüftet:

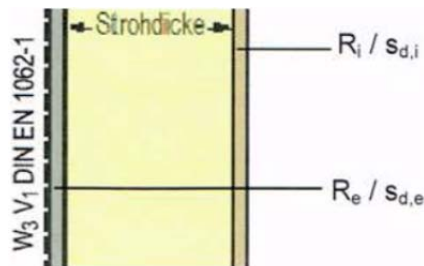


Zeile	Strohstärke [m]	$s_{d,i}$ [m]	R_i [m ² ·K/W]	$s_{d,e}$ [m]	R_e [m ² ·K/W]
1	≤ 1,00	≥ 0,10	≤ 0,35	≤ 0,50	-
2	≤ 0,48	≥ 0,76	≤ 3,14	≤ 0,50	-
3	≤ 0,48	≥ 0,10	≤ 0,35	≤ 1,00	≥ 1,00
4	≤ 0,48	≥ 2,00	≤ 0,35	≤ 1,50	≥ 0,70
5	≤ 0,48	≥ 0,10	≤ 0,35	≤ 1,50	≥ 1,43
6	≤ 0,48	≥ 0,10	≤ 0,35	≤ 2,00	≥ 1,90

Abbildung 12: Zulässige feuchtetechnische Kennwerte für hinterlüftete Außenwände

Anmerkung: Die erste Zeile entspricht der Grundvariante. Weitere Zeilen enthalten Alternativen mit grau hinterlegten Variationen und daran angepassten Anforderungen (fett gedruckt) für die diffusionsäquivalente Luftschichtdicken (s_d) und den Wärmedurchlasswiderstand (R) jeweils für die inneren und äußeren Schichten / Bekleidungen.

Außenwand verputzt:



Zeile	Strohdicke [m]	$s_{d,i}$ [m]	R_i [m ² ·K/W]	$s_{d,e}$ [m]	R_e [m ² ·K/W]
1	≤ 0,70	≥ 0,10	≤ 0,35	≤ 0,50	-
2	≤ 0,48	≥ 0,76	≤ 3,14	≤ 0,50	-
3	≤ 0,48	≥ 3,00	≤ 0,35	≤ 1,50	≥ 0,30

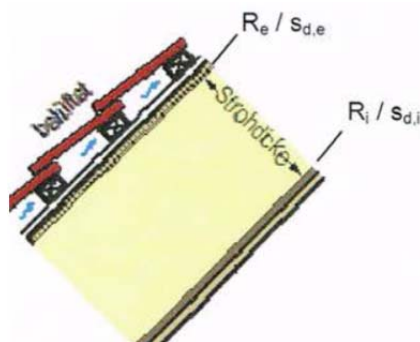
Abbildung 13: Zulässige feuchtetechnische Kennwerte für frei bewitterte, verputzte Außenwände

Anmerkung: Die erste Zeile entspricht der Grundvariante. Weitere Zeilen enthalten Alternativen mit grau hinterlegten Variationen und daran angepassten Anforderungen (fett gedruckt) für die diffusions-äquivalente Luftschichtdicken (s_d) und den Wärmedurchlasswiderstand (R) jeweils für die inneren und äußeren Schichten / Bekleidungen.

Der Außenputz ist gemäß DIN EN 998-1 mit wasserabweisender Beschichtung gemäß DIN EN 1062-1 in W₃ und V₁ auszuführen:

- W₃: Wasserdurchlässigkeit der nach DIN EN 1062-1 klassifizierten und nach DIN EN 1062-3 geprüften Beschichtung: $W_{24} \leq 0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{vh})$ mit Index 24 für die Prüfdauer von 24 Stunden.
- V₁: Wasserdampf-Diffusionsstromdichte der nach DIN EN 1062-1 klassifizierten und nach DIN EN 1062-3 geprüften Beschichtung: $V_1 > 150 \text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$ mit $s_d < 0,14 \text{ m}$.

Schrägdach, hinterlüftet:



Zeile	Strohdicke [m]	$s_{d,i}$ [m]	R_i [m ² ·K/W]	$s_{d,e}$ [m]	R_e [m ² ·K/W]
1	≤ 0,48	≥ 2,00	≤ 0,35	≤ 0,50	≥ 0,14
2	≤ 0,36	≥ $s_{d,e}$	≤ 0,35	≤ 3,00	≥ 0,14

Abbildung 14: Zulässige feuchtetechnische Kennwerte hinterlüftete Dachkonstruktionen

Anmerkung: Die erste Zeile entspricht der Grundvariante. Die zweite Zeile enthält eine Alternative mit höherer externer Diffusionsdichtheit und daran angepassten Anforderungen (fett gedruckt).

Luftdichtheit

Sie ist insbesondere für die Vermeidung von Wasserdampfkongregation im Bauteil notwendig. Luftdichtheit muss durch entsprechend sorgfältige Planung und Ausführung der Innenauf-

bauten (Innenputz, Dampfbremse) und Außenschichten (Außenputz, Windbremse) sichergestellt werden (für die Außenschichten spricht man auch von „Winddichtheit“). Es sind nur Materialien einzusetzen, die über die Lebensdauer des Gebäudes und zumindest über einige Jahrzehnte die Luftdichtheitsfunktion erfüllen.

Wärmespeicherung:

Da die Strohballen aufgrund ihrer geringen Masse eine niedrige Speicherfähigkeit aufweisen ist der innere Raumabschluss der Strohballenwand für die Speicherfähigkeit entscheidend. Günstig dafür sind Lehmputze mit einem hohen Anteil an Sand und Feinkies. Mit einem Raumgewicht von 1900 bis 2100 kg/m³ tragen diese Putze bei einer Dicke von 3 cm bis 6 cm wesentlich zur Pufferung von Temperaturdifferenzen bei. Vorteilhaft ist ferner wenn die Innenwände aus 11,5 cm dicken Lehm, Ziegel oder Kalksandsteinen gemauert sind. Bei Lehmsteinen und bedingt auch bei Lehmputz ergibt sich außerdem eine vorteilhafte Raumfeuchteausgleichswirkung.

Wärmebrücken:

Als „Wärmebrücke“ werden Stellen einer Außenwand oder Dachkonstruktion bezeichnet, die ein wesentlich niedrigeren Wärmedurchlasswiderstand aufweisen als die angrenzenden Bereiche. Das bedeutet, dass an diesen Stellen wesentlich mehr Wärme von innen nach außen geleitet wird als an Stellen mit hohem Wärmedurchlasswiderstand. Deshalb tragen sie nicht nur zur einem erhöhten Wärmeverlusts des Gebäudes bei, sondern können leicht Durchfeuchtungsprobleme infolge Tauwasserbildung verursachen, wenn keine ausreichende Dampfsperre eingebaut ist. An durchfeuchteten Stellen kommt es in der Folge zu einer weiteren Verringerung der Wärmedämmwirkung, was bei Stroh als Wärmedämmung oben drein die Gefahr der Schimmelpilzbildung und der Verrottung erhöht. Bei Strohballenwänden entstehen Wärmebrücken z.B. durch nicht ausgestopfte Fugen zwischen den Ballen oder durch Fugen der angrenzenden Fenster-, Türrahmen. Aber auch die Holzkonstruktion selbst kann eine Wärmebrücke darstellen, da die Wärmeleitfähigkeit von Holz drei bis fünfmal so hoch ist wie die von Strohballen. Zur Vermeidung von Wärmebrücken ist eine gewissenhafte bauphysikalische Planung laut Stand der Technik sowie eine Qualitätssicherung der Ausführung durch Thermografie zu empfehlen.

Brandschutz:

Die hohe Brandwiderstandsdauer einer verputzten Strohwand beruht einerseits auf dem Sauerstoffabschluss durch den Putz und andererseits darauf das durch die starke Pressung im Ballen nicht genügend Sauerstoff vorhanden ist der zum Entzünden des Strohs im Inneren führen könnte. Ist die Putzschicht jedoch gerissen so bildet sich hinter dem Riss zwar eine Schicht verkohlter Halme die aber ein weiteres Eindringen von Sauerstoff verhindert, wie die am Forschungslabor für experimentelles Bauen der Universität Kassel, durchgeführten Versuche geführt haben.

„Das Brandverhalten von Stroh wurde getestet und gilt als unproblematisch. Mit einer Ausnahme: dem losen Strohanfall während des Einbringens! Gerade dieser Risikobereich auf der Baustelle wird durch die Vorfertigung im Werk, unter kontrollierten und sicheren Bedingungen, auf ein Minimum reduziert.“ (Adensam et al., 2005)

5 Praxisbeispiele – Bauen mit Stroh

In diesem Abschnitt wurden ausgewählte Beispiele ausgeführter Strohgebäude analysiert wobei der Schwerpunkt auf Gebäuden mit vorgefertigten Wandelementen und Dachelementen liegt, wie z.B. das Lehm-Passivhaus der Firma Lopas in Tattendorf. Andere Stroh-Konstruktionsweisen wie z.B. Stroh-Passivhäuser mit tragenden Großballen von Architekt Werner Schmidt (Guarneri, 2013), wurden nicht dokumentiert, da dies aufgrund der gegenwärtigen gesetzlichen Regelungen keine geeignete Bauweise für eine Realisierung eines Mehrfamilienhauses in Österreich ist.

5.1 Wohnhaus in Mautern - system|haus|bau

Beim EFH in Mautern (Bez. Krems-Land) handelt es sich um ein Projekt der Kooperation **system|haus|bau** der Betriebe Kreativer Holzbau Kastner, Bauatelier Schmelz Salomon und asbn/Herbert Gruber, in modularer Strohbauweise.

Die Basis des Baukastensystems bilden Standardmodule für Wand-, Decken- und Eckbauteile, welche vom Zimmereibetrieb Kastner vorgefertigt und auf der Baustelle in kürzester Zeit montiert werden. Durch das vorgegebene Konstruktionsraster von 80 cm, nach dem sämtliche (Standard-) Wand- und Deckenelemente gefertigt werden, sind die Module leicht handhabbar und gut transportfähig. Ergänzt wird das System durch Fenster- und Türmodule für individuelle Öffnungen, welche von den Standardabmessungen abweichen können, sowie Sonderbauteile wie Deckenrand- und Attikamodule. Für Deckenelementen gilt eine maximale Spannweite von 6 Rastermaßen ($6 \times 0,8 \text{ m} = 4,80 \text{ m}$), danach müssen tragende Wände oder Stützen (Formrohr $\varnothing 90 \text{ mm}$) eingeplant werden. Nichttragende Innenwände lassen sich in diesem Rahmen flexibel anordnen.

Befüllt werden die Holztafel-Elemente mit eigens für dieses System produzierten zertifizierten Strohbällen der Firma Waldland. Mit 40 cm Wärmedämmung erreichen die Wand- und Deckenelemente niedrige U-Werte von ca. $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und die Häuser von system|haus|bau bis zu Passivstandard.

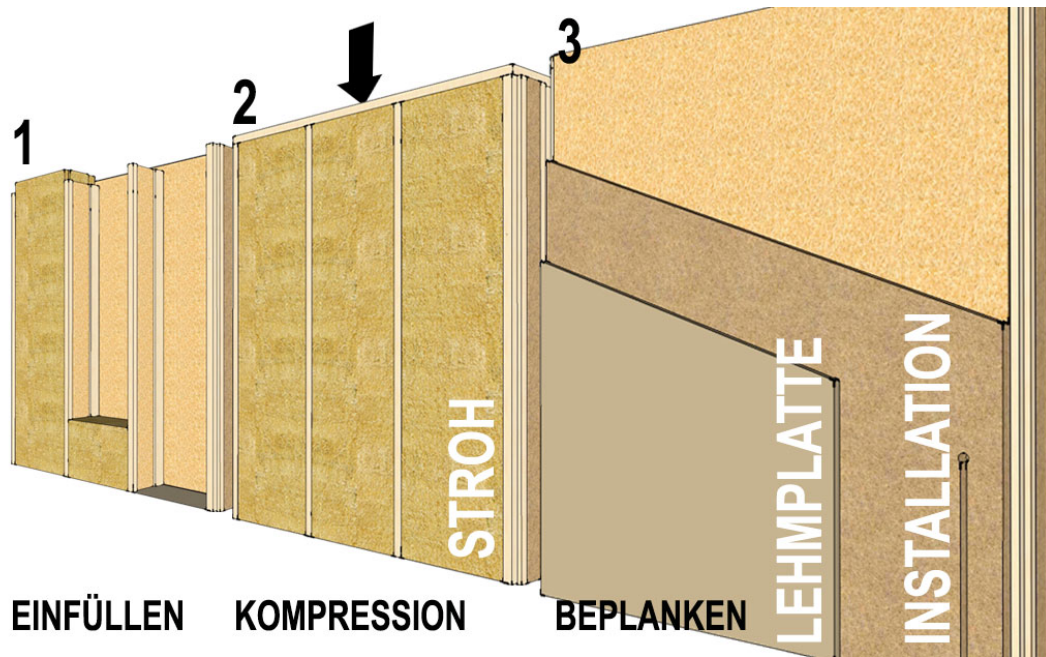


Abbildung 15: Herstellung der zertifizierten Strohballenwände (www.systemhausbau.at / Kreativer Holzbau GmbH)

- Aufbau Standard-Wandmodule:

b/h/d:	80 x 281 x 43 cm
Raumhöhe:	270 cm
Dämmung:	40 cm Baustrohballen (alternativ Zellulose)
Beplankung:	Anlieferung der Elemente mit OSB-Platte (innen), DP50-Platte diffusionsoffen (außen), Innenausbau vor Ort – Vorsatzschale aus Magnesit-gebundener Heraklithplatte und Lehmbauplatte;
Fassade	Mineral. Putz auf Holzweichfaser bzw. Holzfassade hinterlüftet
U-Wert:	0,12 W/m²K



Abbildung 16: Wohnhaus Mautern mit fertiggestellter Fassade und Überdachung des Eingangsbereichs (www.systemhausbau.at / Kreativer Holzbau GmbH)

Baubeginn:	2013
Bauweise:	Holztafel-Elemente mit Strohdämmung, vorgefertigt
WNF	161 m ²
U-Werte	Außenwand 0,10 W/m ² K Fenster: 0,6 W/m ² K (Glas), 0,78 W/m ² K (ges.) Oberste Geschoßdecke: 0,11 W/m ² K
Planung:	Bauatelier Schmelz Salomon, Wösendorf
Zimmerei:	Kreativer Holzbau, Moidrams



Abbildung 17: Anlieferung eines Deckenelements(ii), Montage von Wandelementen (re) (Kreativer Holzbau GmbH)



Abbildung 18: Abgeschlossene Montage der Außenhülle, Baukörper links mit luftdicht verklebten Fugen (Kreativer Holzbau GmbH)

Durch die Vorfertigung der strohgedämmten Holz-Ständerkonstruktion unter geschützten Werkbedingungen reduziert sich die Montagezeit auf ein Minimum, außerdem kann eine höhere Ausführungsqualität erzielt werden. Ein großer Vorteil der Modulbauweise ist die Kostengarantie bereits im Entwurfsstadium.



Abbildung 19: Flachdach mit Kiesschüttung, hinterlüftete Holzfassade mit Nut-Feder-Schalung (Kreativer Holzbau GmbH)

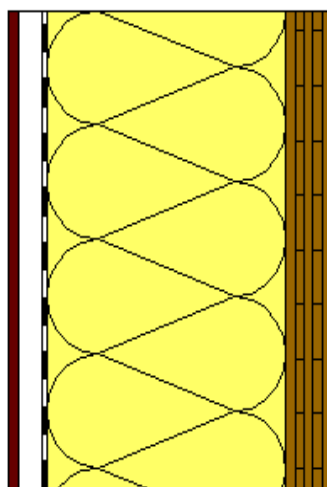
5.2 S-House, Böheimkirchen

Ein maßgebendes Demonstrationsobjekt zur innovativen Nutzung nachwachsender Rohstoffe ist das Büro- und Ausstellungsgebäude „S-House“ in Böheimkirchen (NÖ), das 2005 eröffnet wurde

Projektart:	Ausstellungsgebäude in Passivhausstandard
Errichtung:	2004-2005
Bauherr:	GrAT, Gruppe Angepasste Technologien, TU Wien
Planung:	Architekten Scheicher ZT GmbH; JR Consult;
BGF:	332,5 m ²
Bauweise:	Holzmassivbau; 50 cm Strohdämmung
Energiekennzahl:	8 kWh/m ² a
Heizlast:	8,9 W/m ²
Luftdichtheit n50:	0,32/h

Das S-House ist ein Demonstrationsgebäude, bei dem viele innovative Ideen zur Nutzung lokal bzw. regional verfügbarer Rohstoffe wie Stroh und Lehm umgesetzt wurden. Es dient als Veranstaltungsort, Ausbildungs- und Ausstellungsstätte für die Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe.

Das Gebäude wurde in Massivholzbauweise (Brettsperrholz) errichtet und mit einer Dämmung aus 50cm Strohballen versehen. Die Außenwände erhielten eine Holzverschalung, innenseitig wurden die Strohballen mit einem Lehmputz aus Aushubmaterial versehen. Ein weit auskragendes Flugdach auf schlanken Pendelstützen aus Holz schützt die darunter liegende Konstruktion vor Witterungseinflüssen, so war es möglich die gesamte Gebäudehülle – inklusive oberster Geschoßdecke und der unterlüfteten Bodenplatte – mit Strohballen zu dämmen.



Außen / kalt	
Dreischichtplatte	2.2 cm
Lattung 5/5	5.0 cm
Windsperre	0.1 cm
Strohballen auf Treeplastanker	50 cm
Kreuzlagenholz	9.5 cm
Innen / warm	

Abbildung 20: Aufbau Außenwand S-House (Wimmer et al., 2006)



Abbildung 21: S-House nach Fertigstellung 2005 (Wimmer et al., 2006)

5.3 Lehm-Passivhaus Tattendorf

Das Lehm-Passivhaus wurde über die Programmschiene Haus der Zukunft als Demonstrationsgebäude für nachhaltiges Bauen gefördert.



Abbildung 22: Lehm-Passivhaus. Büro- und Ausstellungsgebäude der Firma Lopas in Tattendorf (Meingast, 2005)

Projektart:	Büro- Seminar- und Ausstellungsgebäude
Errichtung	2004-2006
Bauherr:	Roland Meingast, Natur & Lehm GmbH
Planung:	Architekturbüro Reinberg ZT GmbH, Ing. Waxmann
Statik:	Dr. Karlheinz Hollinsky & Partner ZT-GmbH;
Bauphysik:	ao.Univ.Prof. DI Dr. Klaus Krec
Holzbau	Holzbau Willibald Longin GmbH
NF:	ca. 315 m ²
HWB:	7,34 kWh/(m ² a) (gemessen im 2.Jahr)
Heizlast:	6,00 W/m ²
Bauweise:	Holzriegelkonstruktion mit 40 cm Strohballen lehmverputzt Gründachaufbau mit 60cm Strohdämmung
U- Werte:	Außenwand: 0,09 W/m ² K oberste Geschossdecke gg. belüfteten Dachraum: 0,06 W/m ² K Bodenplatte aufgeständert: 0,09 W/m ² K Fenster gesamt: 0,81 W/m ² K
Luftdichtheit n50:	0,4/h

Das Bürogebäude in Tattendorf (Bez. Baden) wurde 2006 eröffnet und dient als Büro, Schauraum, Seminarhaus und Forschungsstelle für ein Langzeit-Gebäudemonitoring.

Im Zuge des Projekts wurde ein Fertigteil-Bausystem auf Basis einer Holzriegelkonstruktion entwickelt, das mit gepressten Strohballen befüllt, beidseitig mit Holz beplankt und mit Lehm verputzt wurde. Die Bauteile mit Abmessungen von bis zu 3x9m konnten mit der Bahn direkt zur Baustelle transportiert werden, was sich positiv auf den ökologischen Fußabdruck des Gebäudes auswirkte.



Abbildung 23: Außenwand Stroh-Holz-Leichtbaukonstruktion. Links: Vorfertigung der wärmebrückenreduzierten Wandelemente. Rechts: Befüllung der Wandelemente mit Strohballen (Meingast, 2005)

Das Gebäude weist neben der Verwendung von nachwachsenden und lokalen Baustoffen noch weitere Besonderheiten auf. Diese sind u.a.:

- o In Lehm getränktes Vlies an Stelle herkömmlicher Dampfbremsen aus Kunststoff
- o Innenwände aus historischen Lehmziegeln zur Erhöhung der Speichermasse und zur zusätzlichen Feuchteregulation
- o Innovative Biofaser-Lehmputze, im Innen- und Außenbereich
- o Strofaserverstärkter Außenputz aus Biofaser-Lehm
- o Extensive Dachbegrünung
- o Gebäudeintegrierte solarthermische Kollektoren an der Südfassade

Auszug aus den Monitoring-Ergebnissen der AEE-INTEC (Wagner & Mauthner, 2008):

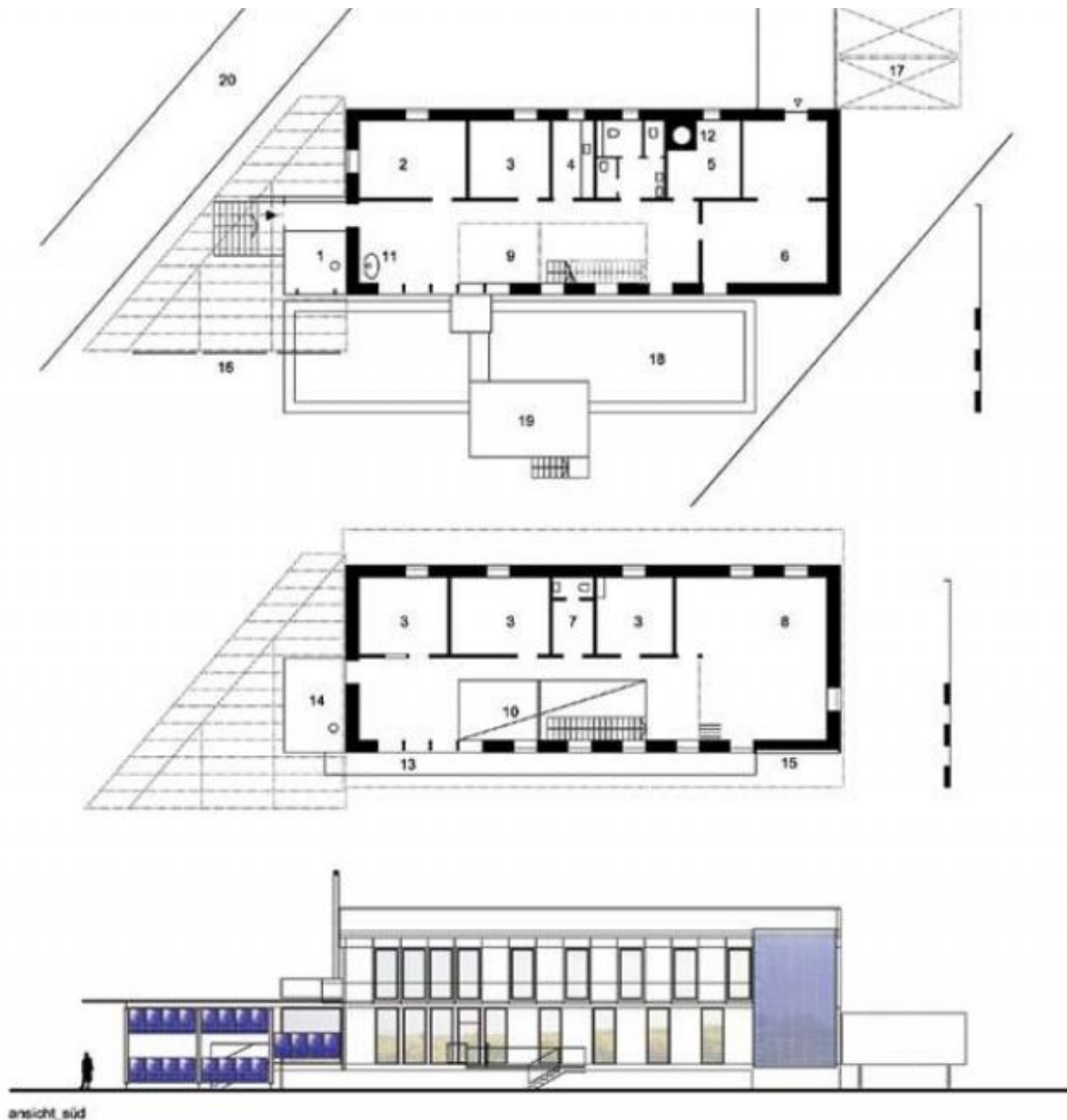
Aufgrund des hohen Dämmstandards sowie aufgrund passiv solarer Gewinne wird ein rasches Auskühlen des Gebäudes verhindert. Es wurde festgestellt, dass auch bei Außentemperaturen unter dem Gefrierpunkt die Temperatur im Gebäude bei nur geringen passiv solaren Gewinnen auch über einen längeren Zeitraum hinweg nicht unter 10°C fällt. An den Temperatur- und Feuchtwerten im Inneren des Gebäudes kann man auch gut charakteristische Eigenschaften der Dämmung bzw. der eingesetzten Materialien beurteilen.

(...) Eine weitere Besonderheit des Gebäudes stellt das außergewöhnlich hohe Wasserdampfaufnahmevermögen des Lehm- Verbundwerkstoffes dar. Aufgrund der sehr dichten Gebäudehülle kann der Anteil der abtransportierten Feuchte nur einen kleinen Teil ausmachen und der Großteil wird vom Lehm- Verbundwerkstoff zwischengepuffert. Diese Puffereigenschaft wirkt feuchteregulierend und trägt somit zu einem behaglichen Innenraumklima bei.

Im Falle des Lehm- Passivhausbürogebäudes wurden innerhalb eines Zeitraums von 12 Tagen (22.12.2007 bis 02.01.2008) insgesamt 3,635 g Wasserdampf/m³ Luft durch den Lehmbaustoff aufgenommen. Bei einem Raumvolumen von 75 m³ entspricht dies einer Wasserdampfaufnahme von 273 Gramm.“



Abbildung 24: Montage der vorgefertigten Holz-Stroh-Elemente (Architekturbüro Reinberg ZT GmbH)



- | | |
|---------------|-------------------------------|
| 1 windfang | 11 ofen |
| 2 sekretariat | 12 speicher |
| 3 büro | 13 wartungs- und sonnenschutz |
| 4 küche | 14 terrasse |
| 5 technik | 15 warmwasserkollektor |
| 6 lager | 16 PV-kollektor |
| 7 archiv | 17 container |
| 8 seminarraum | 18 wasser |
| 9 aula | 19 steg |
| 10 luftraum | 20 oberwaltersdorfer straße |

Abbildung 25: Grundriss und Ansicht des Bürogebäudes Tattendorf (Architekturbüro Reinberg ZT GmbH)

Weiterentwicklung zum LOPAS – Bausystem:

Die vorgefertigten Stroh-Holz-Elemente des Bürogebäudes in Tattendorf dienten als Prototypen für eine serienmäßige Herstellung von strohgedämmten Passivhausbauteilen und führten zur Gründung der Firma LOPAS (2009). Die Firma LOPAS verwendet heute Strohhäcksel als Einblasdämmung (Holzrahmenbau) und verbindet die positiven Eigenschaften der Materialien Holz, Stroh und Lehm in einem modernen und passivhaustauglichen Bausystem (siehe Reihenhausesanlage Maria Anzbach).

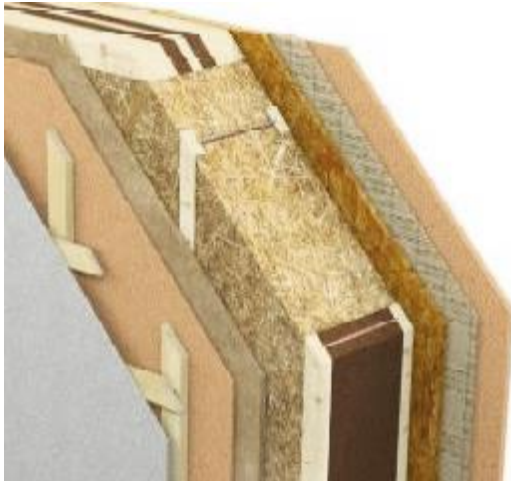


Abbildung 26: LOPAS Systemaufbau (<http://www.lopas.ag/>)

5.4 Reihenhauses Wohnhausanlage Maria Anzbach - vorgefertigte Wandelemente mit Strohhacksel-Dämmung

Vorteil der Stroh-Einblasdämmung ist die Unabhängigkeit von der Ballengröße und die Vermeidung von aufwändigen Zuschnitten der Ballen bzw. Ausstopfen von verbleibenden Resthohlräumen. Damit kann die Planung unabhängig von einem durch die Strohballenpresse vorgegebenen Modulraster erfolgen. Nachteil der Stroh-Einblasdämmung ist die hohe Staubentwicklung, die jedoch bewältigt werden kann, wenn die Fertigung in einer geeigneten Werkhalle erfolgt.

In Niederösterreich wurde bereits eine kleinvolumige Wohnhausanlage mit Strohhacksel-Dämmung ausgeführt. In Maria-Anzbach wurden sieben Wohneinheiten im Rahmen eines Co-Housing-Projekts mit intensiver Beteiligung der Bewohner unter der Leitung von ATOS Architekten geplant und im Jahr 2013 fertig gestellt. Generalunternehmer war die Lopas AG, die eine europäische technische Zulassung für Strohhacksel-Dämmstoff innehat. Produziert wurden die Fertigteile bei Holzbau Longin in Dobersberg. Eine technische Besonderheit ist, dass die Lopas-Stroh-Lehm Fertigteile im Werk bis auf die letzten 10 mm mit Lehm vorverputzt und trocken angeliefert werden. Durch eine Putzschicht von 45 mm Faserlehmputz – die als Maschinenputz auf der Baustelle kaum wirtschaftlich herstellbar ist - erreichen diese Außenwände einen Feuerwiderstand von REI 120.

Tabelle 10: Technische Daten der Lopas-Bauteile (Lopas Kundenfolder 2013, www.lopas.ag)

Aufbau von innen und außen	Außenwand	Dach
Biofaserlehm-Putz	4,5 cm	2,0 cm
Haftgrund inklusive inklusive Holzbeplankung	2,2 cm	2,2 cm
Dämmebene (LOPAS Strohhacksel)	36 cm	54 cm
Lambdawert LOPAS Strohhacksel	0,042 W/mK	0,042 W/mK
Holzdämmplatte	6 cm	2,2 cm
Fassade bzw. Hinterlüftungsebene inklusive Abschluss-Dach	1 cm	5 – 20 cm
U-Wert	0,1 W/m ² K	0,085 W/m ² K
Brandwiderstand	REI 120	REI 60

Eine detaillierte Beschreibung dieses Reihenhausesprojekts wurde auszugsweise von der Website von ATOS Architekten (www.atos.at) von Architekt DI Heinrich Schuller – ATOS Architekten übernommen:

Der Gebäudekomplex besteht aus zwei Bauteilen mit je 3 und 4 Wohneinheiten, welche durch ein Gemeinschaftshaus miteinander verbunden sind. Aufgrund des Geländes ist das

unterste Geschoss als Kellergeschoss ausgeführt, welches südseitig komplett eingegraben ist. Darüber befinden sich zwei Hauptgeschosse.

Die Erschließung der Häuser erfolgt über einen offenen Laubengang auf der Nordseite, welcher über eine zentrale Treppe in der Mitte, eine zweite Treppe auf der Westseite sowie eine Rampe auf der Ostseite zugänglich ist. Die Kellergeschosse haben keine interne Verbindung mit den Hauptgeschossen, sondern Zugänge direkt von der Nordseite.

Die einzelnen Häuser werden in Passivhausqualität nach OIB errichtet und erfüllen somit die Anforderungen der NÖ Wohnbauförderung für Eigenheimförderung Passivhaus. Daher erfüllen die Häuser auch die Anforderung Luftdichtheit $n_{50} < 0,60 \text{ h}^{-1}$ und Heizwärmebedarf $< 10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Die Beheizung erfolgt mit einer zentralen Pelletsheizung, welche sich im Gemeinschaftshaus befindet. Unterstützt wird die Heizung durch eine dachintegrierte thermische Solaranlage sowie eine Fotovoltaikanlage.



Abbildung 27: Reihenhäuser Wohnhausanlage Maria Anzbach, Co-Housing Projekt. Architektur: Atos Architekten. Fotos: www.lopas.at

KONSTRUKTION

Die 7 Häuser sind bautechnisch komplett mittels durchgehenden Gebäudefugen getrennt. Das Kellergeschoß in Ortbeton stehen auf Dichtbetonfundamentplatten mit einer Betondecke. Darauf stehen die tragenden Außenwände in REI90-Qualität mit einer Wärmedämmung aus gepresstem Strohhäcksel. Die Zwischendecke besteht aus einer Holzmassivdecke in REI30-Qualität, das Steildach mit einer Neigung von 10° besteht aus einer Sparrenkonstruktion in REI60-Qualität, die ebenfalls mit gepresstem Strohhäcksel gedämmt wird. Die Dachdeckung erfolgt südseitig als extensiv begrüntes Dach und nordseitig als Kiesdach.

Ein zweigeschossiges Gemeinschaftshaus in Massivbauweise bildet in der Mitte einen eigenen Brandabschnitt, der laut Gutachten der IBS Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung Linz die Brandübertragung zwischen den beiden hölzernen Brandabschnitten verhindert. Es kommt in diesem Bereich Wärmedämmung der Brennbarkeitsklasse A1 zum Einsatz.

Der offene Laubengang erfüllt aufgrund der vorhandenen direkten Fluchtmöglichkeiten auf der Südseite die Brandschutzanforderung REI30. Der Bodenbelag besteht aus einem hölzernen Lattenrost auf Balkenlage, die Brüstung ist geschlossen und mit einem Handlauf in 1m Höhe versehen. Im Bereich des Gemeinschaftshauses wird der Bodenbelag sowie die Unterkonstruktion unbrennbar ausgeführt.



Abbildung 28: Grundriss Erdgeschoß. Reihenhause Wohnhausanlage Maria Anzbach, Co-Housing Projekt. Architektur: Atos Architekten. Übernommen aus:
<http://neu.atos.at/241-co-housing-maria-anzbach/>

Wände

Die Wände sind im System Lopas hergestellt. Sie bestehen im Wesentlichen aus einer thermisch getrennten Fuß- und Kopfschwelle. Die Säulen bzw. die Steher werden mit Steico-Wall Trägern, welche in einem Raster von ca. 50 cm angeordnet sind, eingebaut. Teilweise werden in diese Wände entsprechend der statischen Notwendigkeit Leimträgersäulen und Leimträgerunterzüge eingebaut. Die statische Aussteifung wird innen und außen mit einer 22mm starken OSB III Platte hergestellt. Raumseitig ist die Platte geschlossen und dient zugleich als Dampfbremse. Außenseitig ist die Platte gelocht und wird mit einem Flachsvlies und Lehmschlämme beplankt. Darauf erfolgt die Montage der Hinterlüftungsstaffel, Konstruktionslattung und Fassadenplatten aus Holz und Ziegel. Raumseitig wird auf die Wände 4,5cm Lehmputz, in dem auch die Elektroinstallation integriert ist, in zwei Lagen aufgebracht. Größere Installationen werden in einer vorgesetzten Installationsebene bzw.

Installations-schacht eingebaut. Die Wandoberflächen können unbehandelt bleiben oder mit Wandfarbe (Kasein od. Lehmfarbe) gestrichen werden. In den Spritzwasserbereichen wird normgemäß abgedichtet.

Zwischendecke

Die Zwischendecken werden in der Lönkybauweise (verdübelt Elemente) aus Vollholz hergestellt. Die Unterseiten der Decken bleiben sichtbar. Die Decken sind für den geforderten Brandschutz überdimensioniert. Als Fußbodenaufbau wird eine Rieselschichtfolie verlegt. Als Schallschutz wird ein Styroporunterbeton (Thermotec) aufgebracht. Der geforderte Schallschutz (Trittschall und Luftschall) wird durch diesen Styroporunterbeton erreicht. Darauf wird der Estrich mit teilweise integrierter Fußbodenheizung verlegt. Auf diesem Estrich werden Fußbodenbeläge aufgebracht. Im Nassbereich werden die Fußböden entsprechend Ö-Norm abgedichtet. Jener Bereich der Geschoßdecke welche eine Terrasse bildet wird mit einer Dampfsperre Bauder KSA abgedichtet. Darauf wird eine Gefälledämmung und Abdichtungsbahn (EPDM Kautschukplane) verlegt. Als Terrassenbelag wird ein Lärchenholzrost auf Staffelterkonstruktion verlegt.

Steildach – oberste Geschoßdecke

Den oberen Raumabschluss im OG bilden schrägliegende Lönky-Dachelemente mit 40cm Hohlraumdämmung aus gepresstem Strohhacksel. Die Träger bestehen im Wesentlichen aus Steico-Joist Trägern, welche in einem Raster von ca. 70 cm angeordnet sind. Die statische Aussteifung und Luftdichtheit innen erfolgt wie bei den Wandelementen mit einer 22mm OSB III Platte, die zugleich als Dampfbremse fungiert. Außen wird eine 25mm Rauschalung und eine diffusionsoffene Dachschalungsbahn (Bauder Diffutex NSK) aufgebracht. Darüber kommt die Hinterlüftungsebene, zweite Rauschalung und Schutzvlies. Die Abdichtung wird mit einer EPDM-Plane hergestellt, die mit Kiesschüttung bzw. extensiver Dachbegrünung versehen ist. Raumseitig wird 2cm Lehmputz in zwei Lagen aufgebracht. In diesem Lehmputz ist auch die Elektroinstallation integriert. Die Zwischenwände werden als Holzriegelwände mit beidseitig 12,5 mm Fermacellplatten und Flachsdämmung hergestellt.

5.5 Haus Ritter-Reumiller, Andelsbuch



Abbildung 29: Südansicht des Zubaus (DI Ingomar Reumiller)

Projektart:	Zubau eines Wohnhauses mit Büro
Errichtung	2008
Bauherr:	Ingomar Reumiller+Elisabeth Ritter-Reumiller
Planung:	DI Ingomar Reumiller
Bauphysik:	Ingenieurbüro DI Erich Reiner
Holzbau	Sohm Holzbautechnik
WNF:	ca. 150 m ²
HWB:	15,9 kWh/m ² a (berechnet, nach OIB)
Bauweise:	Massivholzkonstruktion (Diagonaldübelholz, leimfrei)
Dämmung:	39 cm Strohballen (Außenwände, Bodenplatte, Dach)
U- Werte:	Außenwand: 0,11 W/m ² K oberste Geschossdecke gg. belüfteten Dachraum: 0,06 W/m ² K Bodenplatte aufgeständert: 0,09 W/m ² K Fenster gesamt: 0,81 W/m ² K
Innenwände	Holzleichtbauweise, beplankt mit Lehmbauplatten

Beim Projekt Ritter-Reumiller in Andelsbuch (Vorarlberg) wurde ein strohgedämmter Zubau, als Hinterhaus an ein mehr als 150-Jahre altes Bregenzerwälder-Haus, für eine fünfköpfige Familie errichtet. Die Ökologie der Materialien mit lokaler Verfügbarkeit waren den Bauherren ebenso von großer Bedeutung, wie deren Rückbaumöglichkeit am Ende des Lebenszyklus. Als Verbindungsstück zur historischen Bausubstanz wurde ein Teil des ehem. Stadls als unbeheizter Pufferraum erhalten, der Rest davon wurde abgerissen - an seine Stelle trat der Neubau aus Stroh-Holz.

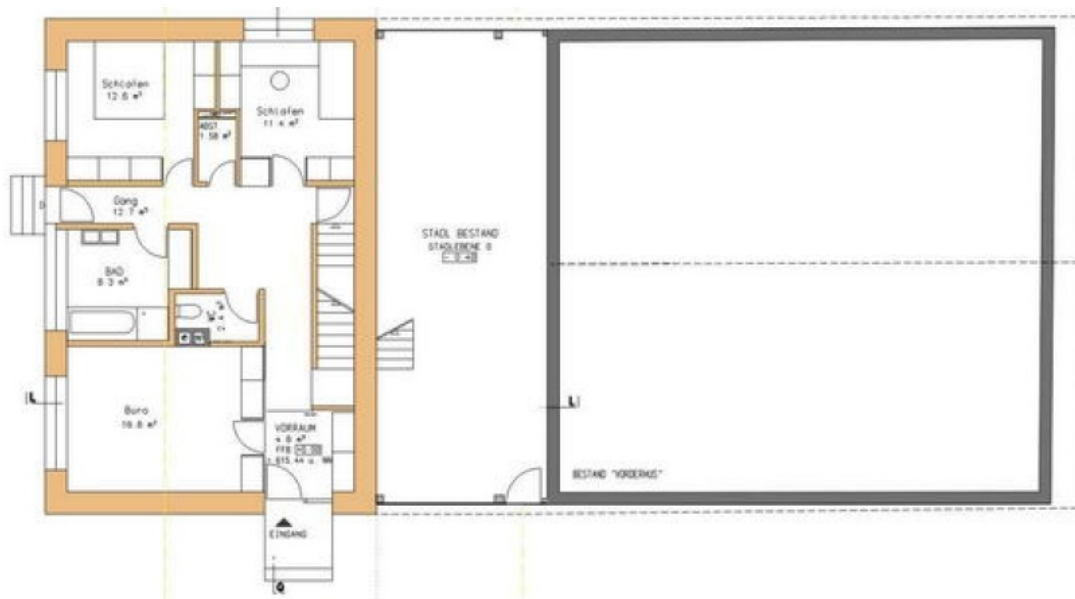


Abb.: Erdgeschoß mit strohgedämmtem Neubau (li), unbeh. Pufferraum (mitte) und historischer Bausubstanz des bestehenden Bregenzerwälderhauses (re)



Abbildung 30: GR Obergeschoß (DI Ingomar Reumiller)

Bei der Planung wurde darauf geachtet, dass die Geschoße auch separat voneinander als unabhängige Wohneinheiten genutzt werden können. Ermöglicht wird dies durch das außerhalb angesiedelte Stiegenhaus.

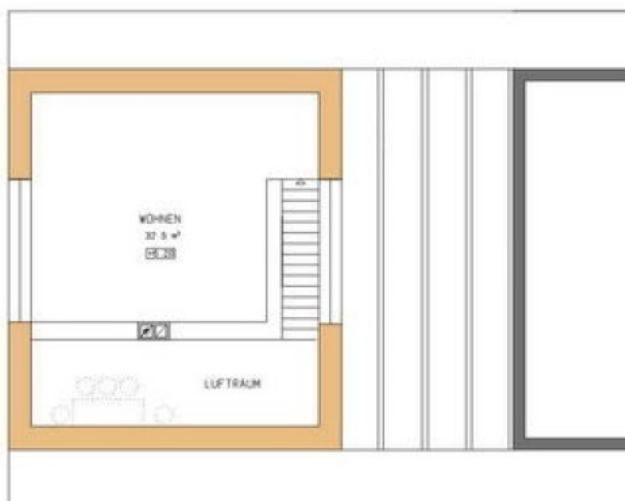


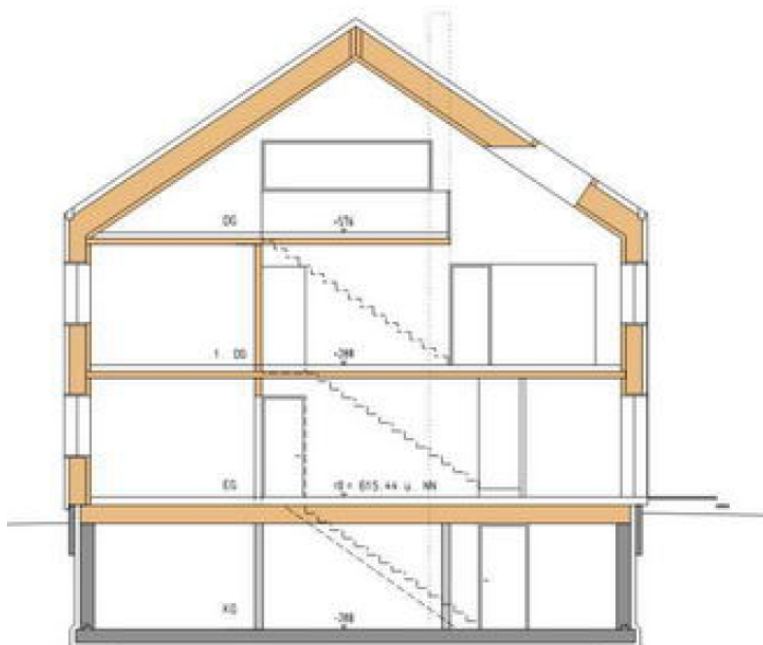
Abbildung 31: GR Dachgeschoß (DI Ingomar Reumiller)



**Abbildung 32: Längsschnitt
(DI Ingomar Reumiller)**

Der Schnitt zeigt den unterkellerten Neubau (li.), den unbeheizten Pufferraum (mitte), welcher als Verbindungsstück zum Bestand (re) dient und in der wärmeren Jahreszeit als zusätzlicher Wohnraum genützt werden kann.

Die thermische Hülle wurde an allen Seiten mit Stroh gedämmt.



**Abbildung 33: Querschnitt
durch den Neubau (DI Ingomar
Reumiller)**

Der Querschnitt zeigt den Neubau, EG und OG+DG können bei Bedarf später als eigenständige Wohneinheiten mit separatem Zugang funktionieren.

Bauteilaufbauten

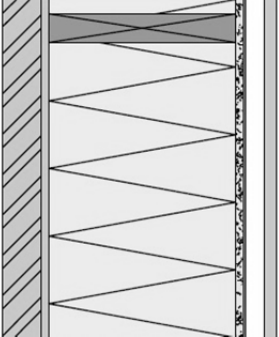
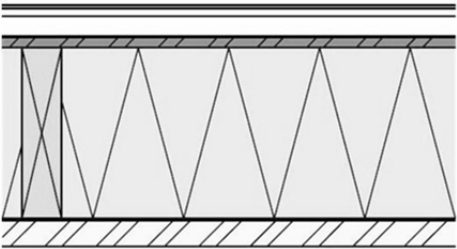
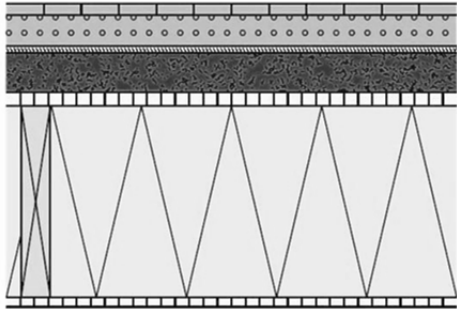
	Bauteil	U-Wert (W/m²K)
 I A	Außenwand hinterlüftet – Massivholzwand – 3-Schichtplatte – Strohballe – DWD-Platte – Windpapier, diffusionsoffen 0,0002 – Lattung / Hinterlüftung – Holzschalung	0,1
 I I A	Schrägdach hinterlüftet – Dachdeckung – Holzschalung – Lattung/Hinterlüftung – Unterspann- u. Unterdeckbahn – Diagonalschalung – Strohballe – Dampfbremse PE 0,0002 – Massivholzdecke	0,09
 A	Decke zu unbeheiztem Keller – Dielenboden auf Polsterhölzern – Lehmziegel – Holzfaser-Trittschalldämmplatte – Ziegelsplitt – Massivholzplatte 3-Schicht – Strohballe – Massivholzplatte	0,4

Abbildung 34: Bauteilaufbauten Quelle: Energieausweis, DI Erich Reiner

Bildmaterial des Fertigungsprozesses

Abbildung 35: Links: Pressung der Strohballen. Rechts: Die Strohballen wurden folienverpackt auf die Baustelle geliefert und vor Ort eingebracht. (DI Ingomar Reumiller)



Abbildung 36: Die Außenwände wurden inklusive der Dämmung aus Strohballen vorgefertigt. (DI Ingomar Reumiller)



Abbildung 37: Montage vorgefertigter Holz-Stroh-Wandelemente (DI Ingomar Reumiller)

5.6 Exkurs: Referenzprojekte in Porenbetonbauweise

Die Bauweise mit Porenbeton und Holzmassivdecken wurde ebenfalls als ressourcenschonende Alternative untersucht und daher hierfür einige Referenzgebäude kurz dokumentiert.

5.6.1 Allgemeine Informationen zu Porenbeton

Der Vorteil des Einsatzes von Porenbeton liegt laut der Firma Xella Porenbeton Österreich GmbH (2013) insbesondere darin, dass er im Herstellungsprozess energieeffizienter gefertigt werden kann als vergleichbare Baustoffe. Der für die Herstellung benötigte Wasserdampf wird so oft wie möglich wiederverwendet und danach zum Heizen eingesetzt. Bei der Produktion des Baustoffs, welcher aus Sand, Kalk, Zement und Wasser besteht, fallen keine luft-, wasser- oder bodenbelastenden Schadstoffe an. Die Abbildung 38 zeigt schematisch den Herstellungsprozess des Werks in Loosdorf. Der sparsame Rohstoffverbrauch lässt sich deutlich an folgendem Beispiel veranschaulichen: bei der Herstellung entstehen aus nur 1 m³ Rohstoff rund 5 m³ Porenbeton.

Der Baustoff ist einfach zu verarbeiten und klimatechnisch optimal, da er sich nur langsam erwärmt und ebenso langsam abkühlt, wodurch eine gleichmäßige Temperatur am Tag und in der Nacht gewährleistet wird (Xella, 2013). Beim Baustoff Porenbeton wird prinzipiell zwischen Porenbeton als konstruktives Bauteil (Wandelemente, Verbundsteine u.Ä.) mit einem Feststoffanteil von ca. 20 % und Porenbeton als Dämmstoff wie z.B. Multipor Mineraldämmplatten mit einem Feststoffanteil von nur 4 % unterschieden.

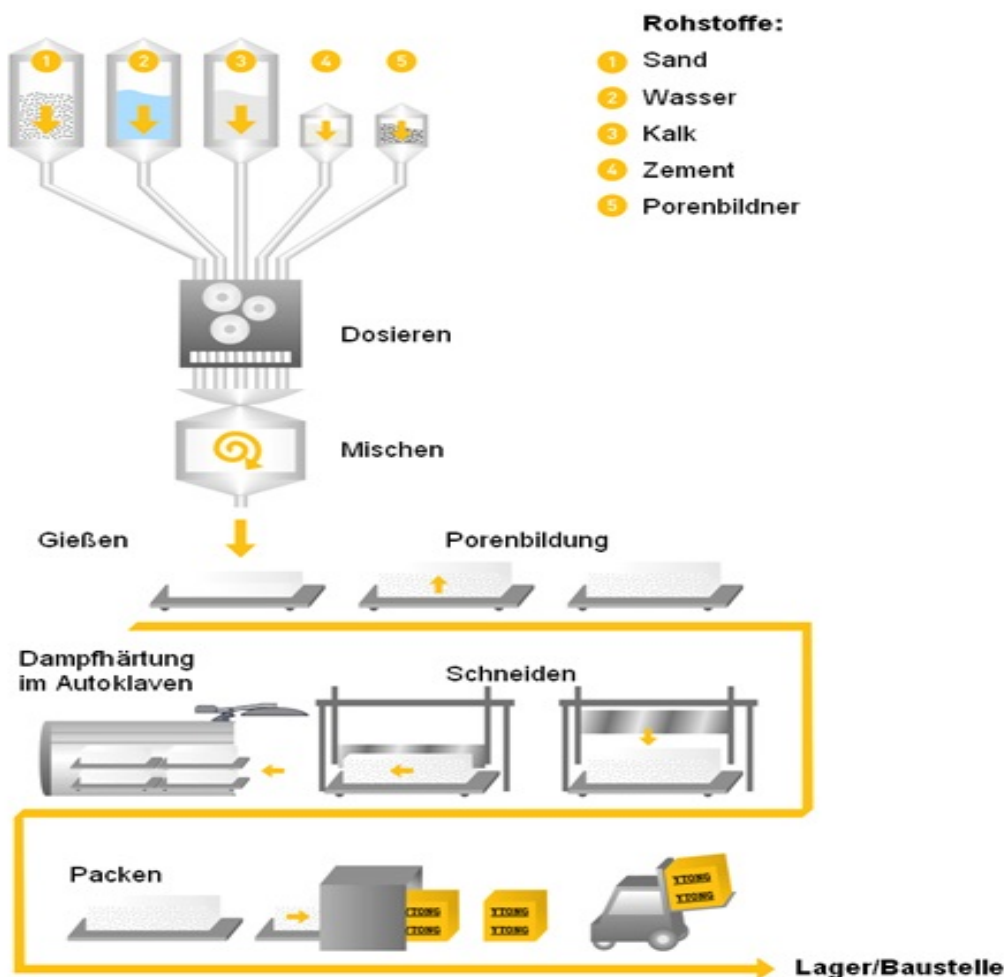


Abbildung 38: Visualisierung der Herstellung des Baustoffs Porenbeton (Xella, o.J.)

5.6.2 *Kindergarten Loosdorf*

Projektart:	Neubau Kindergarten mit Kleinkindergruppe
Bauherr:	Marktgemeinde Loosdorf
Baumeisterarbeiten:	Fa. Held & Francke – NL Loosdorf
Größe:	650 m ² EG-Fläche
Bauweise:	Ytong Systemwandelemente stehend SWE P4/0,60 25 cm, Wärmedämmverbundsystem EPS 16 cm; Decke Brettsperrholzelemente ca. 16 cm

Der Kindergarten in Loosdorf war das erste Projekt in Österreich, bei dem das Holz-Ytong-Verbundbausystem zum Einsatz kam. (Xella, o.J.)



Abbildung 39: Bauweise Porenbeton: Ytong Stein (Xella, o.J.)



Abbildung 40: Kindergarten Loosdorf (Xella, o.J.)

5.6.3 *Passivhaus Horitschon*

Projektart:	Neubau Einfamilienhaus im Passivhausstandard
Bauherr:	privat
Baumeisterarbeiten:	Baderbau, Horitschon
Größe:	252,52 m ² Nutzfläche
Bauweise:	Ytong Thermoblock 30 cm, Röfix Minopor WDVS

Bei diesem Einfamilienhaus handelt es sich um das 1. Passivhaus aus Ytong im Burgenland. Porenbeton stellt im Passivhaus ein behagliches Wohnklima her. (Xella, o.J.)



Abbildung 41: Einfamilienhaus im Passivhausstandard, Erbauungsphase (Xella, o.J.)



Abbildung 42: Ytong Thermoblock 30 cm (Xella, o.J.)

5.6.4 *Museum am Bergisel in Innsbruck*

Projektart:	Innendämmung der Sichtbeton Außenwand
Bauherr:	Land Tirol
Baumeisterarbeiten:	Alpine
Generalplaner:	Architekten stoll.wagner
Zu dämmende Fläche:	650 m ² EG-Fläche
Verwendete Materialien:	180 mm Innendämmung mit Multopor Mineralschaumplatte

Multopor hält den Luftfeuchte-Temperaturhaushalt in Gebäuden konstant, was vor allem bei diesem Projekt enorme Vorteile birgt, da im Betonzylinder ein historisches Riesensandgemälde ausgestellt ist. (Xella, o.J.)



Abbildung 43: Beispiel für Innendämmung mit Multopor: Bergisel Museum (Xella, o.J.)



Abbildung 44: Multopor Dämmplatten (Xella, o.J.)

6 Wohnhausanlage Lasee Amselgasse

6.1 Informationen zu Projektentwicklung und Planungsablauf

Am 26.08.2008 hat der NÖ-Gestaltungsbeirat die von Architekturbüro Treberspurg & Partner Architekten ZT GmbH eingereichte Siedlung des gemeinnützigen Bauträgers GEDESAG (Gemeinnützige Donau-Ennstaler Siedlungs-Aktiengesellschaft) in Lasee-Schönfeld als „positives Benchmark-Projekt“ ausdrücklich lobend erwähnt und genehmigt. Diese lobende Erwähnung ist eine seltene Vorgangsweise des Gestaltungsbeirats.



Abbildung 45: Wohnhausanlage Lasee-Schönfeld. Lageplan und Perspektiven. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2008)



Abbildung 46: Wohnhausanlage Lasee-Schönfeld. Renderings. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2008)

In weiterer Folge wurden Details für die Holz-Stroh-Bauteile entworfen, die im folgenden Abschnitt „Detailplanung Strohbauteile“ dokumentiert wurden. Aufgrund des Wohnungsbedarfs (unzureichende Nachfrage an eingeschößigen Winkelhäusern) und der Verfügbarkeit der Grundstücke in der Großgemeinde Lassee ergab sich jedoch in weiterer Folge eine grundsätzliche Änderung. Anstelle der eingeschößigen Winkelhäuser in Schönfeld wurden fünf zweigeschößige, nicht unterkellerte Mehrfamilienhäuser mit je sechs Wohnungen in Lassee - Amselgasse geplant. Am 22.11.2010 hat der NÖ-Gestaltungsbeirat für den geförderten Wohnbau unter der Zahl GSB-822 die Siedlung der GEDESAG in Lassee positiv begutachtet.



Abbildung 47: Wohnhausanlage Amselgasse, Ortsplan und Luftbild. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)

Die Gebäude sollten einen massiven Impuls für den Einsatz regional verfügbarer, ressourcenschonender Rohstoffe im Wohnbau geben. Für die erste Bauphase sollten in der Amselgasse drei Baukörper in unterschiedlichen Bauweisen aber mit nahezu identer Geometrie realisiert werden, um verschiedene Konstruktionen anhand von gleichen Gebäudetypen zu vergleichen und zu bewerten:

- Block A: Konventionelle Ziegelmassivbauweise mit Stahlbetondecken
- Block B: Porenbeton-Systembauweise mit Holzmassivdecken
- Block C: Stroh-Holzleichtbau mit Stahlkonstruktion und Stahlbetondecke (C1).
In der weiteren Planung erfolgten Alternativangebote für reine Holzbauweise (ohne Stahlkonstruktion):
 - Alternative 1: mit Holzmassivdecke (C2)
 - Alternative 2: mit Holztramdecke (C3)

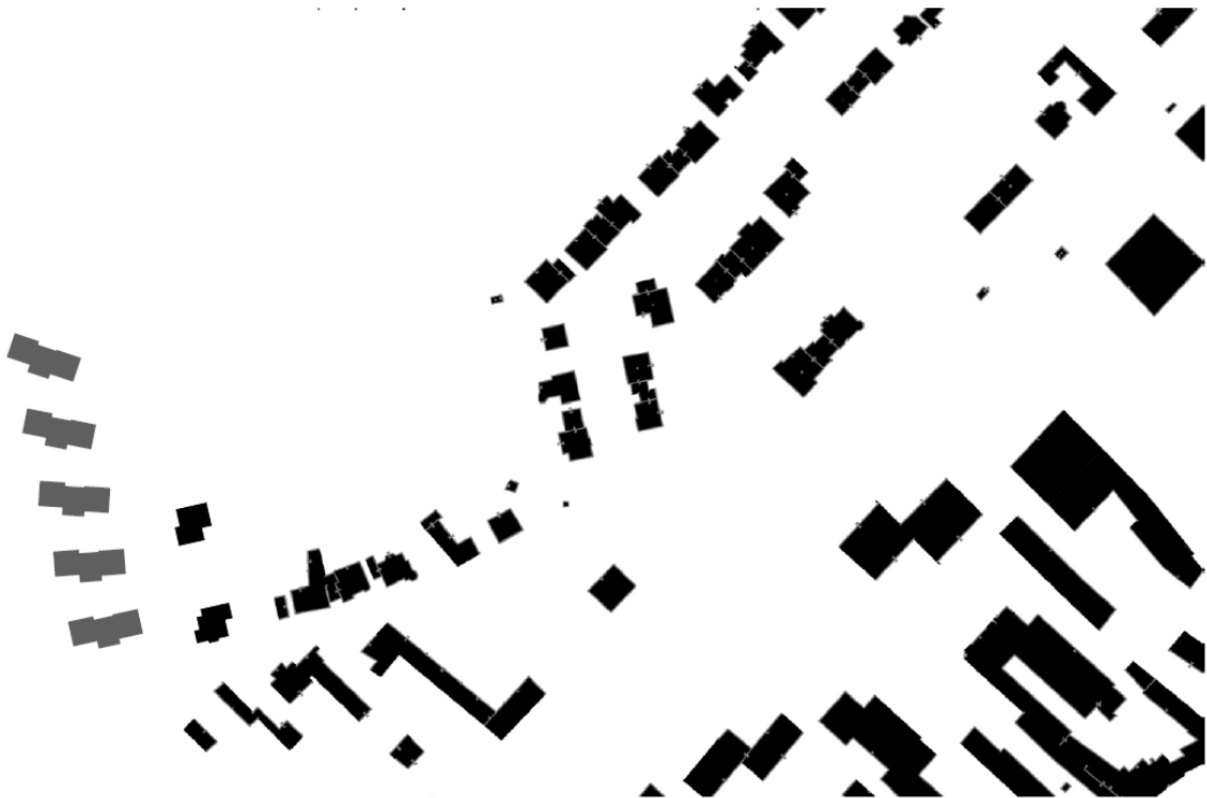


Abbildung 48: Wohnhausanlage Amselgasse, Schwarzplan. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)

Im Winter 2011/2012 wurden vom Architekturbüro Treberspurg & Partner die Ausführungs- und Detailpläne für alle drei Ausführungsvarianten gezeichnet. Aufbauend auf dieser Planung wurde eine gewerkeweise Ausschreibung mit Leistungsverzeichnissen verfasst und diese Unterlagen im Frühjahr 2012 an qualifizierte Holzbauunternehmen sowie andere Produktionsbetriebe zur Angebotsabgabe verschickt.



Abbildung 49: Wohnhausanlage Amselgasse, Renderings. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)

Nach einer detaillierten Prüfung aller eingegangenen Angebote wurden mehrere Vergabegespräche mit den anbietenden Firmen geführt und dabei auch Alternativangebote eingehend auf deren Realisierungstauglichkeit hin überprüft.

Die Ergebnisse zeigten zum Teil eklatante Kostenunterschiede, wobei auch der konventionelle Ziegelbau (Variante A) etwa 10 % über der Kostengrenze liegt, die von Seiten des Bauträgers festgelegt wurde. Die Kosten der Variante Block B mit Porenbeton und Massivholzdecken liegen etwa 13 % über Variante A (25 % über der Grenze des Bauträgers). Die Kosten der Variante Block C (C1) mit Holz-Strohbauweise liegt etwa 18 % über Variante A und damit 29 % über der Grenze des Bauträgers.



Abbildung 50: Wohnhausanlage Amselgasse, Ansicht Nord. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)



Abbildung 51: Wohnhausanlage Amselgasse, Ansicht Süd. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)

Der Bauherr kam zu dem Ergebnis, dass diese Wohnhäuser innerhalb des derzeit gültigen Finanzierungsrahmens der Niederösterreichischen Wohnbauförderung leider nicht realisiert werden können.

In weiterer Folge wurde der Schwerpunkt des Forschungsprojekts auf Analysen zur Optimierung der Wirtschaftlichkeit gelegt. In Gesprächen mit den Fachfirmen wurde genauer erhoben, aus welchen Gründen die vorgefertigten Holz-Stroh Konstruktionen für den Einsatz im geförderten Wohnbau derzeit nicht geeignet sind.

Es soll untersucht werden, welche Parameter in Konzeption, Konstruktion, Detailplanung und Projektfinanzierung verändert werden können um eine Realisierung zu ermöglichen.

Die Beantwortung dieser Fragen war notwendig, um eine Forcierung des Einsatzes von Konstruktionen mit besseren Lebenszykluskosten im großvolumigen Wohnbau zu unterstützen.

In weiterer Folge wurde die Planung für alle Gebäude grundsätzlich überarbeitet um Kosten zu reduzieren:

- Aufgrund der verringerten Nachfrage in Lassee wurden die 3-Zimmer-Wohnungen mit ca. 80 m² WNF zu 2-Zimmer-Wohnungen mit ca. 58 m² WNF verkleinert, sodass es zu einer Reduktion des Bauvolumens um etwa 140 m² WNF kommt.
- Alle drei Baublöcke wurden einheitlich in konventioneller Ziegelbauweise geplant, um marktfähige Preise zu erzielen.
- Einsparmaßnahmen an Bauteilen: Kunststofffenster anstelle von Holzfenstern; Verkleinerung und Vereinfachung der Balkone und andere Details
- Einsparmaßnahmen im Freiflächenbereich: Oberflächen, etc.

Dies wurde in zwei Planständen umgesetzt:

- Planstand B, mit ca. 313-372 m² WNF: Reduktion der bebauten Fläche, durch Verkürzung der Baukörper. Einlagerungsräume extra als Nebengebäude. Wohnung im Obergeschoß verkleinert – Anpassung an verstärkte Nachfrage nach Single-Wohnungen.
- Planstand C, ca. 370 m² WNF: Gemeinschaftsraum von Block A weggelassen.

Der Baubeginn für den ersten Bauabschnitt mit Block A – C erfolgte Ende 2012 und die Fertigstellung erfolgte im Sommer 2014.



Abbildung 52: Wohnhausanlage Amselgasse, Erster Bauabschnitt. Foto: Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2014



Abbildung 53: Wohnhausanlage Amselgasse, Erster Bauabschnitt. Foto: Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2014



Abbildung 54: Wohnhausanlage Amselgasse, Erster Bauabschnitt. Foto: Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2014



Abbildung 55: Wohnhausanlage Amselgasse, Erster Bauabschnitt. Foto: Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2014

6.2 Informationen zu Bauträger und Architekturbüro

Bauträger GEDESAG

Die GEDESAG (Gemeinnützige Donau-Ennstaler Siedlungs Aktiengesellschaft) ist ein gemeinnütziges Wohnbauunternehmen mit Sitz in Krems. Die GEDESAG wurde im Jahr 1939 gegründet mit dem Ziel der Errichtung, Verwaltung und Sanierung von Mietwohnungen, Eigentumswohnungen, Wohnhausanlagen und Reihenhäusern.

Die GEDESAG betreut etwa 11.500 Wohneinheiten (Stand 2008) in 60 Gemeinden in Niederösterreich und zählt damit zu den bedeutendsten Wohnbauunternehmen im Bundesland.

Als Auszeichnung für gelungene und landschaftsgerechte Bautätigkeit wurden dem Unternehmen bereits zweimal die Goldene Kelle, der Baupreis des Landes Niederösterreich und der Bauherren-Preis 2004 der Zentralvereinigung der Architekten Österreichs sowie weitere Auszeichnungen verliehen.

Architekturbüro Treberspurg und Partner Architekten ZT GmbH:

Das Architekturbüro Treberspurg besteht seit 1982. 1996 wurde die Treberspurg & Partner Architekten Ziviltechniker GmbH gegründet. Dem Team gehören Martin Treberspurg, Friedrich Mühling, Christian Wolfert und Bernhard Kollmann an.

Der Schwerpunkt der Tätigkeit liegt in der Planung und Durchführung von Bauwerken, die mit höchsten gestalterischen Ansprüchen zur Steigerung der Lebensqualität der Bewohner sowie durch niedrigen Energieverbrauch und passive Sonnenenergienutzung zur Entlastung der Umwelt beitragen.

Treberspurg & Partner Architekten haben im Bereich der energieeffizienten Gebäudekonzeption richtungsweisende und international beachtete Projekte verwirklicht. Auf dem Gebiet der Altbausanierung wurden energetische Sanierungen, Um- und Zubauten sowie Restaurierungen historischer Gebäude unter Einbeziehung des Denkmalschutzes durchgeführt.

Eine konstante Forschungs- und Entwicklungsarbeit des Büros ermöglicht eine optimale Nutzung innovativer architektonischer Konzepte. 1999 wurde das große Engagement mit dem „Sir-Robert-Matthew Prize“, dem Weltarchitekturpreis der UIA (Union Internationale des Architectes), belohnt.

Für die Zukunft zu bauen bedeutet für Treberspurg & Partner Architekten, die Position als Gestalter der Umwelt mit Verantwortungsbewusstsein zu erfüllen. Daher halten sie einen sorgfältigen Umgang mit Ressourcen und eine Besinnung auf erneuerbare Energieträger für jede planerische Auseinandersetzung für ebenso bedeutend wie Nutzungseffizienz und eine hohe ästhetische Qualität der Architektur.

6.3 Allgemeine bautechnische und haustechnische Beschreibung

In diesem Abschnitt erfolgt eine allgemeine Beschreibung des Planstands für die drei unterschiedlichen Bauweisen, also Planstand A vor der Umplanung zur Kosteneinsparung.

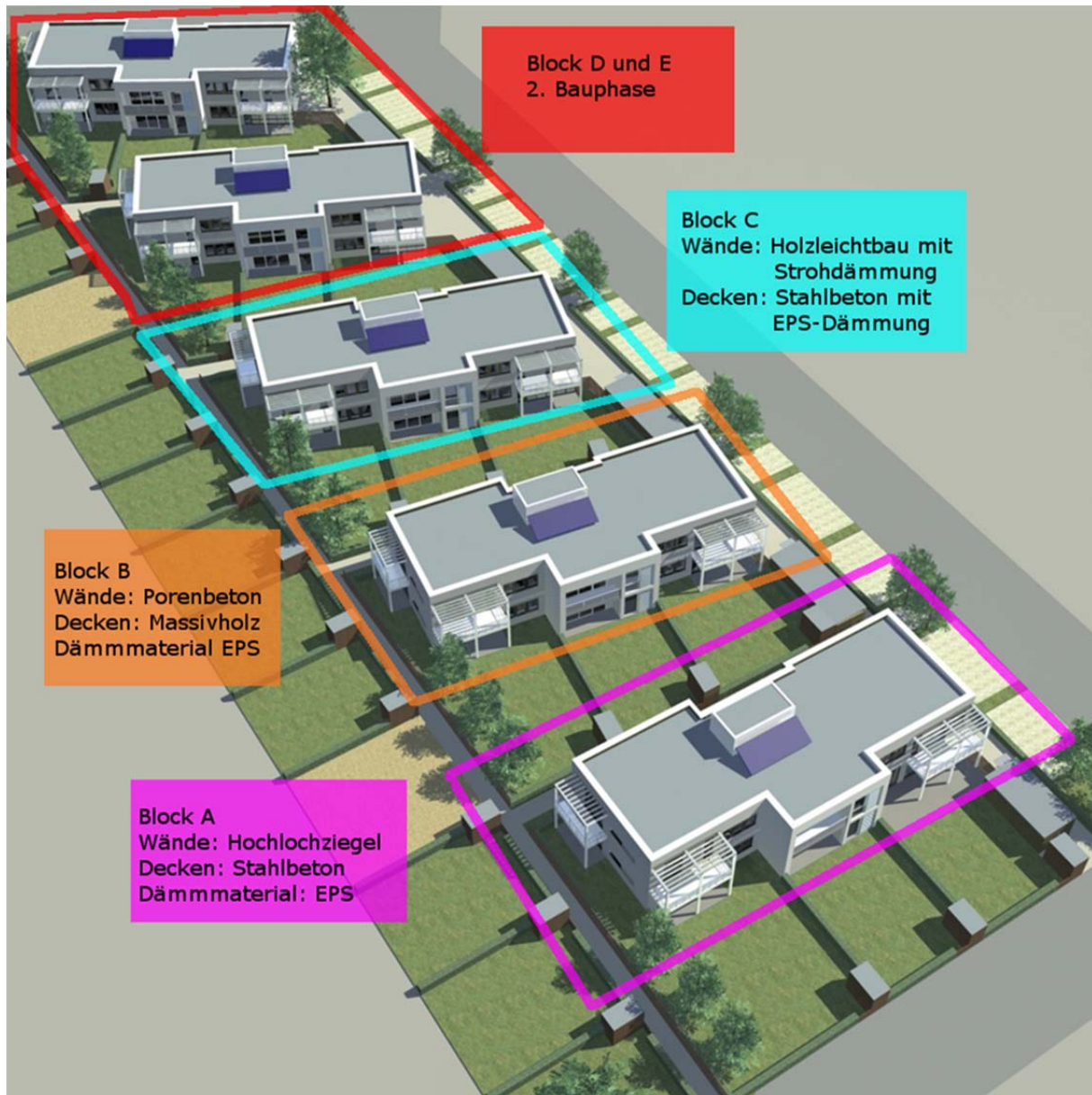


Abbildung 56: Rendering der geplanten Wohnhausanlage Amselgasse. Drei unterschiedliche Bauweisen für den ersten Bauabschnitt (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH)



Abbildung 57: Lageplan Wohnhausanlage Lasee (Treberspurg & Partner Arch., 2011)

Grundstücksdaten:

Fläche: 7.895 m²

Das Grundstück ist als „Bauland Wohnen“ gewidmet. Im Westen befindet sich ein 15 m breiter Streifen, der als Grüngürtel gewidmet ist. Im Grüngürtel ist ein 245 m² großer Kinderspielplatz geplant. In diesem Areal dürfen keine massiven Fundamente oder andere Einbauten errichtet werden. Die Wohnungen im Erdgeschoss besitzen einen Eingangsgarten direkt vor der jeweiligen Terrasse, jene im Obergeschoss haben ihre Gärten im Grüngürtel. Entlang der Amselgasse werden 44 PKW-Stellplätze, davon 1 Behindertenparkplatz, angeordnet.

Bebaute Flächen:

Block A:	310,52 m ²
Block B:	306,18 m ²
Block C:	313,60 m ²
Block D:	313,60 m ²
Block E:	313,60 m ²
Summe:	1.557,50 m ²
Müllräume:	83,85 m ²
Geräteabstellraum:	53,18 m ²
Fahrradabstellraum:	64,80 m ²
Gesamt:	1.759,33 m ²

Die Gebäude sind nicht unterkellert und weisen zwei oberirdische Geschoße auf. Pro Block sind 6 Wohneinheiten angeordnet, nur im Block A beschränkt sich das Wohnungsangebot auf 5 Wohneinheiten, da hier auch die Gemeinschaftsräume vorgesehen waren (Die Gemeinschaftsräume wurden im Zuge der Umplanung zur Kosteneinsparung wieder in eine Wohneinheit umgeplant).

Die Müll- und Fahrradabstellräume sind straßenseitig situiert, ebenso die Abstellräume, die in jedem Gebäude im Erdgeschoss integriert sind. Die Wohneinheiten im Erdgeschoss besitzen zusätzlich jeweils einen Geräteabstellraum im Garten. Die Bewohner können gemeinschaftlich einen Trocken- und Gemeinschaftsraum inkl. Nebenräume nutzen, welche sich (wie auch die FW-Übergabestation) wie oben erwähnt im Erdgeschoss von Block A befinden. Jeder Block hat zusätzlich einen Technikraum am Dach.

Am Lageplan fällt auch auf, dass die Grundprinzipien des solaren Bauens (Treberspur, 1999) berücksichtigt wurden. Insbesondere die Ausrichtung der Gebäude in Richtung Süden ist ein wesentliches Merkmal der energiesparenden Planung der Wohnhausanlage.

Bauweise:

Grobe Eckdaten der verschiedenen Bauweisen sind wie folgt:

Gemeinsamkeiten aller Blöcke / BauweisenDächer:

Flachdächer mit extensiver Begrünung

Fenster, Türen: Kunststoffrahmen, 3-Scheiben Wärmeschutzglas, $U_g = 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Vereinzelt auch Alurahmen mit 2-Scheiben Wärmeschutzglas, $U_g = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Stiegenhaus: Treppen, Podeste, Decke aus Stahlbeton

Block A:

Brutto-GF: 606,18 m²

Außenwand: 25 cm Hochlochziegel mit 26 cm EPS-F Vollwärmeschutz

Decken: Stahlbeton-Massivdecken

Dach: 35cm EPS W25 plus

Block B:

Brutto-GF: 596,97 m²

Außenwand: 30 cm Porenbeton mit 16 cm EPS-F Vollwärmeschutz

Decken: Holz-Massivdecken mit abgehängter GKF-Decke auf Schwingbügel.

Dach: 35cm EPS W25 plus

Variante B2: wie B1, jedoch Mineralschaum-Dämmplatten für Außenwände und Dach

Block C (C1):

Brutto-GF: 610,54 m²

Außenwand: Holzriegelkonstruktion, verputzt, 40 cm Strohhallendämmung.
Stahlkonstruktion

Decken: Stahlbeton-Massivdecken

Variante C2: wie C1, jedoch

Außenwand: Reine Holzleichtbau-Riegelwand ohne Stahlkonstruktion

Decken: Holz-Massivdecken (Brettschichtholz) mit abgehängter GKF-Decke auf Schwingbügel.

Variante C3: wie C2, jedoch Holztramdecken

Tabelle 11: Flächen der Thermischen Gebäudehülle (Datenquelle: Energieausweis 05.08.2011, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH)

Block A		Block B		Block C	
Opake Flächen	Fensterflächen	Opake Flächen	Fensterflächen	Opake Flächen	Fensterflächen
91,68 %	8,32 %	91,4 %	8,6 %	91,53 %	8,47 %
1.144,7 m ²	103,87 m ²	1.129,9 m ²	106,26 m ²	1.149,0 m ²	106,3 m ²

Tabelle 12: Vergleich Außenwandfläche/Fensterfläche (Datenquelle: Energieausweis 05.08.2011, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH)

	Block A		Block B		Block C	
	Außenwandfläche (m ²)	Fensterflächen (m ²)	Außenwandfläche (m ²)	Fensterflächen (m ²)	Außenwandfläche (m ²)	Fensterflächen (m ²)
Norden	174,3	28,73	163,46	31,12	175,49	31,12
		16%		19%		18%
Osten	69,2	4,62	68,44	4,62	69,12	4,62
		7%		7%		7%
Süden	148,98	57,58	148	57,58	149,03	57,58
		39%		39%		39%
Westen	93,78	12,94	92,62	12,94	93,96	12,94
		14%		14%		14%
Dach	310,51	0	306,16	0	313,58	0
Summe	796,77	103,87	778,68	106,26	801,18	106,26
		13%		14%		13%

Die Fensterflächen Richtung Süden sind bedeutend großzügiger angelegt als in Richtung Norden (siehe Abbildung 58). Dies ermöglicht eine optimale Nutzung der passiven Sonnenenergie.

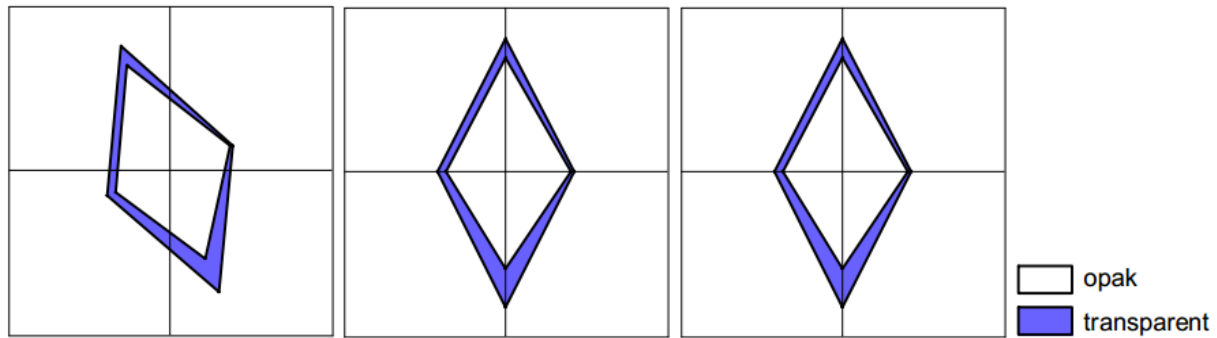


Abbildung 58: Orientierung der Flächen der Blöcke A, B und C (v.l.n.r.) (Datenquelle: Energieausweis 05.08.2011, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH)

Haustechnische Angaben (Datenquelle: Energieausweis 05.08.2011, Treberspurg & Partner Architekten)

Raumheizung:

- Raumheizungswärmebereitstellung dezentral (25 kW), Fernwärme (Strohheizwerk), Sekundärkreis;
- Raumheizung: kein Speicher; Anbindeleitungen: Länge pauschal, 1/3 gedämmt, Armaturen ungedämmt;
- Abgabe: Einzelraumregelung mit Thermostatventilen, individuelle Wärmeverbrauchsermittlung, Heizkörper (60°C / 35°C)

Warmwasser:

- WW- und RH-Wärmebereitstellung kombiniert
- Speicherung: indirekt beheizter Warmwasserspeicher, Solaranlage, Anschlusssteile gedämmt, ohne E-Patrone, Aufstellungsort konditionierte Lage in Zone Wohnen
- Stichleitung: Längen pauschal, Kunststoff
- Abgabe Zweigriffarmaturen, individuelle Wärmeverbrauchsermittlung

Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung:

- Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung für Wohngebäude,
- Luftwechsel bei Luftdichtheitsprüfung (n_{50}) = 1 h⁻¹, zusätzlicher Luftwechsel (n_x) = 0,07 h⁻¹
- Gegenstrom-Wärmetauscher, Wärmebereitstellungsgrad = 75 %, ohne Erdwärmetauscher

Warmwasserbereitung mit Solarthermie:

- Kollektor: ausschließlich für Warmwasserwärmebedarf, laut Polierplan 20.02.2012: 20 m² Kollektor, 35° aufgeständert, südorientiert.
- Kollektorkreis: Vertikale Leitung des Kollektorkreises, Längen pauschal, konditionierte Lage in Zone Wohnen, 1/3 gedämmt, horizontale Leitung des Kollektorkreises: nicht konditioniert, 3/3 gedämmt

Abwasser:

- Schmutzwasser: Anschluss an öffentlichen Schmutzwasserkanal
- Regenwasser: Dachwässer werden in Sickerschächten abgeführt; Oberflächenwässer werden in Versickerungsgräben und -flächen zur Versickerung gebracht

Die Gebäude werden mit Fernwärme aus dem zentralen Stroh-Heizwerk der Gemeinde Lassee versorgt, wodurch die ökologisch bewertete Betriebsenergie auf einem sehr günstigen Niveau liegt. Im Fernheizwerk Ökopark Marchfeld werden durch die Verbrennung von 2.500 t Stroh, 9.000 MWh Wärme im Jahr produziert sowie Klimaschutz, Bodenschutz, regionale Autarkie, Ressourcenschonung und eine nachhaltige Zukunftsplanung in Lassee forciert (Grammanitsch, 2008).

Energiekennzahlen

Datenquelle: Energieausweis 05.08.2011, Treberspurg & Partner Architekten

Tabelle 13: Gebäudedaten der Blöcke A,B und C lt. Energieausweis (Brutto-Grundfläche, Kompaktheit, mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient)

	Block A	Block B	Block C
BGF (m ²)	606,18	596,97	610,54
Kompaktheit (A/V) (1/m)	0,60	0,60	0,59
Mittlerer U-Wert (W/m ² K)	0,224	0,219	0,210

Tabelle 14: Wärme- und Energiebedarf der Blöcke A,B und C lt. Energieausweis

	Block A		Block B		Block C	
	zonenbezogen (kWh/a)	spezifisch (kWh/m ² a)	zonenbezogen (kWh/a)	spezifisch (kWh/m ² a)	zonenbezogen (kWh/a)	spezifisch (kWh/m ² a)
HWB						
Standortklima	13.028	21,49	12.349	20,69	11.827	19,37
WWWB	7.744	12,78	7.626	12,78	7.800	12,78
HTEB-RH	1.564	2,58	2.342	3,92	2.482	4,06
HTEB-WW	-1.601	-2,64	-1.636	-2,74	-1.584	-2,59
HTEB	7.569	12,49	8.270	13,85	8.522	13,96
HEB	23.946	39,50	23.843	39,94	23.757	38,91

Da sich betreffend der Energiekennzahlen nur unwesentliche Abweichungen zwischen den verschiedenen Bauweisen ergeben, wurden für die Ökobilanz Durchschnittswerte für den Heizwärmebedarf (HWB) von 20,5 kWh/m²a und für den Heizenergiebedarf (HEB) von 39,4 kWh/(m²*a) für alle drei Bauweisen angenommen.

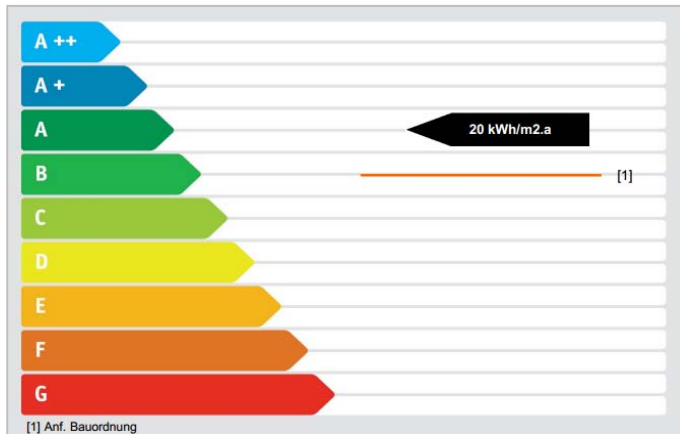


Abbildung 59: Spezifischer Heizwärmebedarf Block B – entspricht ungefähr Durchschnittswert 20,5 kWh/(m²a) (Treberspurg & Partner Architekten ZT GmbH, 2011)

Der mittlere Heizenergiebedarf setzt sich aus 6,3 kWh/(m²a) elektrischer Energie für Pumpen und Ventilatoren und 33,1 kWh/(m²a) Fernwärme vom Strohheizwerk zusammen.

6.4 Bauteilanalyse der unterschiedlichen Bauweisen

Im Gegensatz zur konventionellen Ziegelmassivbauweise im Block A wurden für Block B und C Alternativen aus nachwachsenden Rohstoffen gewählt.

Die Ziegelmassivbauweise wird nachfolgend der Vollständigkeit halber kurz angesprochen, auf die Baustoffe Porenbeton (Block B) und Stroh (Block C) wird in weiterer Folge näher eingegangen.

6.4.1 Block A: Massivbauweise mit Ziegelaußenwänden

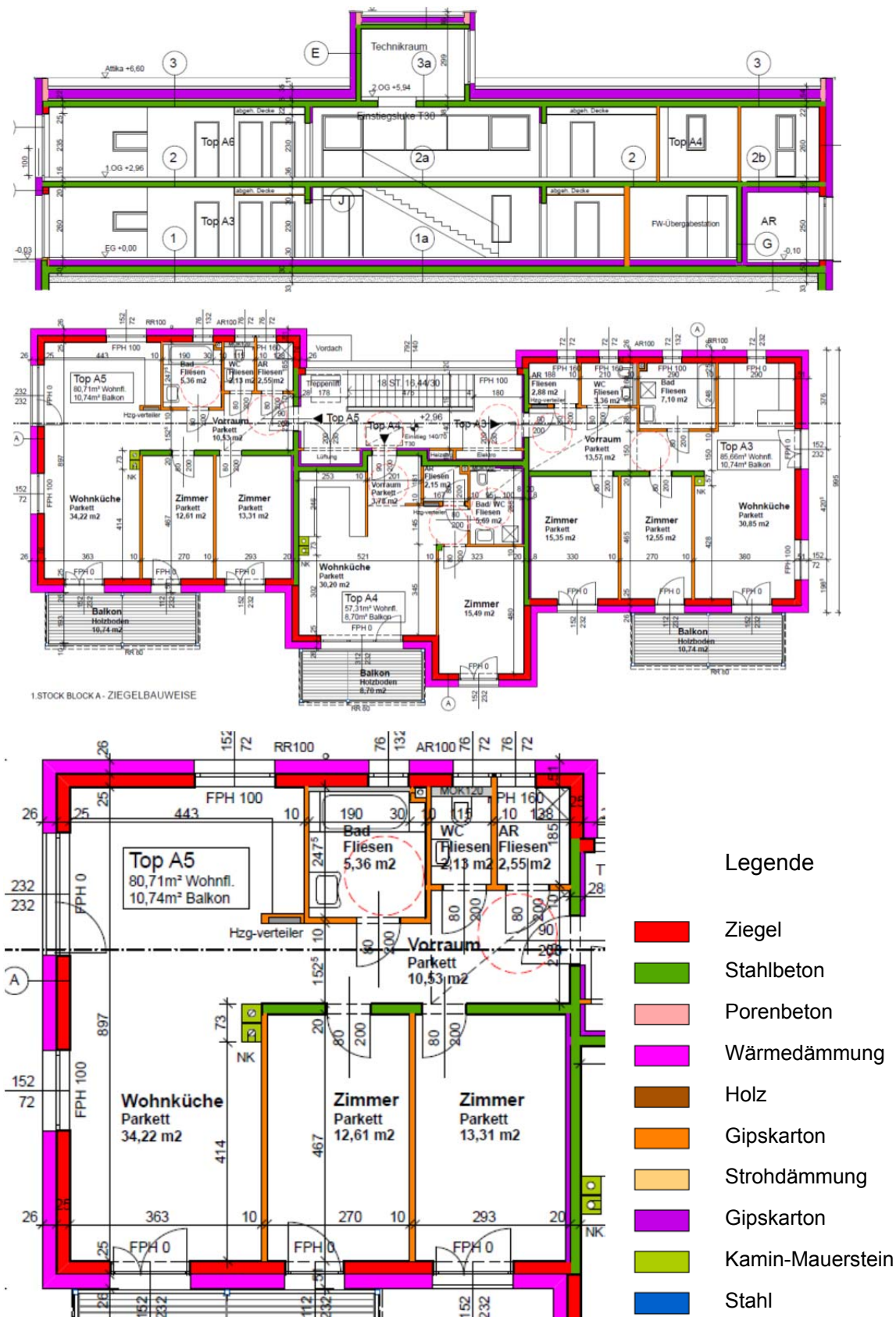
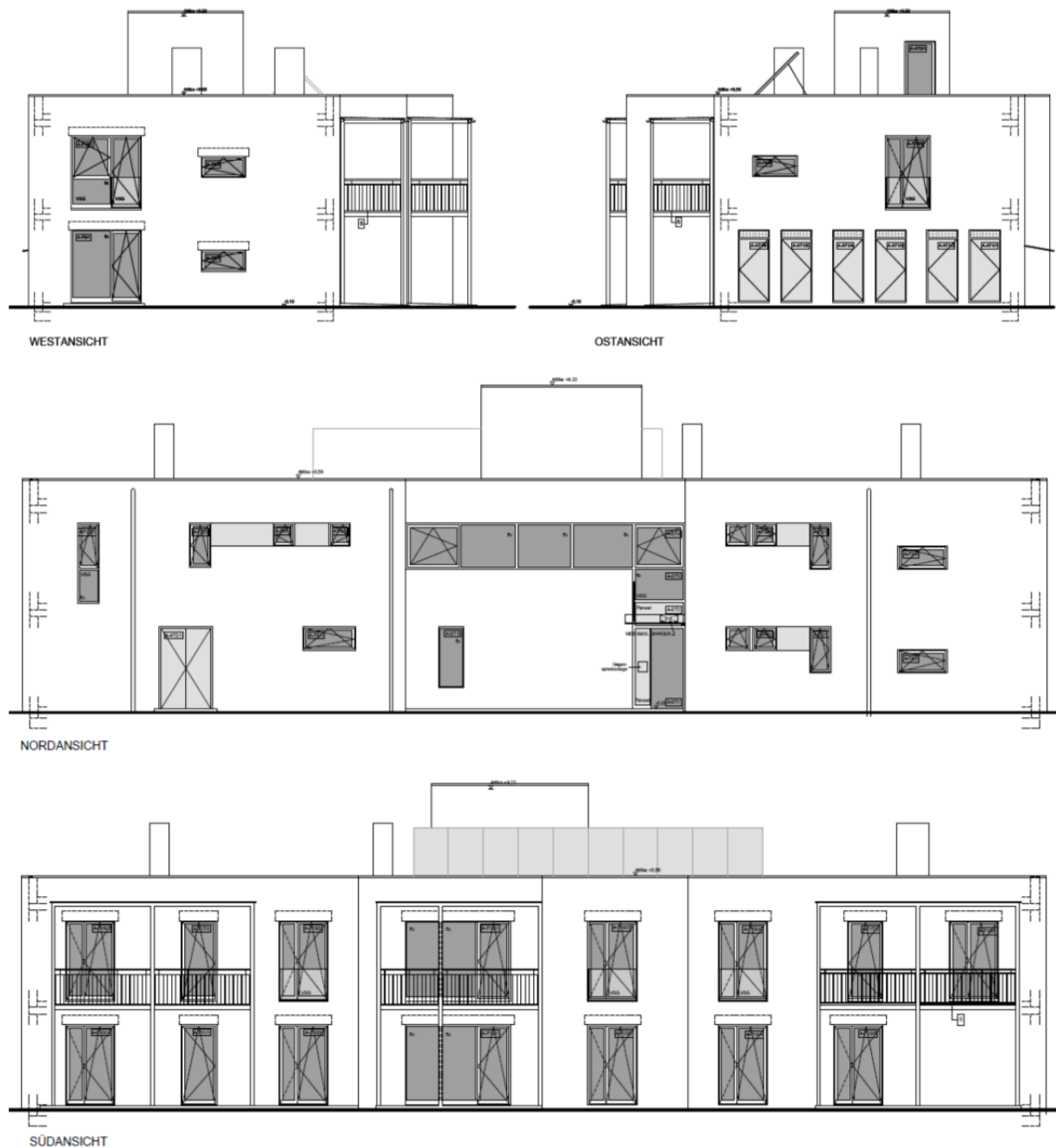


Abbildung 60: Einreichpläne Block A – konventionelle Ziegelbauweise. Längsschnitt, Grundriss 1. OG, gesamt und Top A5, 25.02.2011 (Treberspurg & Partner Arch, 2011)

Bei Block A wurden die Außenwände in Ziegelmassivbauweise (25 cm Hochlochziegel, 26 cm EPS-F Dämmung) geplant. Die Dachkonstruktion für das extensiv begrünte Flachdach besteht aus 22 cm starken Stahlbetonelementen und 35 cm EPS W25 Dämmung.

Die in der folgenden Abbildung dargestellten Ansichten sind für alle Bauweisen - Block A, B und C – ident.



**Abbildung 61: Polierplane – Ausführungsunterlage. Ansichten Block A, B, C. 20.02.2012
(Treberspurg & Partner Architekten ZT GmbH, 2011)**

6.4.2 Block B: Porenbetonbauweise mit Massivholzdecke

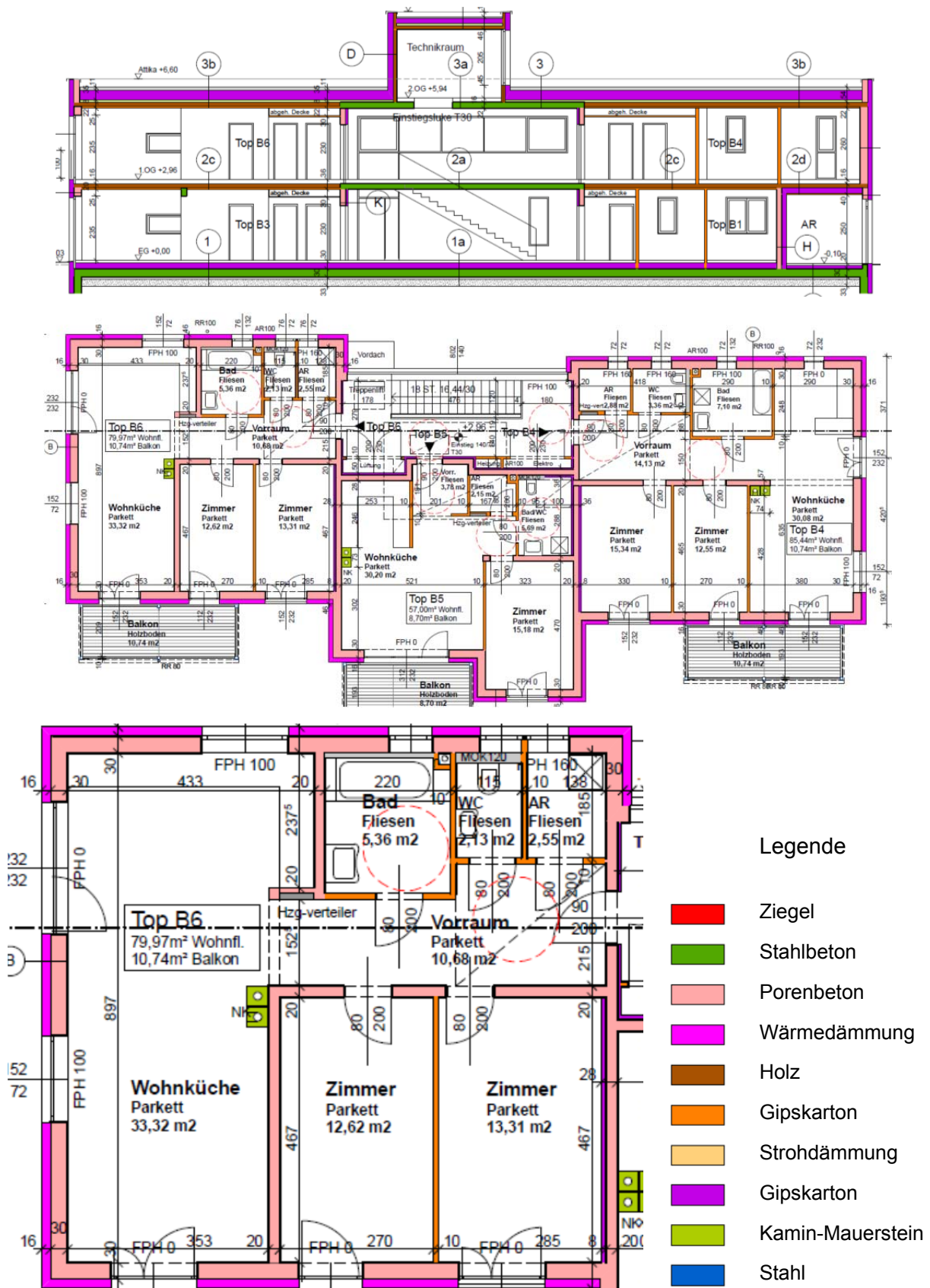


Abbildung 62: Einreichpläne Block B – konventionelle Ziegelbauweise. Längsschnitt, Grundriss 1. OG, gesamt + Top B6, 25.02.2011 (Treberspurg & Partner Arch., 2011)

Porenbeton besteht hauptsächlich aus Sand, Kalk, Zement und Wasser und wird beispielsweise in Loosdorf in Niederösterreich gefertigt. Bei der Produktion des Baustoffs entsteht durch einen Porenbildner aus 1 m³ Rohstoff etwa die 5-fache Menge Porenbeton Verbundsteine.

Block B wurde in Porenbeton-Systembauweise geplant und durch den Einsatz von Porenbeton konnte die wärmedämmende EPS Schicht im Block B deutlich dünner ausgeführt werden als im Block A. Die Außenwand wurde bei der Porenbetonbauweise mit einer Dicke von 30 cm hergestellt und einer EPS-F Dämmung von 16 cm. Zum Vergleich: bei der konventionellen Bauweise im Block B wurde eine EPS-F Dämmung von 26 cm veranschlagt.

Auch für die tragenden Innenwände wurde Porenbeton anstatt Stahlbeton vorgesehen.

Im Zuge der Ökobilanzierung wurde für Block B eine Variante untersucht (B2), die eine Porenbeton-Mineralschaumdämmung anstatt der EPS-Dämmung vorsieht. Beim Baustoff Porenbeton wird prinzipiell zwischen Porenbeton als konstruktives Bauteil (Wandelemente, Verbundsteine u.Ä.) mit einem Feststoffanteil von ca. 20 % und Porenbeton als Dämmstoff – auch als Mineralschaumplatte bezeichnet - mit einem Feststoffanteil von nur 4 % unterschieden. Die Wärmeleitfähigkeit von Porenbeton-Mineralschaumplatten (Produkt Multopor, Fa. Xella) liegt bei 0,045 W/(mK) und damit deutlich ungünstiger als für EPS. Die Dämmstärken wurden daher entsprechend angepasst, um jeweils unveränderte Wärmedurchlassgrade für Außenwände und Außendecken zu erhalten. Dies ergab eine Dämmstärke der Multopor-Dämmplatten von 18 cm für die Außenwand und 49 cm für die oberste Geschoßdecke.

6.4.3 Block C (Variante C1): Strohbauweise mit Stahlbetondecken



Abbildung 63: Einreichpläne Block C – Stroh-Holzbauweise. Längsschnitt, Grundriss 1. OG, gesamt + Top C6, 25.02. und 29.03.2011 (Treberspurg & Partner Arch., 2011)

Bei Block C wird die Außenwand mit einer Holzkonstruktion mit Strohdämmung (d = 40 cm) ausgeführt. Die (Zwischen-)decken werden größtenteils in Stahlbeton-Massivbauweise hergestellt und das Dach wird mit EPS gedämmt. Die Wohnungstrennwände werden im Block C mit Stahlbeton und Gipskartonwänden erbaut.

Im Zuge der Überarbeitung der Planung zur Reduktion der Kosten wurden zwei Alternativen für Stroh-Holz-Bauweise entwickelt und Angebote eingeholt:

Alternative 1 (Variante C2):

Die tragende Stahlkonstruktion der Außenwände wird durch eine Holzkonstruktion ersetzt. Anstatt der Stahlbetondecken über EG und OG werden Holzmassivdecken vorgesehen, wobei aus Brandschutzgründen eine abgehängte Gipskartondecke notwendig ist. Bei der Außendecke wird der Gefällebeton durch EPS-Gefälledämmung ersetzt.

Außenwandkonstruktion großteils ohne Installationsebene. Trennwand Wohnungseinlagerungsraum großteils auch in Holzbauweise anstatt Ziegelmauerwerk mit EPS-WDVS.

Alternative 2 (Variante C3):

Wie Alternative 1 jedoch mit Tramdecken anstatt Massivholzdecken und 16 cm wohnunginterne Ziegelwände anstatt Riegelwände und Verkleidungen. Bei den Außenwänden wird für die äußerste Dämmebene und als Putzträger für Silikat-Dünnputz eine 6 cm Holzweichfaserplatte vorgesehen anstatt der Kombination von 4 cm Holzweichfaserplatte mit 1,5 cm MDF-Platte (DWD-Platte = diffusionsoffene Wand- und Dachplatte).

Tabelle 15: Varianten für die Außenwandkonstruktion von Block C

Block C (Variante C1)	Alternativen: Variante C2 und C3
0,50 cm Silikat-Dünnputz 4,00 cm Holzweichfaserplatte 1,50 cm DWD-Platte 40,00 cm Strohdämmung zw. Holzstehern 1,50 cm OSB-Platte; Fugen verklebt 5,00 cm Mineralwolle/Lattung 3,00 cm GKF-Platten, 2-lagig	0,50 cm Silikat-Dünnputz 6,00 cm Holzweichfaserplatte 40,00 cm Strohdämmung zw. Holzstehern 1,50 cm OSB-Platte; Fugen verklebt 2,00 cm Mineralwolle/Lattung oder 3 cm Mineralwolle/Lattung 3,00 cm GKF-Platten, 2-lagig oder 1lagig Gipsfaserplatte F 60
55,50 cm gesamt	53,00 cm gesamt 51,00 cm für Teilbereichen wo Installationsebene (2cm Mineralwolle/Lattung) eingespart wurde

Tabelle 16: Varianten für die Konstruktion der Zwischendecke von Block C

Block C (Variante C1)	Alternative: Variante C3 Holztramdecke
1,00 cm Laminat/Fliesen 6,00 cm Zementestrich PE-Folie 3,00 cm Trittschalldämmung EPS-T 8,00 cm gebundene Schüttung 20,00 cm STB-Massivdecke	1,00 cm Laminat/Fliesen 6,00 cm Zementestrich PE-Folie 3,00 cm Trittschalldämmung EPS-T 7,00 cm gebundene Splittschüttung, Rieselschutz 2,20 cm OSB (Span)-Platte 24,00 cm Holztram, dazw. 10 cm Mineralwolle 2,40 cm raue Schalung 3,00 cm Schwingbügelabhängung, Mineralwolle 1,50 cm Gipsfaserplatten F60
38,00 cm gesamt	50,10 cm gesamt

Tabelle 17: Varianten für die Konstruktion der obersten Geschoßdecke von Block C

Block C (Variante C1)	Alternative: Variante C3 Holztramdecke
11,00 cm (i.M.) Extensivsubstrat 0,60 cm Elastomerbitumenbahn mit Durchwurzelungsschutz 0,30 cm Elastomerbitumenbahn 35,00 cm EPS W25 Plus 0,40 cm Dampfsperre (Elastomerbitumenbahn mit Alu-Einlage) 8,00 cm (i.M.) Gefällebeton i.M. 20,00 cm STB-Massivdecke	11,00 cm (i.M.) Extensives Gründachsubstrat, Filtervlies 2,00 cm 2-lagige Abdichtung 25,00 cm (i.M.) EPS W25 Plus Gefälledämmung i.M. Dampfsperre mit Alueinlage (1-lagige kalt-selbstklebende Elastomerbitumenbahn) 2,20 cm OSB (Span)-Platte 24,00 cm Holztram, dazw. 10 cm Mineralwolle 2,40 cm raue Schalung 3,00 cm Schwingbügelabhängung, Mineralwolle 1,50 cm Gipsfaserplatten F60
75,30 cm gesamt	60,10 cm gesamt

6.4.4 Vergleich signifikanter Bauteile der verschiedenen Bauweisen

Um die Konstruktion und Ergebnisse der Ökobilanz zu erklären, ist es notwendig, auf die Konstruktion der Blöcke A bis C etwas genauer einzugehen. Signifikante Unterschiede sind vor allem in der Deckenkonstruktion zu erkennen. Während in Block A und C Stahlbetondecken zum Einsatz kommen, wird in Block B auf die tragenden Porenbetonwände eine Holzmassivdecke gelegt.

Die Zwischenwände werden in Block A sowie in Block C mit Stahlbeton ausgeführt. In Block B kommt, wie auch in der tragenden Außenwandkonstruktion bei den Wohnungszwischenwänden, Porenbeton zum Einsatz.

In der nachfolgenden Tabelle wird ein Überblick über signifikante Bauteile der verschiedenen Bauweisen gegeben. Aus den Angaben der Energieausweise (Treberspurg & Partner Architekten ZT GmbH, 2011) Es wurden maßgebende Bauteile herausgegriffen, die in den jeweiligen Bauweisen die größten Flächen bedecken und Unterschiede aufweisen.

Tabelle 18: Vergleich signifikanter Wandbauteile

Block A – Massivbauweise			
Außenwand Ziegel	d (m)	Zwischenwand „J“	d (m)
Silikat Dünnputz	0,002	Gipskarton	0,0125
Unterputz	0,003	Mineralwolle	0,07
EPS – F	0,26	Stahlbeton	0,2
Hochlochziegel	0,25	Spachtelung	0,005
Innenputz	0,015		
Block B – Porenbeton			
Außenwand Porenbeton	d (m)	Zwischenwand „K“	d (m)
Silikat Dünnputz	0,002	Innenputz	0,01
Unterputz	0,003	Mineralwolle	0,055
EPS – F	0,16	Porenbeton P4	0,2
Porenbeton P2	0,30	Spachtelung	0,005
Innenputz	0,015		
Block C – Holzleichtbau mit Stroh			
Außenwand Stroh	d (m)	Zwischenwand „J“	d (m)
Silikat Dünnputz	0,002	Gipskarton	0,0125
Unterputz	0,003	Mineralwolle	0,07
Weichfaserplatte	0,04	Stahlbeton	0,2
MDF Platte	0,015	Spachtelung	0,005
Strohdämmung Holz	0,4		
OSB Platte	0,015		
Steinwolle	0,05		
2xGP-F Platten	0,03		

Tabelle 19: Vergleich signifikanter Deckenbauteile

Block A – Massivbauweise		Block A – Massivbauweise	
Wohnungswischendecke Stahlbeton	d (m)	Decke über 1.OG Stahlbeton	d (m)
Bodenbelag	0,02	Extensivsubstrat, Gründach	0,11
Zementestrich	0,055	Abdichtung	0,01
PE - Folie	0,0002	EPS W25 plus	0,35
Mineralwolle	0,03	Dampfsperre	0,0022
Gebundene Dämmung	0,055	Gefällebeton i. M.	0,08
Stahlbetonplatte	0,2	Stahlbetonplatte	0,22
Bodenbelag	0,005	Spachtelung	0,005
Block B – Porenbeton			
Wohnungswischendecke Holzmassiv	d (m)	Decke über 1. OG Holzmassivdecke	d (m)
Bodenbelag	0,02	Extensivsubstrat, Gründach	0,11
Zementestrich	0,055	Abdichtung	0,01
PE - Folie	0,0002	EPS W25 plus	0,35
Mineralwolle – Trittschalldämmung	0,03	Dampfsperre	0,0022
Gebundene Dämmung	0,055	Gefällebeton i. M.	0,1
Massivholzdecke verleimt	0,15	Massivholzdecke verleimt	0,15
Luftraum	0,035	Luftraum	0,035
GK-F Platte	0,015	GK-F Platte	0,015
Block C – Holzleichtbau mit Stroh			
Wohnungswischendecke Stahlbeton	d (m)	Decke über 1. OG Stahlbeton	d (m)
Bodenbelag	0,02	Extensivsubstrat, Gründach	0,11
Zementestrich	0,055	Abdichtung	0,01
PE - Folie	0,0002	EPS W25 plus	0,35
Mineralwolle – Trittschalldämmung	0,03	Dampfsperre	0,0022
Gebundene Dämmung	0,055	Gefällebeton i. M.	0,08
Stahlbetonplatte	0,2	Stahlbetonplatte	0,22
Bodenbelag	0,005	Spachtelung	0,005

6.5 Detailplanung Strohbauteile

6.5.1 Detailplanung Lasse-Schönfeld – eingeschobige Winkelhäuser

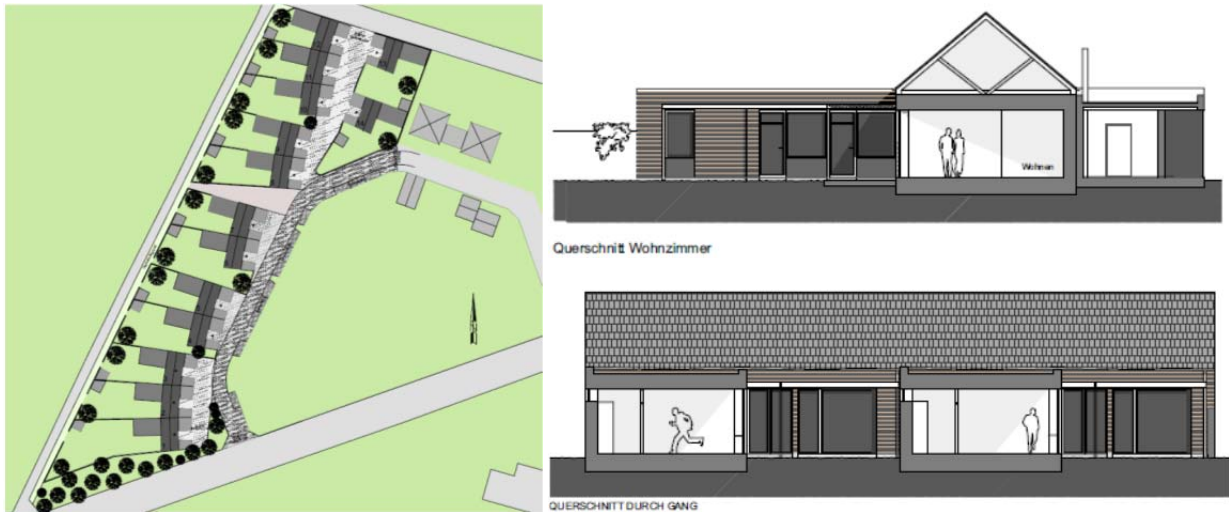


Abbildung 64: Wohnhausanlage Lasse-Schönfeld. Lageplan und Schnitte. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2008)



Abbildung 65: Wohnhausanlage Lasse-Schönfeld. Ansicht Garten. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2008)



Abbildung 66: Wohnhausanlage Lasse-Schönfeld. Ansicht Straße. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2008)

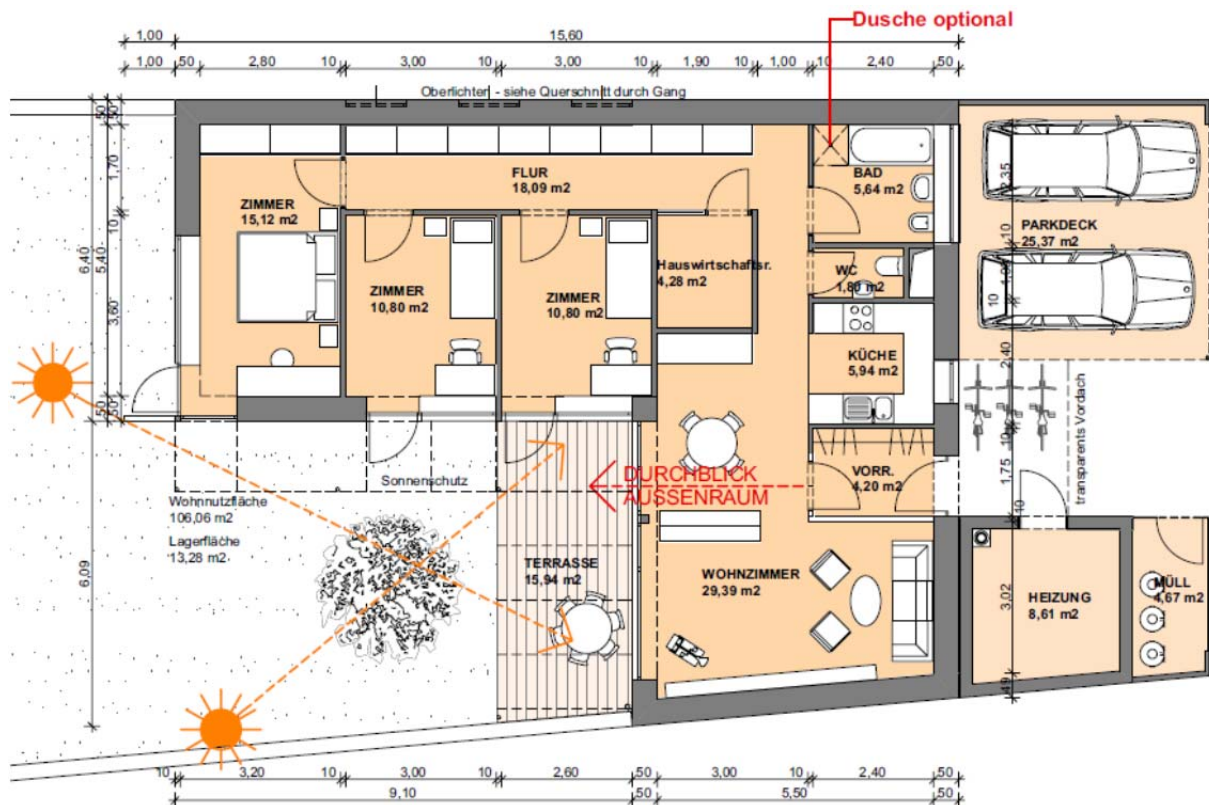


Abbildung 67: Wohnhausanlage Lasse-Schönfeld. Grundriss Standard. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2008)

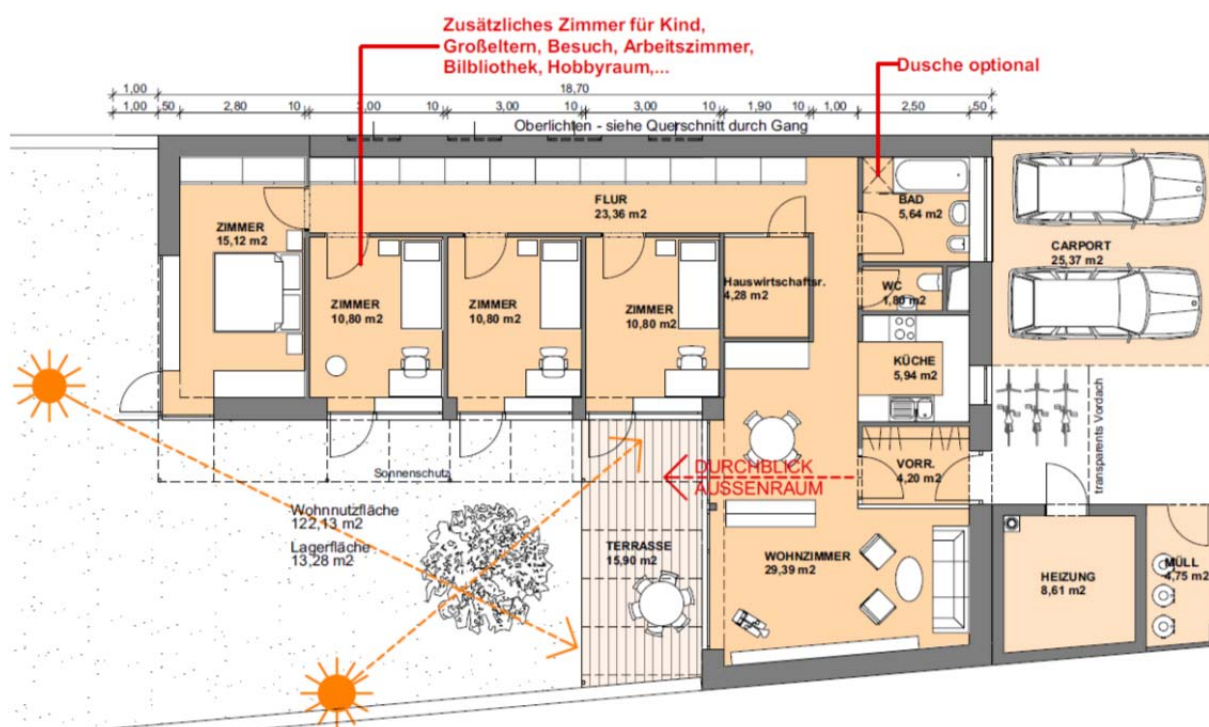


Abbildung 68: Wohnhausanlage Lasse-Schönfeld. Grundriss Erweiterung. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2008)

Für den Standort Lasee-Schönfeld wurden 14 eingeschößige Winkelhäuser mit einer Nutzfläche von jeweils etwa 106 m² und großzügigen Gartenbereichen vorgesehen. Die Konstruktion war mit vorgefertigten Stroh-Holzbauteilen geplant, die im folgenden durch Detailpläne und Aufbautenlisten dargestellt werden.

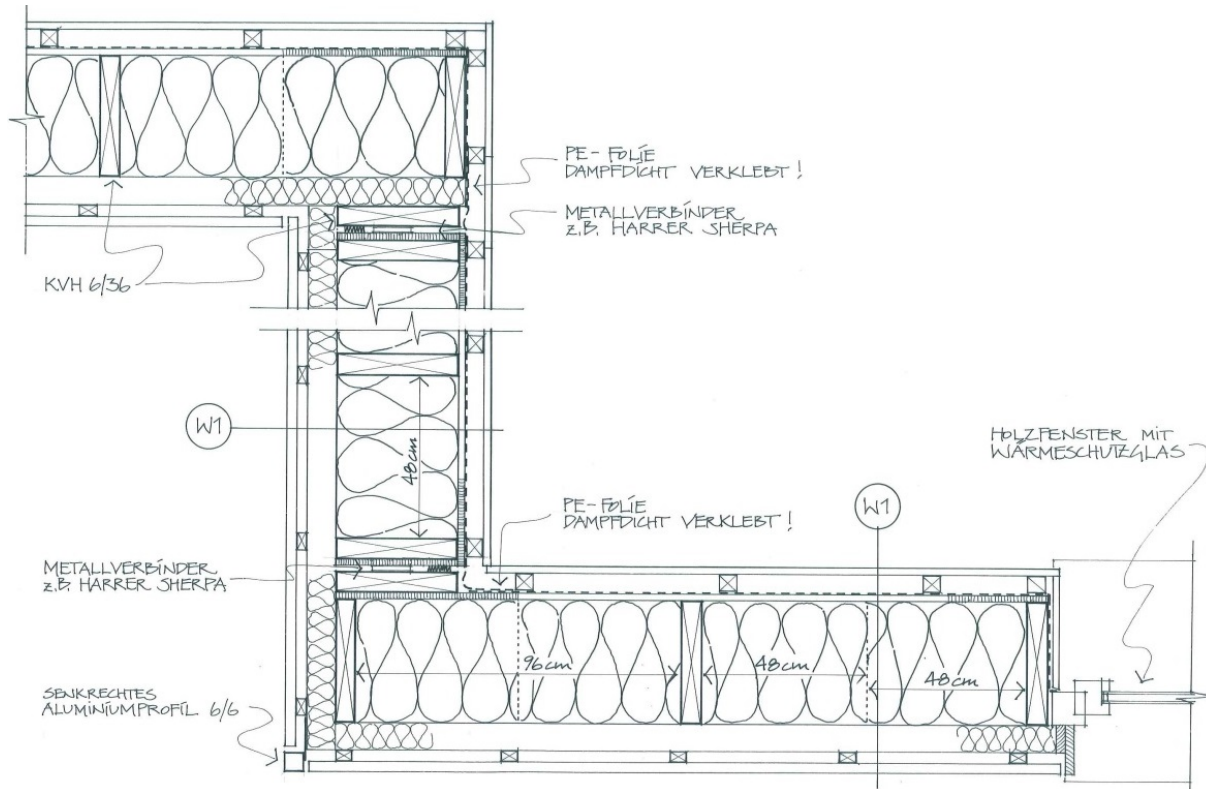


Abbildung 69: Wohnhausanlage Lasee-Schönfeld. Horizontalschnitt Wanddetails. Hinterlüftete Fassade mit horizontalen Holzleisten. Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH

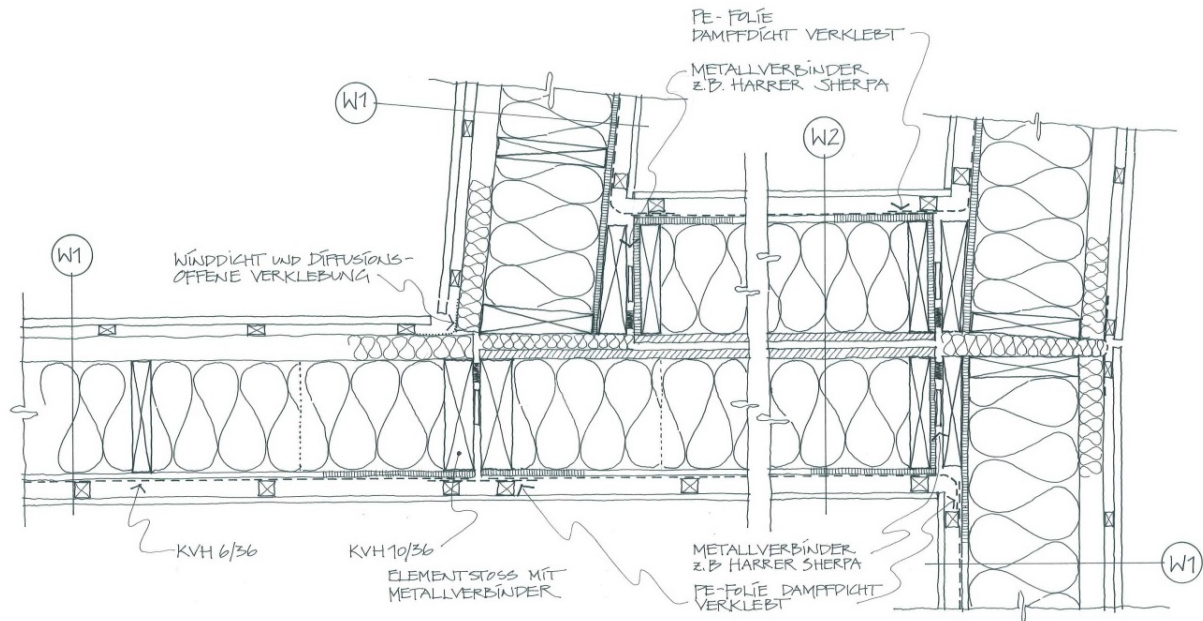


Abbildung 70: Wohnhausanlage Lasee-Schönfeld. Horizontalschnitt Wanddetails mit Elementstößen. Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH

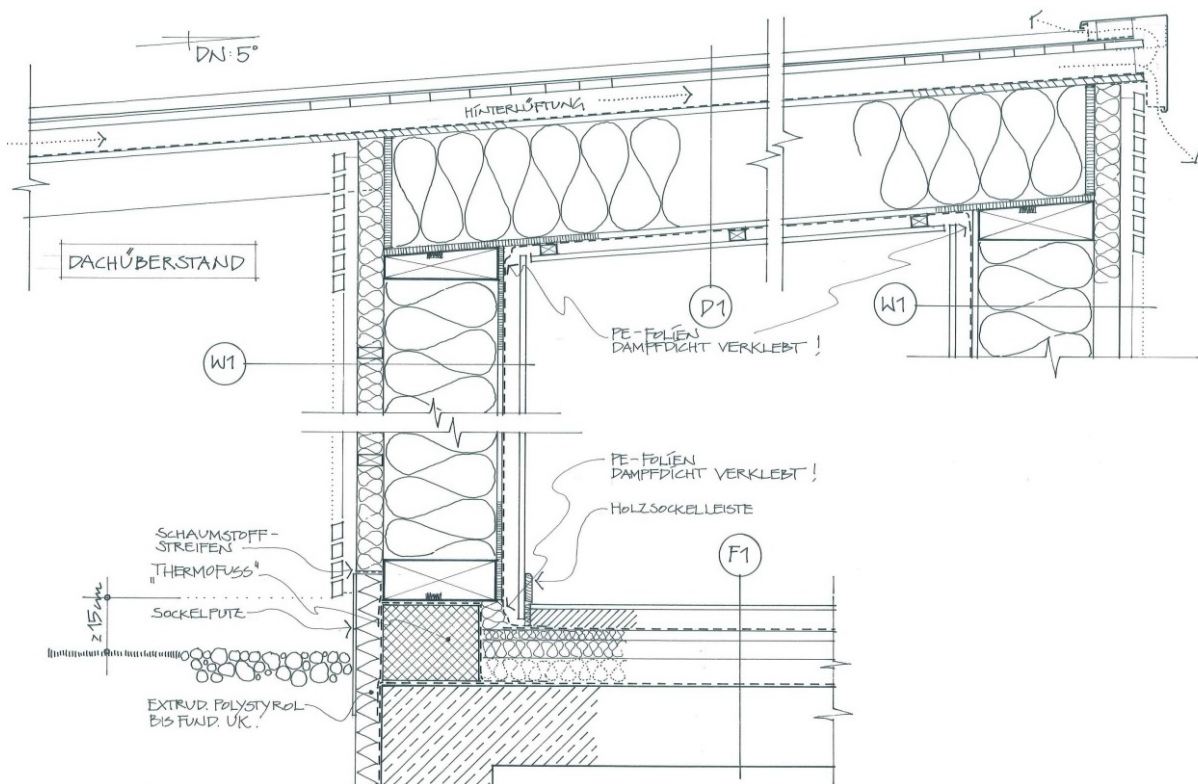


Abbildung 71: Wohnhausanlage Lasee-Schönfeld. Vertikalschnitt Wand- und Dachdetails. Anschluss Bodenplatte mit Thermofuß. Anschluss Flachdach hinterlüftet, verblebt mit Dachüberstand. Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH

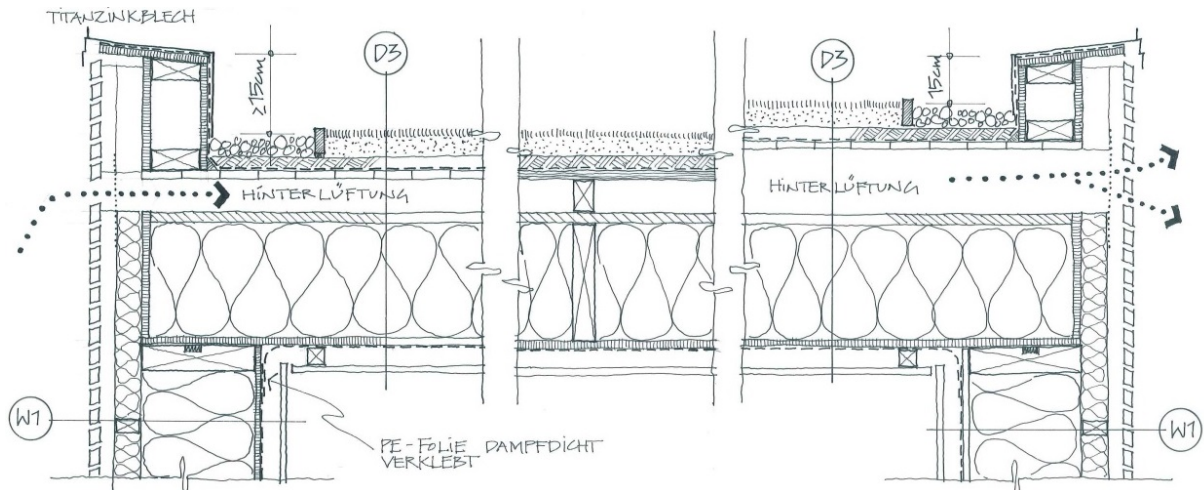


Abbildung 72: Wohnhausanlage Lasse-Schönfeld. Vertikalschnitt Wand- und Dachdetails. Anschluss Flachdach hinterlüftet, extensiv begrünt und ohne Dachüberstand. Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH

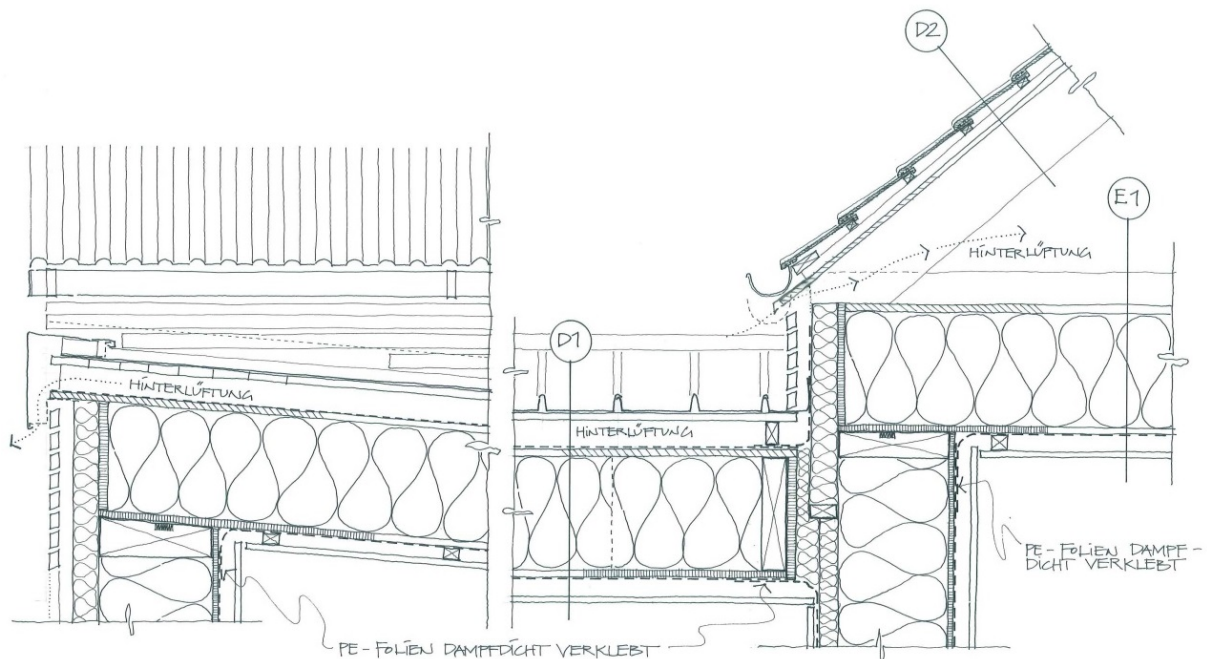


Abbildung 73: Wohnhausanlage Lasse-Schönfeld. Vertikalschnitt Wand- und Dachdetails. Anschluss Flachdach und Steildach hinterlüftet und ohne Dachüberstand. Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH

Aufbautenliste WHA Schönfeld Stand 16.12.2008

Außenwand W1 (von außen nach innen)

2,7 cm	Horizontale Rautenschalung mit offenen Fugen, ca. 27/70 mm, thermisch behandeltes Fichtenholz, Dauerhaftigkeitsklasse 2 (z.B. STORA ENSO Thermo-D)
2,7 cm	senkrechte Lattung für die Hinterlüftung, 27/50 mm, thermisch behandeltes Fichtenholz, Dauerhaftigkeitsklasse 2 (z.B. STORA ENSO Thermo-D)
Alternativ: Schalung + Lattung aus Lärchenholz	
1,6 cm	Diffusionsoffene, mitteldichte Holzfaserplatte, N+F (z.B. GLUNZ AGEPAN Protect N+F)
36,0 cm	Strohdämmung, zwischen KVH 6/36 cm
1,8 cm	OSB N+F Platte (Stöße, Anschlüsse und Ichnen dampfdicht verkleben!)
5,0 cm	Installationsebene
1,5 cm	Gipskartonbauplatte
Summe (inkl. Toleranz): 51,5 cm	

Außenwand im Sockelbereich W1a (von außen nach innen)

2,7 cm	Horizontale Rautenschalung mit offenen Fugen, ca. 27/70 mm, thermisch behandeltes Fichtenholz, Dauerhaftigkeitsklasse 2 (z.B. STORA ENSO Thermo-D)
2,7 cm	senkrechte Lattung für die Hinterlüftung, 27/50 mm, thermisch behandeltes Fichtenholz, Dauerhaftigkeitsklasse 2 (z.B. STORA ENSO Thermo-D)
Alternativ: Schalung + Lattung aus Lärchenholz	
1,6 cm	zementgebundene Holzfaserplatte (z.B. ETERNIT Duripanel)
36,0 cm	Strohdämmung, zwischen KVH 6/36 cm
1,8 cm	OSB N+F Platte
0,03 cm	PE - Folie, sd-Wert: 100 m (Stöße, Anschlüsse und Ichnen mind. 10 cm überlappend verlegen und dampfdicht verkleben!)
5,0 cm	Installationsebene
1,5 cm	Gipskartonbauplatte
Summe (inkl. Toleranz): 51,5 cm	

Gebäudetrennwand W2

1,5 cm	Gipskartonbauplatte
5,0 cm	Installationsebene
1,8 cm	OSB N+F Platte (Stöße, Anschlüsse und Ichnen dampfdicht verkleben!)
36,0 cm	Strohdämmung, zwischen KVH 6/36 cm
1,6 cm	Diffusionsoffene, mitteldichte Holzfaserplatte (z.B. GLUNZ AGEPAN Protect N+F)
2,0 cm	Stehende Luftschicht
1,6 cm	Diffusionsoffene, mitteldichte Holzfaserplatte (z.B. GLUNZ AGEPAN Protect N+F)
36,0 cm	Strohdämmung, zwischen KVH 6/36 cm
1,8 cm	OSB N+F Platte (Stöße, Anschlüsse und Ichnen dampfdicht verkleben!)
5,0 cm	Installationsebene
1,5 cm	Gipskartonbauplatte
Summe (inkl. Toleranz): 94 cm	

Dachaufbau D1 (von oben nach unten)

5,0 cm	GBS-Dach aus Aluminium beschichtet (z.B. DOMICO)
2,4 cm	Holzschalung sägerauh
8,0 cm	Hinterlüftung (Holzlattung 5/8 cm)
0,02 cm	winddichte, diffusionsoffene Unterspanbahn aus Polyäthylen mit Acrylbeschichtung oder PP-Microfaser Vlies, sd = 0,05 m
3,2 cm	Diffusionsoffene, mitteldichte Holzfaserplatte als Unterdeckplatte (z.B. GLUNZ AGEPAN UDP 32)
36,0 cm	Strohdämmung zwischen KVH-Trägern 6/36 cm
1,8 cm	OSB N+F Platte (Stöße, Anschlüsse und Ichnen dampfdicht verkleben!)
5,0 cm	Installationsebene
1,5 cm	Gipskartonbauplatte
Summe (inkl. Toleranz): 63 cm	

Dachaufbau D2 (von oben nach unten)

- 5,0 cm Betondachstein, Farbe hellgrau (z.B. BRAMAC Alpendachstein)
- 3,0 cm Lattung 30/50
- 3,0 cm Konterlattung 30/50
- 3,2 cm Diffusionsoffene, mitteldichte Holzfaserplatte als Unterdeckplatte (z.B. GLUNZ AGEPAN UDP 32)
- genagelte Brettbinder aus Fichtenholz, bzw. Sparrendach

Dachaufbau D3 - Alternative Flachdach - (von oben nach unten)

- 7,0 cm Extensivsubstrat
- 3,0 cm Drainageschicht aus Blähschiefer
- Alternativ: Kiesschüttung
- 0,05 cm Dachabdichtung, flexible Polyolefine, verschweißt, 2-lagig verlegt, wurzelfest, kälteflexibel - im Gefälle mit ca. 1 Grad
- 2,4 cm Holzschalung
- 10 cm Hinterlüftung (Holzlattung 6/10 bzw. 20 cm) - im Gefälle mit ca. 1 Grad
- 0,02 cm winddichte, diffusionsoffene Unterspanbahn aus Polyäthylen mit Acrylbeschichtung oder PP-Microfaser Vlies, sd = 0,05 m
- 3,2 cm Diffusionsoffene, mitteldichte Holzfaserplatte als Unterdeckplatte (z.B. GLUNZ AGEPAN UDP 32)
- 36,0 cm Strohdämmung zwischen KVH-Trägern 6/36 cm
- 1,8 cm OSB N+F Platte (Stöße, Anschlüsse und Ichnen dampfdicht verkleben!)
- 5,0 cm Installationsebene
- 1,5 cm Gipskartonbauplatte
- Summe (inkl. Toleranz): 70 cm

Deckenaufbau E1 (von oben nach unten)

- 0,02 cm winddichte, diffusionsoffene Unterspanbahn aus Polyäthylen mit Acrylbeschichtung oder PP-Microfaser Vlies, sd = 0,05 m
- 3,2 cm Diffusionsoffene, mitteldichte Holzfaserplatte als Unterdeckplatte, begehrbar (z.B. GLUNZ AGEPAN UDP 32)
- 36,0 cm Strohdämmung zwischen KVH-Trägern 6/36 cm
- 1,8 cm OSB N+F Platte (Stöße, Anschlüsse und Ichnen dampfdicht verkleben!)
- 5,0 cm Installationsebene
- 1,5 cm Gipskartonbauplatte
- Summe (inkl. Toleranz): 47,5 cm

F1 Fussbodenaufbau (von oben nach unten)

- 1,5 cm Bodenbelag
- 5,0 cm Zementestrich
- 0,03 cm PE - Folie, sd-Wert: 100 m (Stöße, Anschlüsse und Ichnen mind. 10 cm überlappend verlegen und dampfdicht verkleben!)
- 3,0 cm Trittschalldämmung EPS-T 34/30 Plus
- 6,0 cm EPS W-20 Plus
- 8,0 cm zementgebundenes Polystyrol
- 1,0 cm Horizontalabdichtung
- 25,0 cm Fundamentplatte Stahlbeton
- Sauberkeitsschicht
- Folie
- Rollierung
- Teilsumme (inkl. Toleranz): 25 cm

6.5.2 Bautechnische Konzepte – Weiterentwicklung in Abstimmung mit Holzbauunternehmen

Die grundlegende Änderung der Planungsaufgabe auf nunmehr zweigeschoßige Wohngebäude bewirkte ebenfalls eine grundlegende Änderung der Strohaudetails. In Abstimmung mit ausführenden Holzbauunternehmen wurden die bautechnischen Konzepte von Arch. Manuel Schweizer weiterentwickelt.

Die tragenden Holzsteher werden in einem Abstand, die die Strohballenbreite vorgibt auf einer OSB-Platte gefestigt. Nach dem Anbringen der Strohballen wird das vorgefertigte Element mit einer wasserdampfdurchlässigen MDF-Platte verschlossen. Beachte: Bei Füllungen aus Zellulose oder Mineralwolle ist das Achsmaß der Steher optimal auf die Plattengröße 62,5 cm ausgerichtet. Bei einer Strohballenbreite 40 cm ergibt sich ein Achsmaß der Steher untereinander von 53 cm. Werden statt der Holzträger TJI-Träger verwendet so sind solche zu bevorzugen, die werkseitig mit einer Weichfaserfüllung ausgestattet sind. Dies zeigen die folgenden Abbildungen.

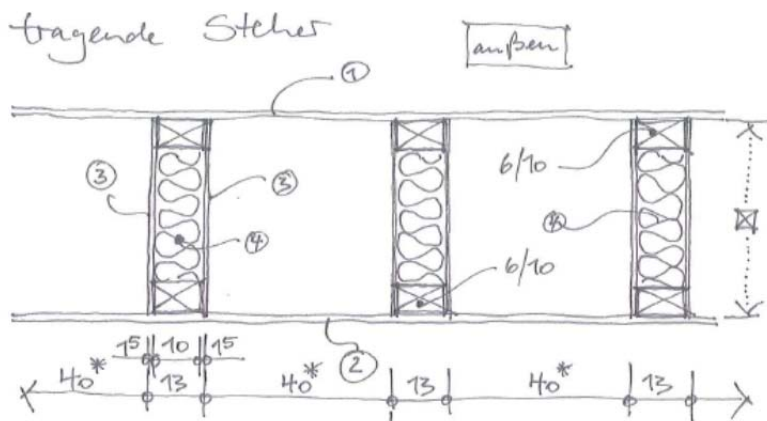


Abbildung 74: Tragende Holz-Stroh-Riegelwand mit Vollholzstehern. Horizontalschnitt.
Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH

Legende:

- (1) Dampfdurchlässige MDF-Platte (Diffusionsoffene Wand- und Dachplatte, DWD-Platte)
- (2) OSB-Platte, Stöße verklebt
- (3) MDF- oder OSB-Platte
- (4) Flachs- oder Holzfaserdämmung. Alternativ: Stroh lose eingebracht (ist jedoch schwer zu verdichten)
- * Der Abstand zwischen den Stehern richtet sich nach der Strohballenbreite
- (x) Der Abstand zwischen den Platten (bzw. die Höhe der Steher) richtet sich nach der Strohballentiefe

Anmerkung zur Strohdämmung:

Die Strohdämmung gibt den Modulraster vor. Aufgrund der vorgegebenen Strohballenbreite von 40 cm ergibt sich ein Achsmaß von 53 cm. Bei Dämmung z.B. mit Zellulose kann für Achsmaß der Steher der für den Holzbau optimale Wert von 62,5 cm ($1,25 \text{ m} / 2$) gewählt werden.

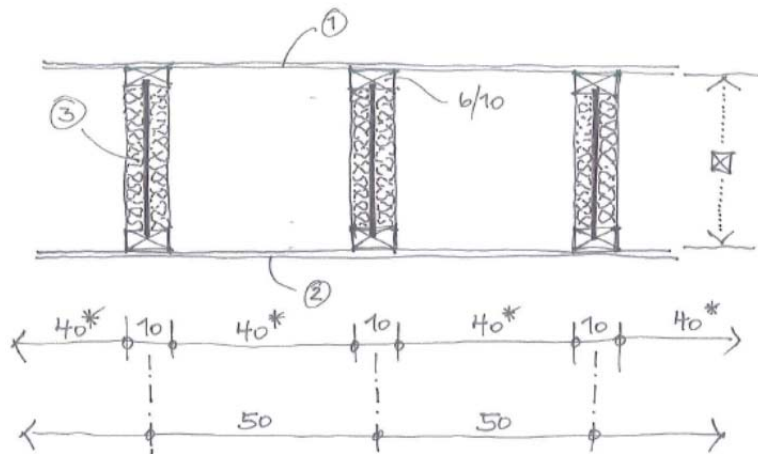


Abbildung 75: Tragende Holz-Stroh- Riegelwand mit überdämmten TJI-Stehern (Doppelstegträger). Horizontalschnitt. Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH

Legende:

- (1) Dampfdurchlässige MDF-Platte (DWD-Platte)
- (2) OSB-Platte, Stöße verklebt
- (3) TJI-Träger (Doppelstegträger) mit Stegüberdämmung aus Holzweichfaserplatten z.B. Firma Steico

Anmerkung zu TJI-Träger (Doppelstegträger) der Firma Steico:

- Steg aus Hartfaserplatten
- Gurte: keilgezinktes Nadelholz oder Funierschichtholz für höchste Festigkeiten
- Passivhaus-Zertifikat des Passivhausinstituts Darmstadt
- Gurtbreiten: 45, 60 oder 90 mm
- Gurthöhe: 39 mm
- Trägerhöhen: 160, 200, 220, 240, 280, 300, 360, 400, 450 oder 500 mm
- Standardlängen: 7, 9 oder 13 m; Maximallänge: 16 m

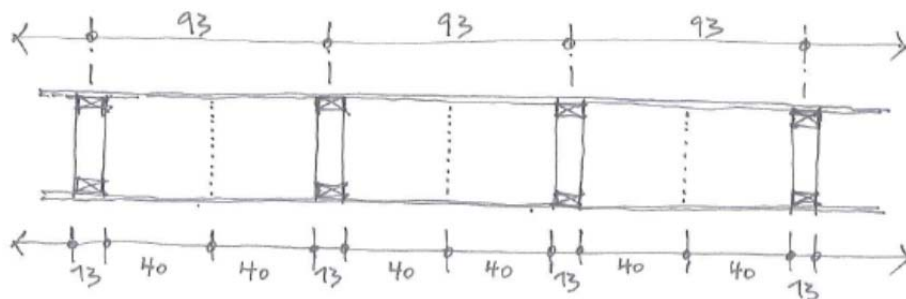


Abbildung 76: Tragende Holz-Stroh-Riegelwand mit höherem Achsmaß. Horizontalschnitt. Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH

Die Anordnung von zwei Strohballen zwischen den Holzstehern ist jedoch nur bei einer nicht-tragenden Außenwandkonstruktion möglich, z.B. wenn eine separate Stahlkonstruktion die tragende Wirkung übernimmt. Weiters ist die nötige Stärke der OSB- und MDF-Platten zu beachten.

Es bestehen jedoch auch alternative Strohballenabmessungen am Österreichischen Markt. Für die Firma Kreativer Holzbau GmbH, wird von der Fa. Waldland Naturstoffe GmbH speziell ein Strohballen mit der Breite 75 cm produziert. Somit ergibt sich ein konstruktives Achsmaß bei den Holzstehern von 80 cm.

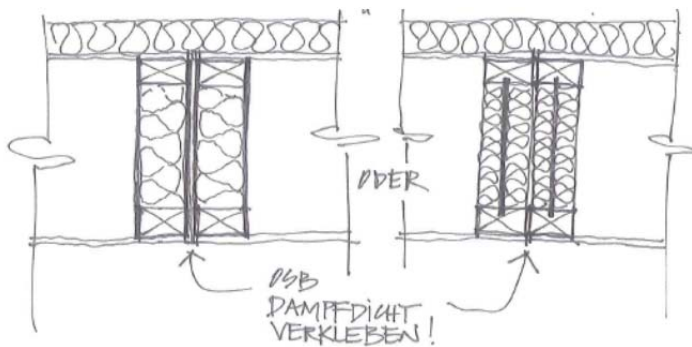


Abbildung 77: Tragende Holz-Stroh-Riegelwand. Detail Anschluss Elementstoß. Horizontalschnitt. Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH

Die einzelnen vorgefertigten Wandelemente können mit stumpfem Stoß aneinander gereiht werden. Zu beachten ist die dampfdichte Verklebung der Fugen der OSB-Platten auf der Innenseite, sowie die äußere Überdämmung um Anschlussprobleme zu vermeiden.

Bei Gebäudeecken gilt es aus Kostengründen Sondermodule, also eigene Eckmodule, möglichst zu vermeiden.

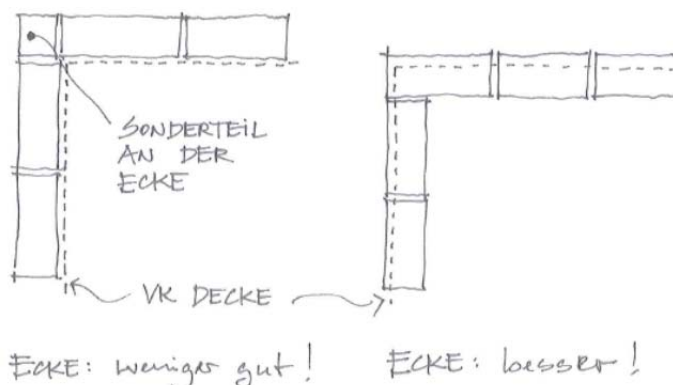


Abbildung 78: Tragende Holz-Stroh-Riegelwand. Detail Anschluss Gebäudeecke. Horizontalschnitt. Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH

Ein weiterer Ansatzpunkt für die Entwicklung von kostengünstigen Strohgebäuden wurde durch Interviews mit Fertighausherstellern gesucht. Es stellte sich heraus, dass die meisten Produktionsanlagen für die Vorfertigung nicht für die großen Dämmstärken der Strohballen geeignet sind. Die Anfrage bei einem Fertighaushersteller ergab, dass maximal 36 cm starke Riegelkonstruktionen verarbeitet werden können. Die vorgesehenen Strohballen mit bautechnischer Zulassung (Fa. Waldland Naturstoffe) haben die Abmessungen 40 cm Breite, 40 cm Höhe und 30 bis 80 cm Länge. Bei einer einheitlichen Länge von 36 cm könnten die Strohballen also beim angefragten Fertighaushersteller eingebaut werden. Dies bedingt jedoch auch einheitliche Abmessungen zwischen den Stehern und in der Höhe um möglichst ganze Ballen einzusetzen und Verschnitt zu vermeiden. Die vorgefertigten Bauteile würden auch eine ausgedämmte Installationsebene mit Elektroleerverrohrung erhalten. Dies bringt den Vorteil der Kosteneinsparung gegenüber der Anfertigung der Installationsebene auf der Baustelle, jedoch bedingt dies eine frühzeitige 100 %ige Festlegung der Elektroinstallationen durch die Planung. Aufgrund dieser planerischen und ausführungstechnischen Einschränkungen wurde ein Strohbaukonzept mit Fertighausherstellern hier nicht weiter betrachtet.

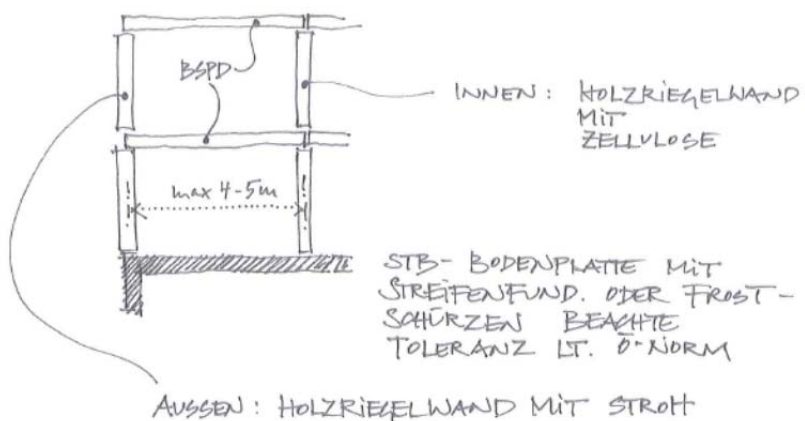


Abbildung 79: Tragende Holz-Stroh-Konstruktion. Holzbaukonzept mit Brettsperrholz-Plattendecke. Vertikalschnitt. Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH

Die Vorteile der Holzbauweise hinsichtlich kurzer Bauzeiten können bestmöglich ausgenutzt werden, wenn Mischkonstruktionen vermieden werden. Eine reine Holzkonstruktion bringt auch Vorteile hinsichtlich einfacheren Details, klarerem Ausführungsablauf und in Summe damit geringeren Kosten.

In weiterer Folge wurde ein Konzept für die Maximierung des Holzbauanteils entwickelt, das sich zusammensetzt aus Holzriegelwänden innen und außen sowie aus Brettstapeldecken bzw. Brettsperrholz-Plattendecken als Zwischendecke und Flachdachkonstruktion. Die Unterseite dieser Decken kann in „Sichtqualität“ ausgeführt werden und die Elektroleitungen können oberseitig eingefräst werden. Im Zuge der Kostenoptimierung wurde dieses Konzept leicht abgewandelt als Holzmassivdecke und alternativ als Tramdecke weiterentwickelt. Aus Brandschutzgründen wurde jedoch keine Sichtholzdecke angeboten sondern eine Konstruktion mit abgehängter Gipskartondecke.

6.5.3 Detailplanung Lasse-Amselgasse, Block C



Abbildung 80: Wohnhausanlage Lasse-Amselgasse. Ansicht Süd. Loggien und Modul-raster Holz-Strohelemente. Planstand 05.07.2011. Treberspurg & Partner Architek-ten ZT GesmbH

Rastermaße: 80 cm Standardmodul, 120 cm Sondermodul Türe, 43 cm Gebäudekante, 11 cm Stahlkonstruktion

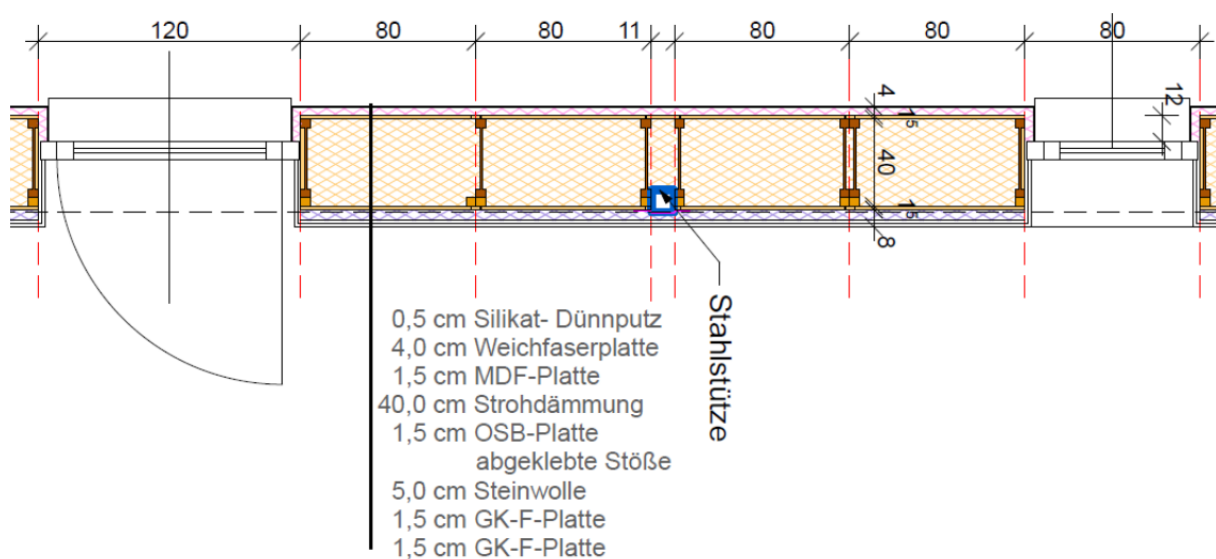


Abbildung 81: Wohnhausanlage Lasse-Amselgasse. Horizontalschnitt Wanddetails. Stahlkonstruktion, TJI-Träger, Wärmedämmverbundsystem. Entnommen aus Waag-schnitt 05.07.2011. Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH

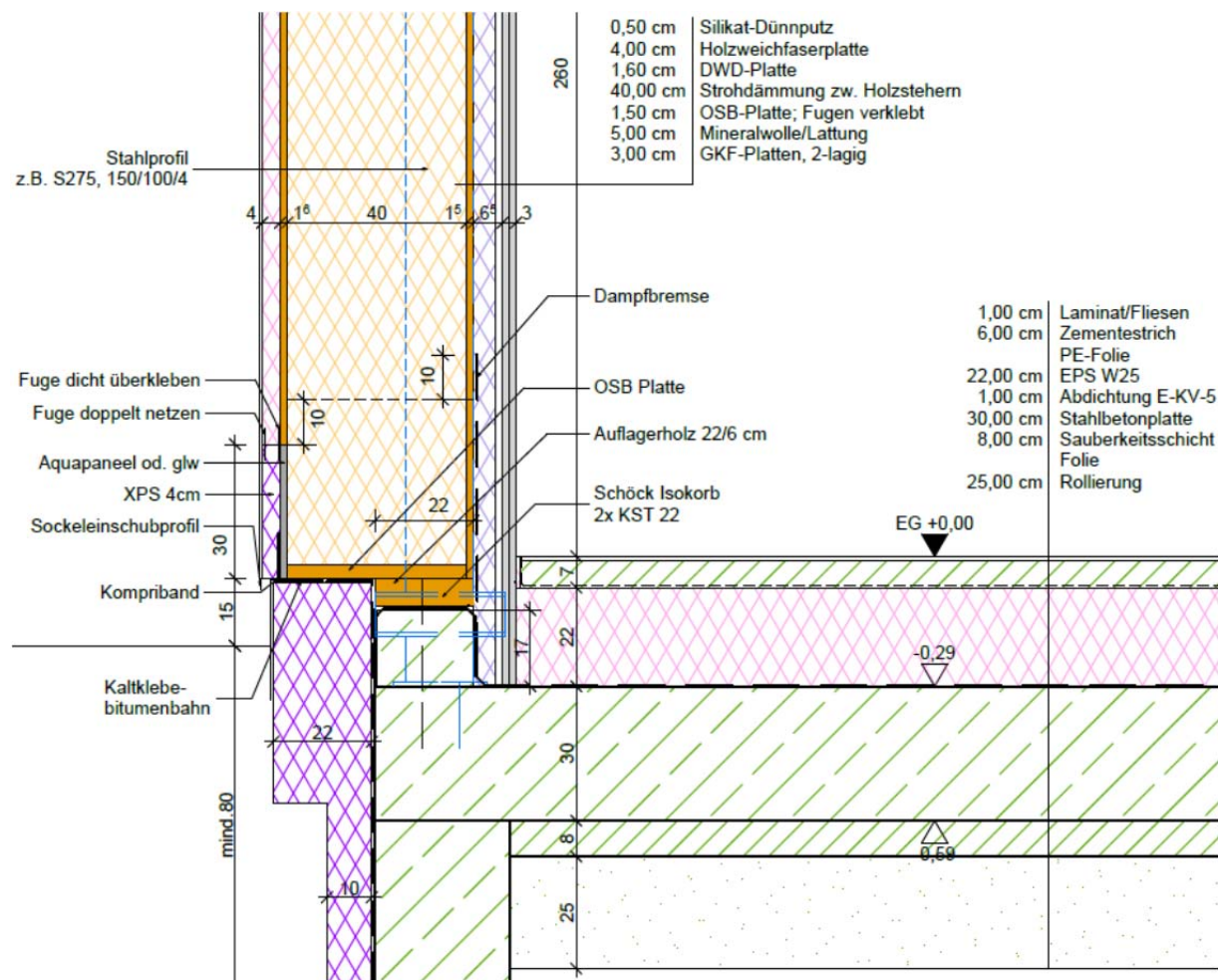


Abbildung 82: Wohnhausanlage Lasse-Amselgasse. Vertikalschnitt Anschluss Bodenplatte. Entnommen aus Polierplan 20.02.2012. Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH

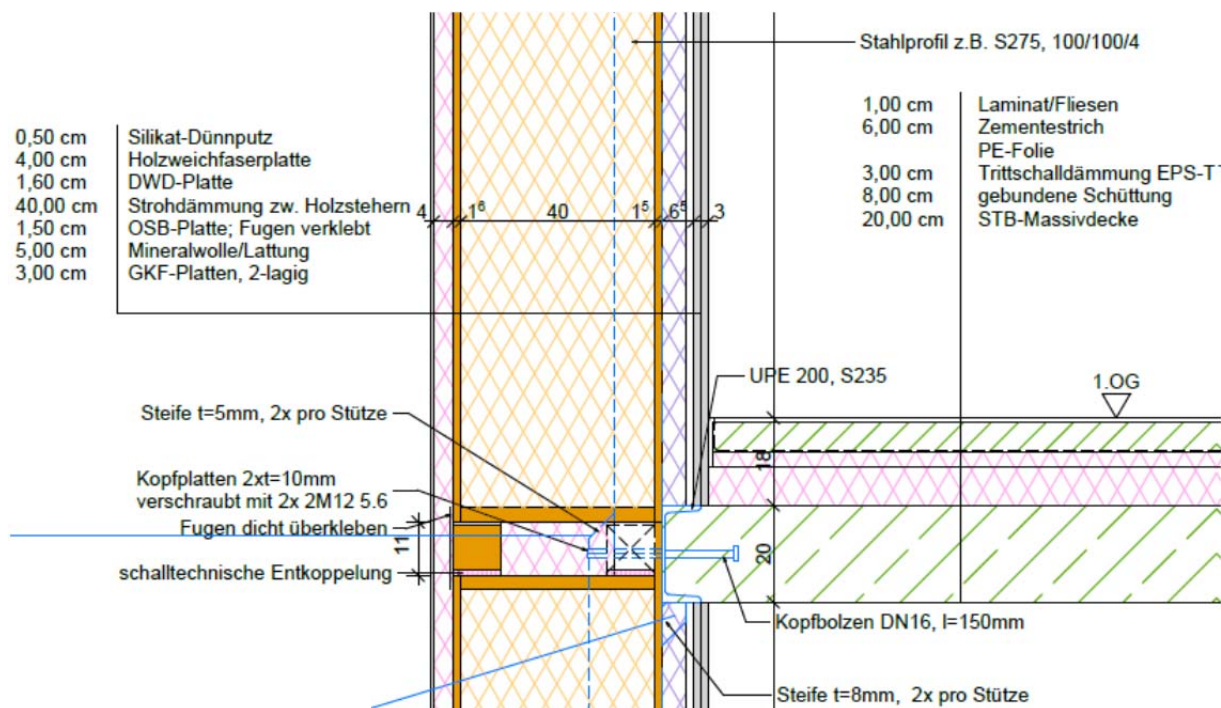


Abbildung 83: Wohnhausanlage Lasse-Amselgasse. Vertikalschnitt Anschluss Zwischendecke. Entnommen aus Polierplan 20.02.2012. Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH

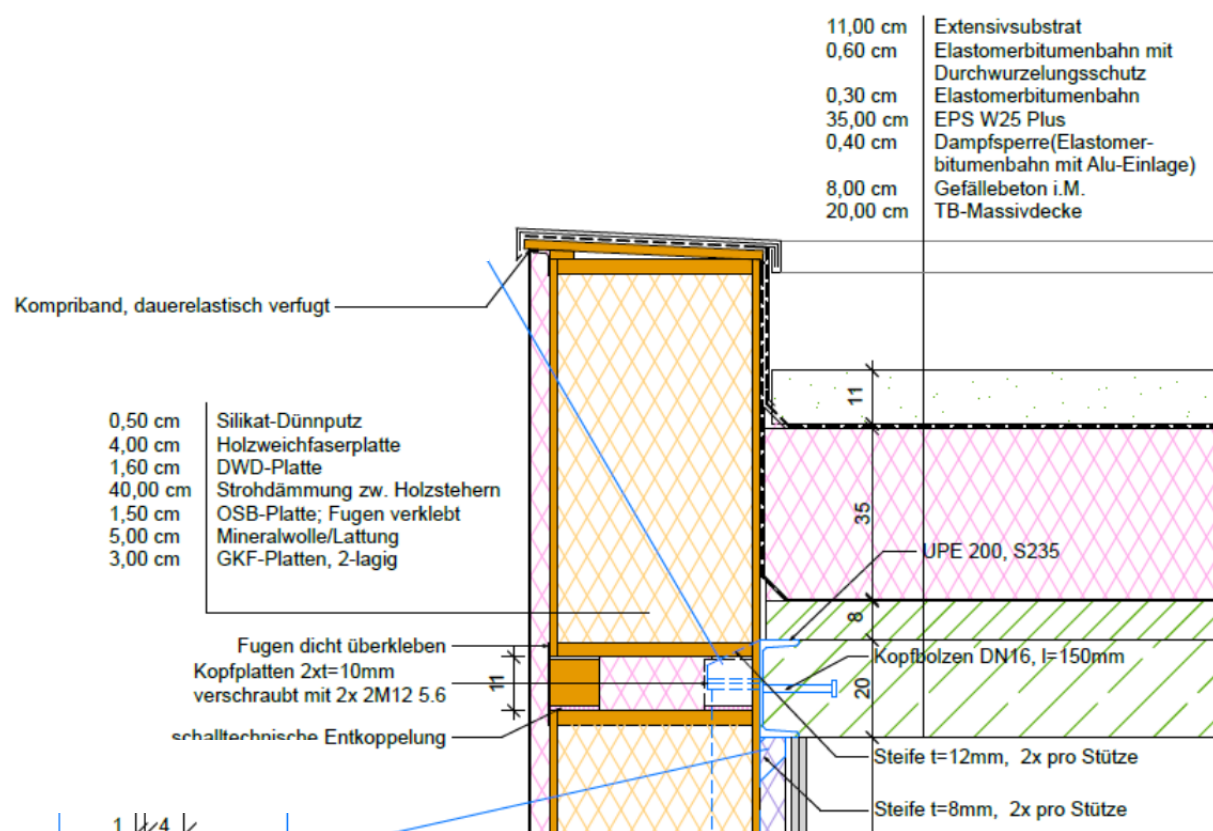


Abbildung 84: Wohnhausanlage Lasse-Amselgasse. Vertikalschnitt Attika, Anschluss Flachdach, extensiv begrünt. Entnommen aus Polierplan 20.02.2012. Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH

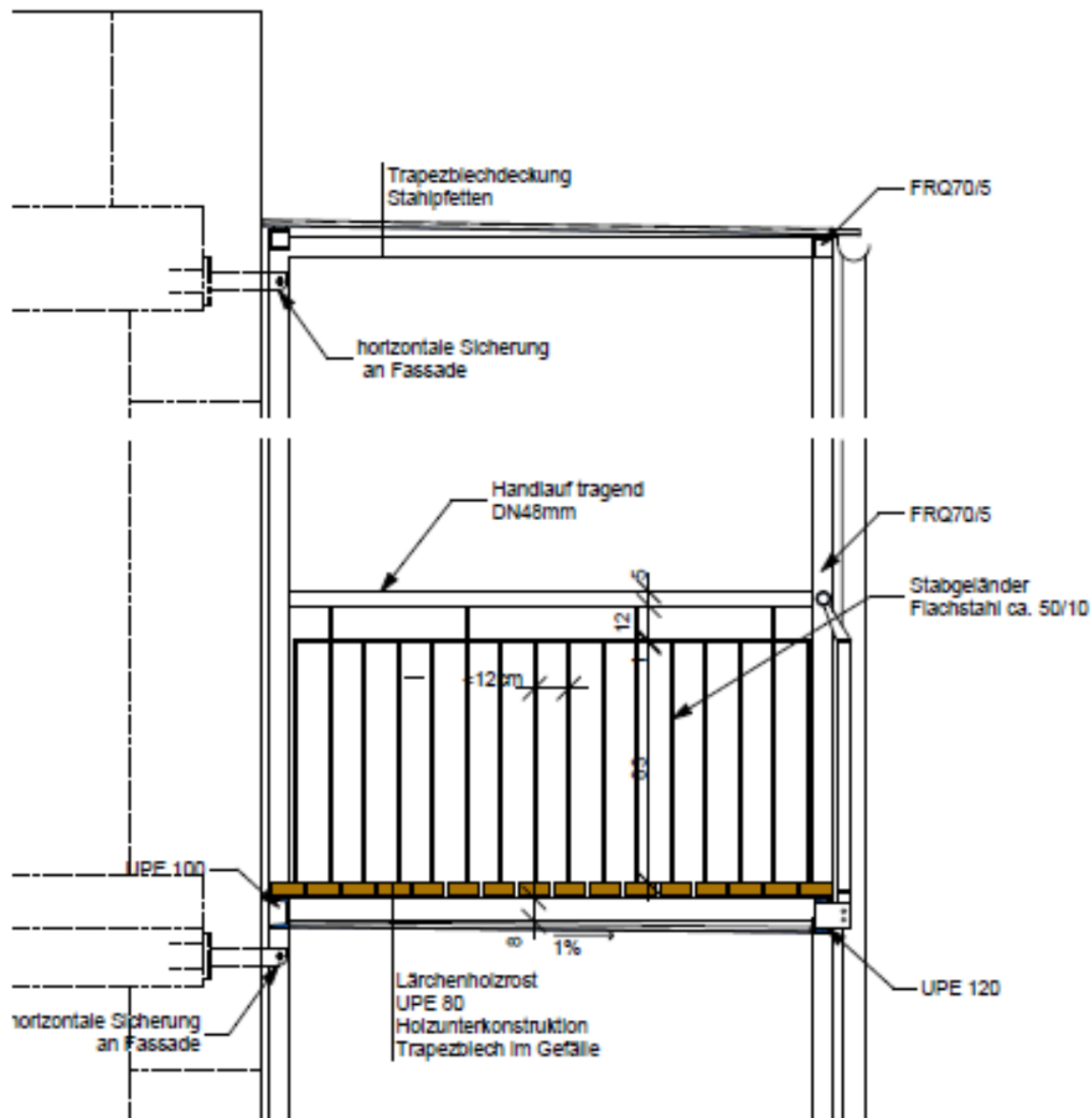


Abbildung 85: Wohnhausanlage Lasse-Amselgasse. Vertikalschnitt Loggienturm, Stahlkonstruktion auf Streifenfundament. Anschlüsse Zwischendecke und Dach. Entnommen aus Ausschreibungsgrundlage 20.02.2012. Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH

Viele Holzbauunternehmen bevorzugen eine reine Holzkonstruktion gegenüber einer Mischkonstruktion, dass heißt konkret, dass die tragende Außenwandkonstruktion in Holzriegelbauweise und Strohdämmung mit Brettsper Holzplattendecken kombiniert wird. Beachte: Die Stöße bei den vorgefertigten Wandelementen werden grundsätzlich als stumpfe Stöße ausgeführt und müssen daher „überdämmt“ werden. Laut den befragten Holzbauunternehmen ist eine tragende Holzkonstruktion einfacher, schneller und damit preiswerter als eine Mischkonstruktion mit nicht tragenden Elementen. Daher wurde in der weiteren Planung zur Optimierung der Kosten die ursprüngliche Variante C1 weiterentwickelt in eine möglichst reine Holzkonstruktion.

Grundsätzliche Aspekte für eine kostengünstige Stroh-Holz-Bauweise:

- je weniger Vorsprünge und Rücksprünge im Grundriss und Schnitt geplant sind desto preiswerter kann die Baukonstruktion errichtet werden.
- möglichst lange Elemente für Vorfabrikation und Versetzen auf der Baustelle, ideal ist eine Höhe die der Geschosshöhe entspricht und eine Länge kleiner 13 m.
- Öffnungen im Modulmaß planen
- Stiegenhaus in Massivbauweise wegen Brandschutz
- Deckenspannweite kleiner 5 m
- möglichst wenig Schnittstellen in der Mischbauweise - unterschiedliche Toleranzen bei den jeweiligen Gewerken sind zu beachten
- Installationsebene einsparen - das heißt Leitungsführung in nicht tragenden Zwischenwänden, im Fußboden oder oberseitig in die Brettsperrholzdecke eingefräst

Ursachen für die relativ hohen Kosten der Holz-Strohbauweise:

- Stroh muss veredelt werden, d.h. sortieren, pressen, binden, schneiden
- Gefahr bei Ausschluss der Ernte
- einige wenige Anbieter besitzen eine Art Monopolstellung
- sorgfältiges Einbringen in die Holzriegelkonstruktion damit keine Hohlräume und Setzungen entstehen - d.h. ein hoher Faktor an Lohnkosten - (zum Vgl. Zelluloseflocken werden einfacher und schneller mit großem Druck eingeblasen)

7 Ökobilanz

7.1 Methodik Ökobilanz

Grundlagen für die Ökobilanz sind die Normen ÖNORM EN ISO 14040, ÖNORM EN ISO 14044, ÖNORM EN 15643-1, ÖNORM EN 15643-2, ÖNORM EN 15978 und ÖNORM EN 15804 sowie der Leitfaden Nachhaltiges Bauen aus Deutschland (BMUB, 2014) der auch die Grundlage für die Nachhaltigkeitszertifizierung nach DGNB und ÖGNI dokumentiert.

Aufbauend auf den Planungsunterlagen von Treberspurig & Partner Architekten ZT GmbH für die drei unterschiedlichen Bauweisen (Planstand A, 2011/2012) wurden Ökobilanzen für die drei Ausführungsvarianten zuzüglich einer Subvariante für Block B erstellt.

- Block A: Konventionelle Ziegelmassivbauweise mit Stahlbetondecken (Variante A)
- Block B: Porenbeton-Systembauweise mit Holzmassivdecken (Variante B)
 - Alternative (Variante B2): Mineralschaumdämmung (Multopor) anstatt Wärmedämmung mit EPS (Variante B2) mit äquivalentem Wärmedurchlassgrad.
- Block C (entspricht Variante C1): Stroh-Holzleichtbau mit Stahlkonstruktion und Stahlbetondecke.

Die Ökobilanzen der verschiedenen Bauweisen wurden unter Verwendung eines Excel-LCA-Tools, welches von Mitarbeitern des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau, Universität für Bodenkultur Wien entwickelt wurde, berechnet.

Die Datensätze aus der deutschen Baustoff-Datenbank Ökobau.dat Version 2009 (BMUB, 2009) waren die Grundlage für die Berechnung. Die zeitliche Bilanzgrenze für die Gebäude wurde gemäß Leitfaden Nachhaltiges Bauen bzw. gemäß ÖGNI/DGNB-Bewertung mit 50 Jahren festgelegt. Dies entspricht einer virtuellen Zeitperiode für Vergleiche zwischen Gebäuden und nicht der prognostizierten Nutzungsdauer der Gebäude.

Die Nutzungsdauer der Baustoffe für die Berücksichtigung der Instandsetzung wurden aus dem österreichischen Nutzungsdauerkatalog (SV LV Stmk-Ktn, 2006) entnommen und dadurch eine entsprechende Erneuerung der relevanten Bauteile im Rahmen des Lebenszyklus berücksichtigt. Die Dichten der Baustoffe, die zur Ermittlung der Sach- und Wirkungsbilanz benötigt wurden, waren teilweise in den Ökobau.dat Datensätzen angegeben oder wurden mit dem Katalog (ON V 31, 2001) für wärmeschutztechnische Rechenwerte von Baustoffen und Bauteilen ermittelt.

Die Auswertung erfolgt pro Bruttogeschoßfläche (BGF). Diese Methode entspricht nicht der DGNB Methode, welche bei der Auswertung die Nettogeschoßfläche (NGF) als Bezugsfläche heranzieht. Es ermöglicht jedoch die Option, die Unterschiede der Materialien zu bewerten, und verhindert eine Beeinflussung der Ergebnisse durch unterschiedlich große NGF, die sich durch variierende Außenwandstärken ergeben.

Die drei Untersuchungsgebäude haben in etwa dieselben Grundrisse, dieselbe BGF und denselben Energiebedarf und sind aus diesem Grund optimal geeignet miteinander verglichen zu werden.

Die Aufbauten der signifikantesten Wände und Decken der untersuchten Varianten sind in folgender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 20: Überblick über die relevantesten Bauteile der verglichenen Bauweisen

Block	Wandkonstruktion	Dämmmaterial Außenwände	Deckenkonstruktion	Dämmmaterial Flachdach
A	25 cm Hochlochziegel	26 cm EPS	0,20-0,22 cm Stahlbetondecke	0,24-0,35 cm EPS
B	30 cm Porenbeton	16 cm EPS	0,15 cm Holzmas- sivdecke	0,24-0,35 cm EPS
B2	30 cm Porenbeton	18 cm Mine- ralschaum Dämmplatte	0,15 cm Holzmas- sivdecke	0,34-0,49 cm Mineralschaum Dämmplatte
C	Holzriegelkonstruktion	40 cm Stroh- dämmung	0,20-0,22 cm Stahlbetondecke	0,24-0,35 cm EPS

7.2 Resultate Ökobilanz

Die Ökobilanz wurde gemäß den folgenden Fragestellungen ausgewertet:

- Welche Einflüsse haben die einzelnen Phasen des Lebenszyklus?
- Welchen Einfluss hat die Betriebsenergie?
- Welche Einflüsse haben die verschiedenen Bauteilgruppen?
- Welche Einflüsse haben die verschiedenen Materialgruppen?

7.2.1 Aggregiertes Gesamtergebnis und Einzelergebnisse der wichtigsten Ökoindikatoren

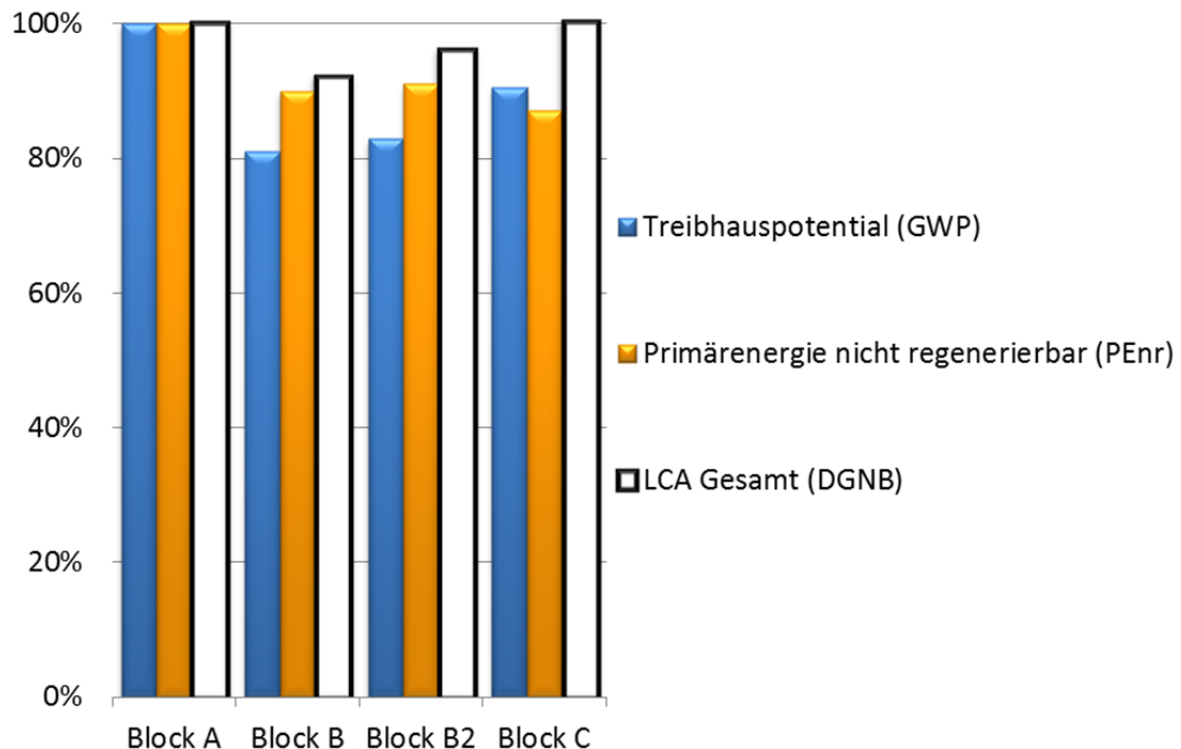


Abbildung 86: Das Gesamtergebnis der Ökobilanz und der Wirkungsindikatoren Treibhauspotential und Primärenergie nicht regenerierbar gewichtet nach den Bewertungsfaktoren der DGNB Kriterien. Darstellung der Blöcke B, B2 und C in Relation zu Block A (Obereder, 2013)

Die Ergebnisse der Ökobilanz zeigen, dass bei einer Berücksichtigung und Gewichtung aller Wirkungsindikatoren (siehe LCA Gesamt) nur die Porenbetonbauweisen Block B und B2 bei der ökologischen Betrachtung etwas besser abschneiden als die Massivbauweise (Block A). Der Unterschied ist jedoch mit 8 % zwischen dem Gesamtergebnis des Blocks A, mit dem höchsten Ergebnis, und Block B, mit dem niedrigsten Ergebnis, eher gering. Die Strohbauweise (Block C) liegt bei derselben Betrachtung gleichauf mit dem Massivbau.

Für den Indikator Primärenergie nicht erneuerbar ergibt sich bei der gesonderten Betrachtung, dass der Stroh-Holzleichtbau (Block C) am günstigsten bilanziert. In Relation zur Ziegelmassivbauweise (Block A) schneidet er mit einem Anteil von 87 % am Ergebnis des Blocks A deutlich besser ab als der ebengenannte.

Bei Betrachtung des Wirkungsindikators Treibhauspotential stellt sich heraus, dass der Porenbeton-Systembau (Block B) die besten Ergebnisse erzielt, er hat einen 19 % geringeren Wert als die konventionelle Ziegelmassivbauweise (Block A).

Die detaillierten Ergebnisse aller Wirkungsindikatoren sind im folgenden Abschnitt aufgelistet und beschrieben.

7.2.2 Vergleich der Ergebnisse für alle Wirkungsindikatoren

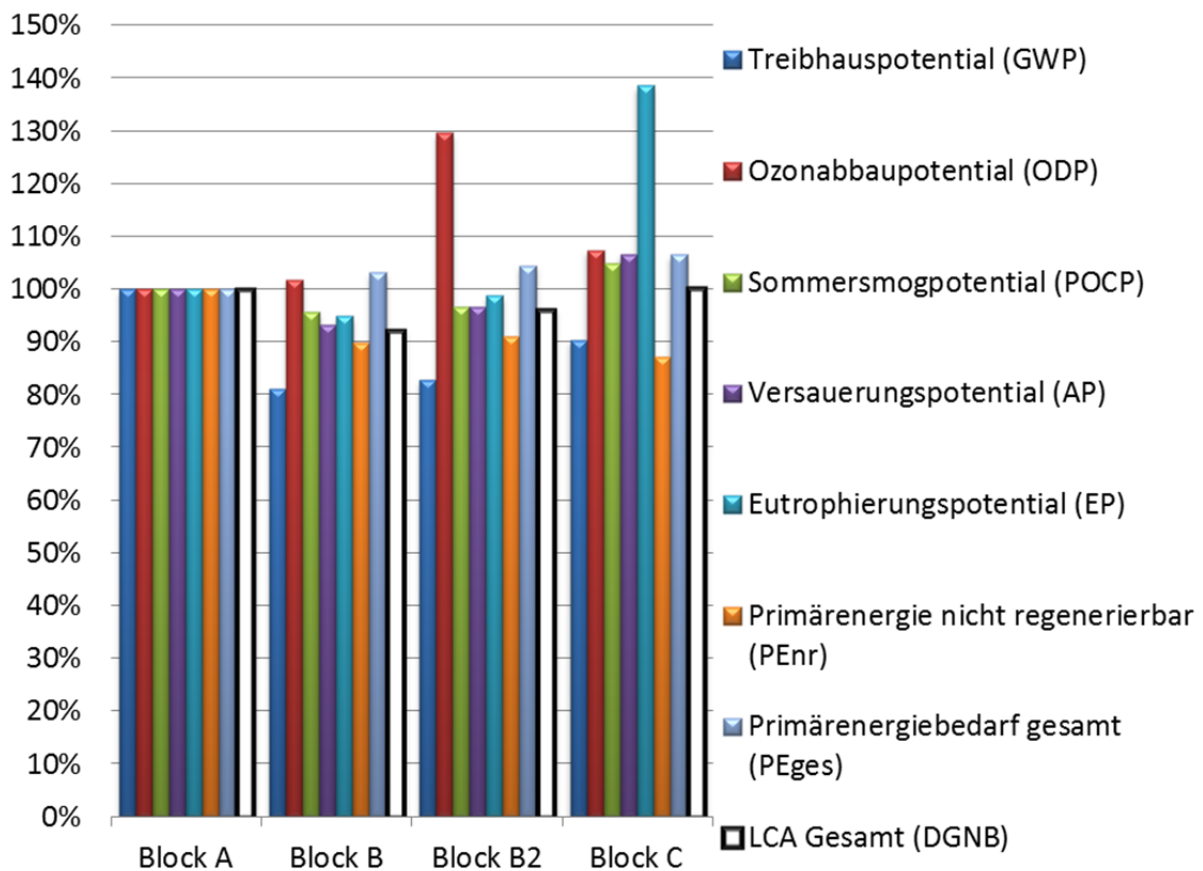


Abbildung 87: Darstellung der Ergebnisse für alle Wirkungsindikatoren der Blöcke B, B2 und C in Relation zu Block A (Obereder, 2013)

Bei Block B und B2 ist beim Treibhauspotential ein deutlich geringerer Wert festzuhalten, während im Block C vor allem die Primärenergie nicht erneuerbar ein gutes Ergebnis im Verhältnis zu Block A erzielt.

Im Block B gibt es generell über alle Wirkungsindikatoren hinweg keine signifikanten Ausreißer nach oben, während im Block B2 das Ozonabbaupotential deutlich nach oben ausschlägt. Dieser Unterschied – vor allem auch der um 28 % höhere Wert in Relation zur Variante Block B – lässt sich ausschließlich auf die Mineralschaum Dämmplatten zurückführen, da diese den einzigen Unterschied bei der Dateneingabe zwischen Variante B und B2 darstellen. Da Mineralschaum Dämmplatten nur zu 4 % aus Feststoff bestehen und der Großteil der Bestandteile keine so ausgesprochen negative Beeinflussung des ODP herbeiführen kann, wird die Hypothese aufgestellt, dass wahrscheinlich der Zuschlagstoff (das Triebmittel), das zur Produktion des Porenbeton Dämmmaterials notwendig ist, den hohen Wert des ODP herbeiführt. Nachdem das ODP bei den DGNB/ÖGNI NBV09 Bewertungsfaktoren jedoch nur mit dem Faktor 1 gewichtet ist, wird auf den eben genannten Ausreißer in weiterer Folge nicht mehr näher eingegangen.

Auch die Primärenergie gesamt hat bei Block B, B2 und C einen in Relation zu Block A größeren Anteil. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass bei den Ökobau.dat Datensätzen generell der Anteil regenerierbarer Energie für biogene Baustoffe relativ hoch angesetzt wird, da beispielsweise auch Solarenergie, welche zur Produktion eines biogenen Baustoffs gebraucht wird, u.Ä. bilanziert wird. So wird z.B. bei der Bilanzierung von Holzbaustoffen der Prozess der Photosynthese, die zum Wachsen des nachwachsenden Rohstoffes Holz notwendig ist, mitbilanziert.

Der ausgeprägte Wert für das Eutrophierungspotential des Blocks C (durchschnittlich 41 % höherer Wert im Vergleich zu den Blöcken A, B und B2) ist differenziert zu betrachten. Zwar erreicht es einen deutlich höheren Wert als in den Blöcken A, B und B2, jedoch ist es durch seine geringe Gewichtung eher unbedeutend, was auch für das Ozonabbaupotential bei Block B2 und den Ausreißer zutrifft, die darum vernachlässigt werden können.

Für eine weitere Betrachtung ab folgendem Abschnitt wurden fokussiert die Wirkungsindikatoren Primärenergiebedarf nicht regenerierbar und Treibhauspotential aufgrund ihrer hohen Gewichtung nach DGNB/ÖGNI in Betracht gezogen.

7.2.3 Ergebnisse der Ökobilanz für Primärenergie und Treibhauspotential

In folgender Abbildung sind die absoluten Werte der beiden Indikatoren als Summe der Herstellung, Instandhaltung und End of Life graphisch dargestellt, die zugehörigen Zahlenwerte finden sich in folgender Tabelle und sind auf die Lebenszyklusphasen aufgeschlüsselt.

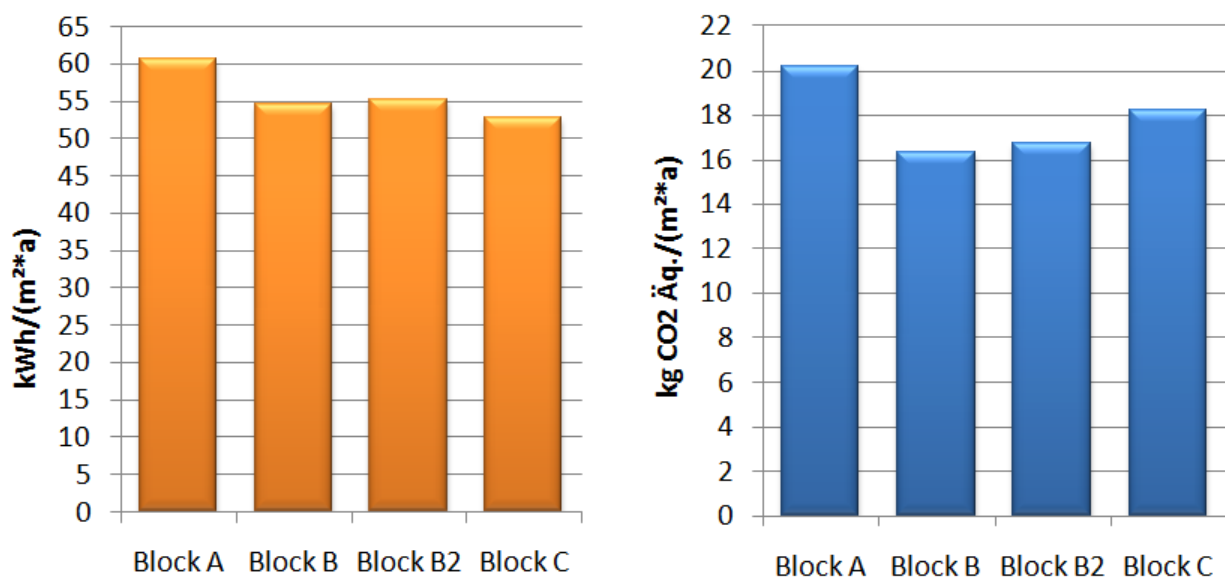


Abbildung 88: Graphische Darstellung der absoluten Werte der Ergebnisse für die maßgebenden Wirkungsindikatoren Primärenergie nicht regenerierbar (links) und Treibhauspotential (rechts) (Obereder, 2013)

7.2.4 Ergebnisse der Ökobilanz für Lebenszyklusphasen

**Tabelle 21: Übersicht über die rechnerischen Ergebnisse der maßgebenden Faktoren
Primärenergiebedarf nicht regenerierbar und Treibhauspotential (Obereder, 2013)**

	Block A – Massivbau- weise		Block B – Porenbeton		Block B2 – Porenbeton		Block C – Strohdämmung	
	GWP	PEne	GWP	PEne	GWP	PEne	GWP	PEne
	kg CO2 Äq./ (m².a)	kWh/ (m².a)	kg CO2 Äq./ (m².a)	kWh/ (m².a)	kg CO2 Äq./ (m².a)	kWh/ (m².a)	kg CO2 Äq./ (m².a)	kWh/ (m².a)
Herstellung	8,28	30,65	3,35	32,29	3,83	30,59	5,77	32,75
Instandhal- tung	6,65	23,43	6,57	23,10	6,75	23,43	6,19	20,57
End of Life	2,35	-4,30	3,54	-11,69	3,25	-9,67	3,39	-11,36
Betriebs- energie	2,85	10,86	2,85	10,86	2,85	10,86	2,85	10,86
GESAMT	20,12	60,65	16,31	54,56	16,68	55,22	18,20	52,82

Primärenergiebedarf nicht regenerierbar

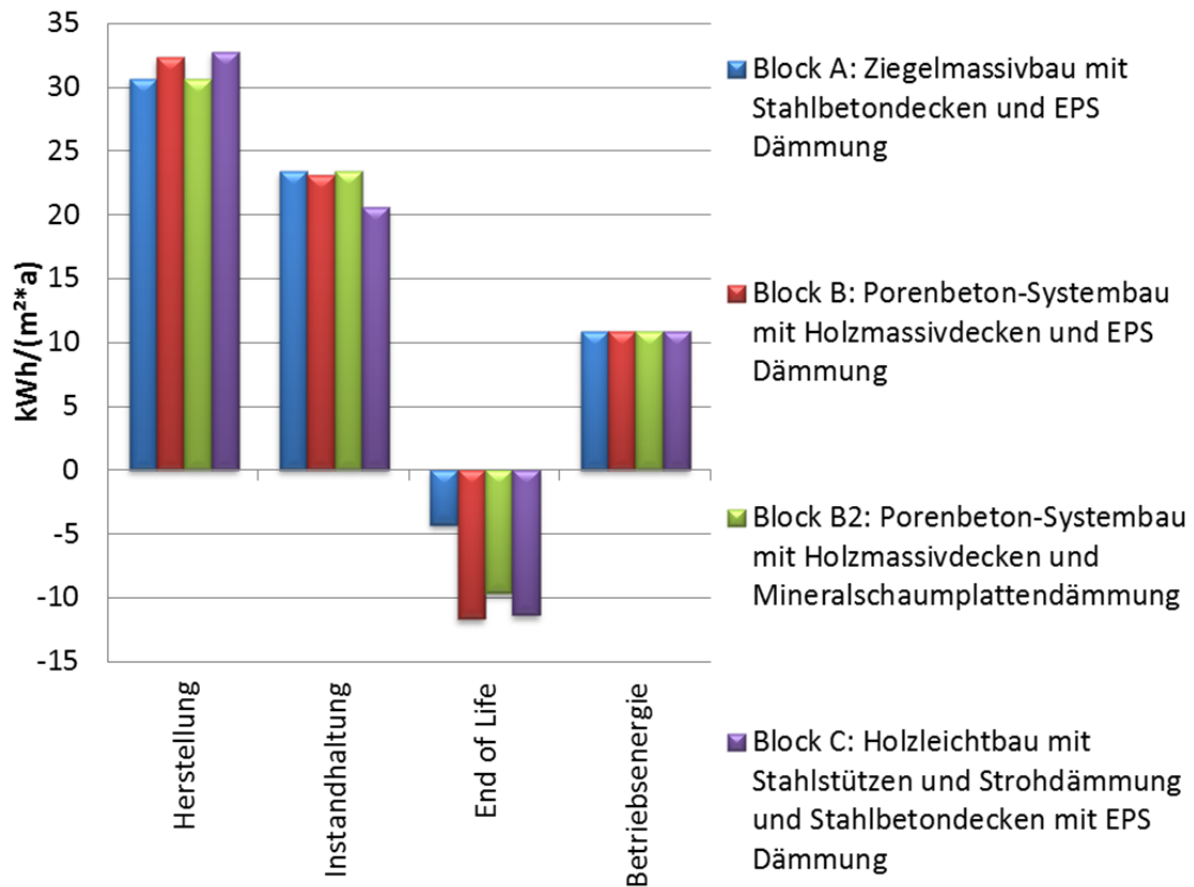


Abbildung 89: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Primärenergiebedarf nicht regenerierbar betrachtet über die Lebenszyklusphasen Herstellung, Instandhaltung, Entsorgung und Betriebsenergie (Obereder, 2013)

Bei der Darstellung des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar wird auf den ersten Blick erkennbar, dass die Herstellung den höchsten Anteil am Resultat des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar hat. Alle vier Bauweisen liegen etwa auf demselben Niveau. Für die Bauweisen mit nachwachsenden Rohstoffen sind keine erkennbaren Vorteile erkennbar.

Werden die Werte der Herstellungs- und Instandhaltungsphase summiert, sind die vier Blöcke noch annähernd gleichauf. Für das Gesamtergebnis ist die End-of-Life-Phase maßgebend. Nachfolgend sind markante Erkenntnisse festgehalten.

Vergleich Porenbeton-Systembau mit EPS Dämmung (Block B) und Porenbeton-Systembau mit Mineralschaumdämmung (Block B2)

In der Herstellungsphase des Blocks B2 wird etwas weniger Energie verbraucht als bei Block B, in der Instandhaltung ist jedoch der Wert annähernd gleich groß. Dass die Porenbetonbauweise mit Mineralschaumdämmung (Block B2) im Vergleich zur Porenbetonbauweise mit EPS-Dämmung (Block B) etwas schlechter abschneidet, lässt sich fast ausschließlich auf die End-of-Life-Phase zurückführen, da bei der Verbrennung von EPS eine größere Gutschrift entsteht als für die Bauschuttzubereitung von Mineralschaum.

End-of-Life (EOL) Gutschriften

Alle Bauweisen haben in der EOL-Phase Gutschriften; die Vorteile der Blöcke B, B2 und C ergeben sich in erster Linie durch ihre größeren Gutschriften in Relation zu Block A in der End-of-Life-Phase.

End-of-Life Block A: Ziegelmassivbauweise

Die geringe Gutschrift im Block A ist als kritisch zu betrachten, da es eindeutig zeigt, dass ein Abbruch eines Massivbaus problematischer ist als der einer nachhaltigen Alternative.

Energiekennzahl

Die Betriebsenergie setzt sich aus Nutzenergie und Haustechnik zusammen. Im Fall der Wohnhausanlage Amselgasse, Lasee ist der Anteil der Betriebsenergie an des gesamten Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar relativ gering, da sie mit Fernwärme von einem Stroh-Heizwerk betrieben wird. Auch im Verhältnis zu konventioneller Fernwärme liegt die ökologisch bewertete Betriebsenergie bei einem Stroh-Heizwerk auf einem extrem niedrigen Niveau.

Treibhauspotential

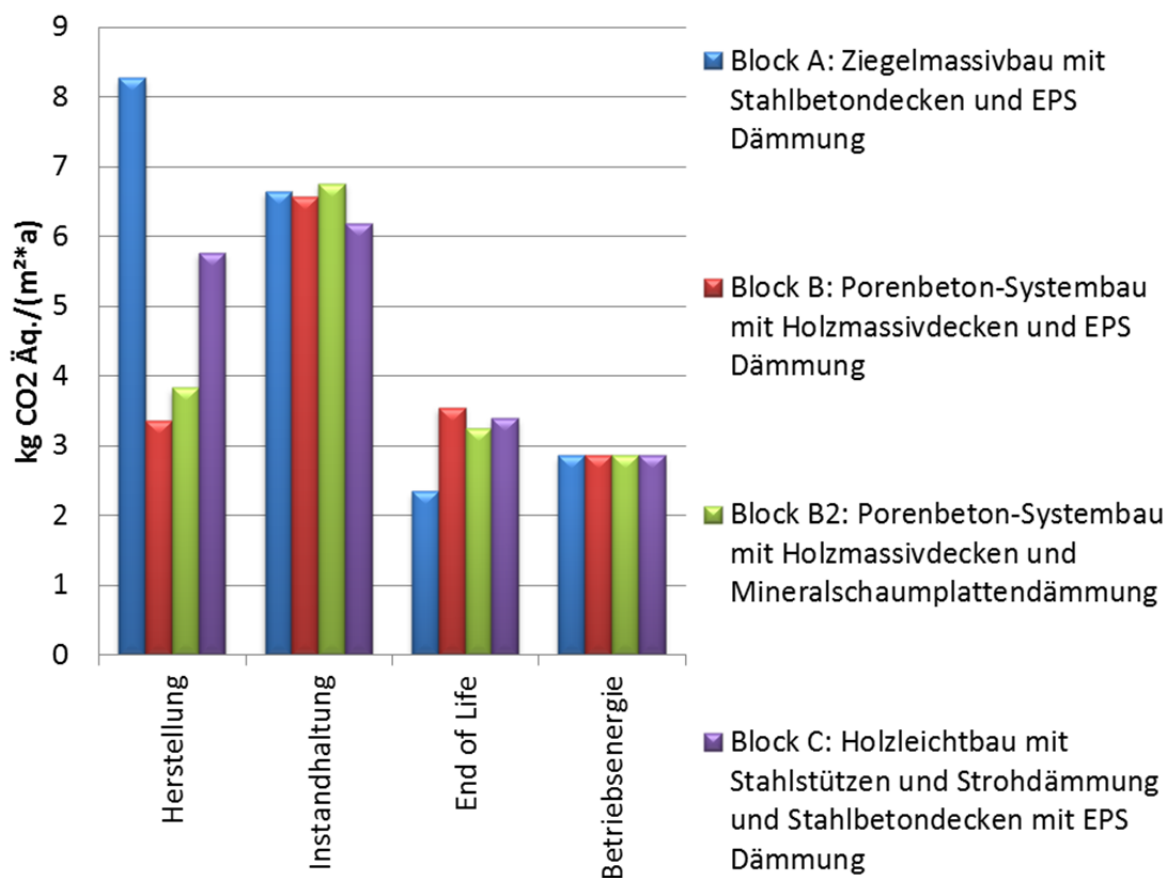


Abbildung 90: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Treibhauspotential betrachtet über die Lebenszyklusphasen Herstellung, Instandhaltung, Entsorgung und Betriebsenergie (Obereder, 2013)

Alle vier Lebenszyklusphasen haben etwa dieselbe Bedeutung für die Gesamtbilanz. Die größten Unterschiede der vier Bauweisen finden sich in der Herstellungsphase (im Gegensatz zum Faktor Primärenergiebedarf nicht regenerierbar, wo die maßgebende Phase End-of-Life ist). Die vier Bauweisen schneiden in der Instandhaltung und End-of-Life relativ ähnlich ab (einen etwas besseren Wert in der EOL-Phase für Block A ausgenommen).

Die Herstellungsphase wird aufgrund ihrer Signifikanz nachstehend detaillierter aufgeschlüsselt:

Der hohe Wert im Block A ist selbsterklärend bei der Betrachtung des Aufbaus der signifikanten Bauteile. Vor allem die STB-Decken und Ziegelwände haben einen negativen Einfluss auf den Indikator und ergeben damit den schlechtesten Wert betreffend den Klimaschutz.

Dass die Strohbauweise so schlecht abschneidet ist darauf zurückzuführen, dass die Stroh-Außenwände, die eigentlich ein sehr positives Ergebnis nach sich ziehen, mit STB-Decken kombiniert werden. Diese wirken sich wieder negativ auf die Ergebnisse des Treibhauspotential Faktors aus. Die Varianten B und B2 erscheinen im direkten Vergleich besser, da sie die Porenbetonkonstruktion mit einer Holzdecke koppeln. Der biogene Baustoff Holz wandelt die Ergebnisse in diesem Fall stark zum Positiven.

Der Variante B2 hat dennoch in der Herstellungsphase einen geringfügig größeren Wert, der auf die aufwändigere Herstellung der Mineralschaum Dämmung im Vergleich zur EPS Dämmung zurückzuführen ist.

7.2.5 Ergebnisse der Ökobilanz für Bauteilgruppen

Den größten Anteil – sowohl am Primärenergiebedarf nicht regenerierbar als auch Treibhauspotential – hat bei allen Bauweisen die Bodenplatte, die aus Stahlbeton gefertigt wird und die Wirkungsindikatoren stark ins Negative beeinflusst.

Die Außenwände, das Dach und die Geschossdecken sind jedoch aufgrund der Materialunterschiede je nach Bauweise maßgebend für das Ergebnis des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar und des Treibhauspotentials. Wäre das Gebäude mehr als zweistöckig, wären die Geschossdecken und Außenwände anteilmäßig höher und die Ergebnisse dieser Bauteile aufgrund der hohen Unterschiede in den Endergebnissen demnach noch wesentlicher bei der ökologischen Beurteilung von Bauweisen.

Besonders bei den Außenwänden könnte dieser Faktor zu signifikanten Unterschieden im Endergebnis führen, weshalb diese daher zusätzlich im Kapitel 7.2.7 analysiert werden.

Primärenergiebedarf nicht regenerierbar

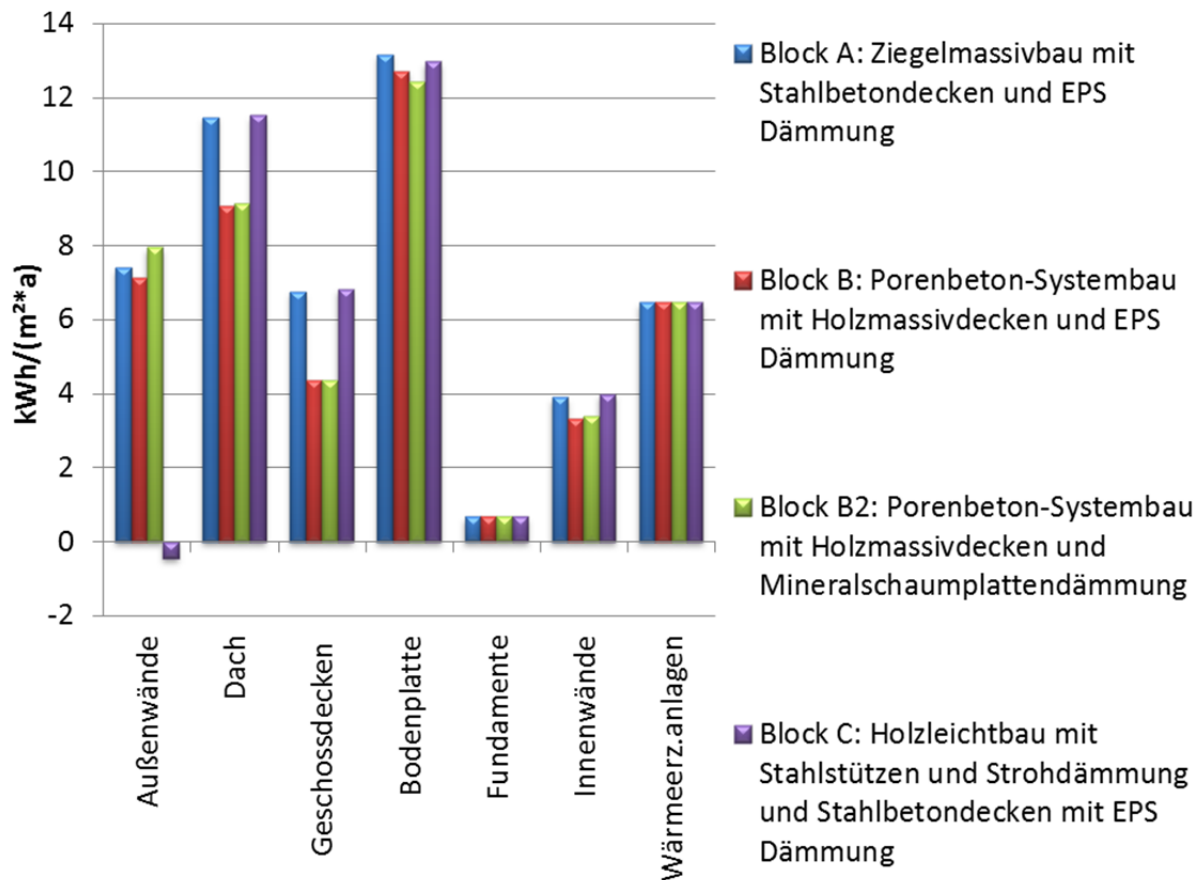


Abbildung 91: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Primärenergiebedarf nicht regenerierbar betrachtet nach den Bauteilgruppen der Ökobau.dat (Obereder, 2013)

Bei den Außenwänden sind die Blöcke A, B und B2 alle ungefähr gleichauf. Die Außenwände von Block C bilanzieren negativ, wegen der Gutschriften für die Strohdämmung und die Holzkonstruktion. Eine genauere Betrachtung des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar der Außenwände erfolgt in Kapitel 7.2.7.

Das Dach und die Geschossdecken sind bei Block A und C gleich groß, da diese in STB-Bauweise ausgeführt werden. Block B und B2 profitieren bei diesem deutlich geringeren Wert wieder von ihrer Dach- und (Zwischen-)deckenkonstruktion aus Massivholz.

Das Fundament wird bei allen Bauweisen gleich ausgeführt, daher ergeben sich hier keine Unterschiede.

Dass die Bodenplatte des Blocks B2 im Verhältnis zum Block B etwas besser abschneidet lässt sich darauf zurückführen, dass im Block B eine EPS Dämmung mit einem hohen Lambda eingebaut wurde und dementsprechend die äquivalente Schichtdicke der Mineralschaumdämmung des Blocks B2 nur geringfügig höher ist. Weitere Analysen der äquivalenten Schichtdicken der Mineralschaumdämmplatten im Verhältnis zu verschiedenen EPS Dämmungen wurden vernachlässigt. Diesbezüglich sollten in einer weiterführenden Untersuchung Vergleiche angestellt werden.

Die Innenwände der Blöcke B und B2 haben einen unbedeutend geringeren Wert, da diese aus Porenbeton erbaut werden, wohingegen die Blöcke A und C Innenwände aus Stahlbeton enthalten.

Die Ergebnisse für Haustechnikanlagen erzielen bei allen Bauweisen einen gleich hohen Wert, der keine signifikante Rolle spielt. Hier ist allerdings zu berücksichtigen, dass lediglich die zentrale Lüftungsanlage und die Solarkollektoren bewertet wurden und dass damit die Rolle der Haustechnik unterschätzt wurde.

Treibhauspotential

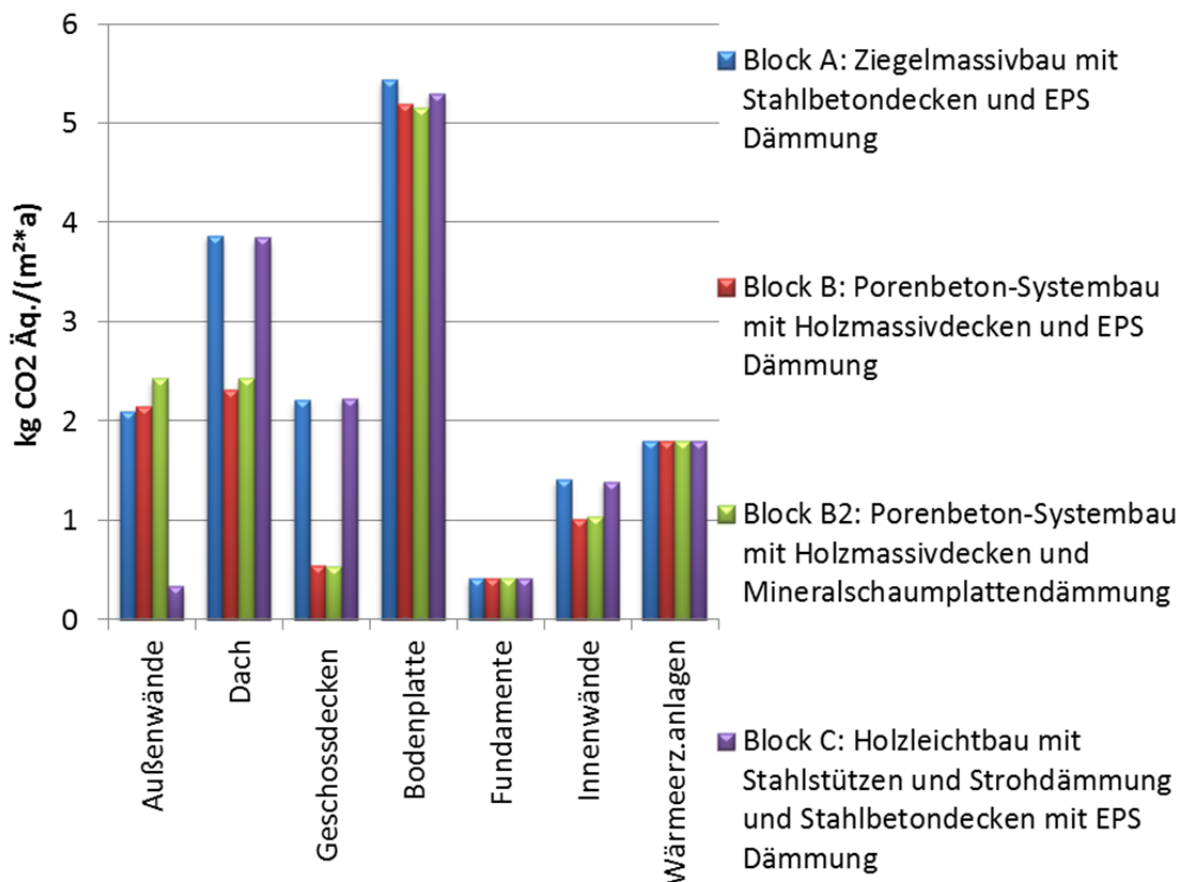


Abbildung 92: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Treibhauspotential betrachtet nach den Bauteilgruppen der Ökobau.dat (Obereder, 2013)

Die Endergebnisse des GWP der Außenwände führen zu folgenden Erkenntnissen: Die Blöcke A, B und B2 ähneln sich sehr. Die Außenwände von Block C haben einen viel geringeren Wert, da Stroh und Holz als biogene Baustoffe Gutschriften beinhalten. Eine genauere Betrachtung des Treibhauspotentials der Außenwände erfolgt in Kapitel 7.2.7.

Die Ergebnisse für das Dach und die Geschossdecken sind bei Block A und C ident, da sie in STB-Bauweise erbaut werden. Die Blöcke B und B2 haben wiederum einen Vorteil durch ihre Dach- und (Zwischen-)deckenkonstruktion aus Massivholz. Die Geschossdecken von Block B und B2 haben sogar unterm Strich Gutschriften und bilanzieren negativ. Dies liegt daran, dass End of Life Gutschriften für die thermische Verwertung berücksichtigt werden.

Die (Zwischen-)decken im Block C sind aus Stahlbeton, was gegenüber dem Block B, der mit Holzmassivdecken geplant ist, einen deutlichen Nachteil bei dem Ergebnis des Treibhauspotentials ergibt.

Das Fundament wird bei allen Bauweisen gleich ausgeführt, daher ergeben sich wie auch bei dem Primärenergiebedarf nicht regenerierbar keine Unterschiede zwischen den Bauweisen.

Der geringfügig bessere Wert der Bodenplatte des Blocks B2 im Verhältnis zum Block B lässt sich darauf zurückführen, dass in der Bodenplatte des Blocks B eine EPS Dämmung mit einem hohen Lambda eingebaut wurde und daher die äquivalente Schichtdicke der Mineralschaumdämmung des Blocks B2 kaum höher ist. Daraus kann man schließen, dass die Mineralschaumdämmplatten bei der gleichen Schichtdicke bessere Werte erzielen würde, da jedoch um die gleichen wärmetechnischen Kennwerte einzuhalten eine größere äquivalente Schichtdicke vonnöten ist erzielt die Mineralschaumplattendämmung schlechtere Werte, welche wie bereits vorher beim Primärenergiebedarf nicht erneuerbar erwähnt weiter untersucht werden sollten.

Die Innenwände der Blöcke B und B2 haben auch hier einen geringeren Wert, da diese aus Porenbeton erbaut werden, wohingegen die Blöcke A und C vorwiegend Innenwände aus Stahlbeton enthalten.

Die Haustechnikanlagen erzielen bei allen Bauweisen einen gleich hohen Wert, der keine signifikante Rolle spielt. Hier ist allerdings zu berücksichtigen, dass lediglich die zentrale Lüftungsanlage und die Solarkollektoren bewertet wurden und dass damit die Rolle der Haustechnik unterschätzt wurde.

Bei der Betrachtung des Gesamtergebnisses des Treibhauspotentials zeigt sich, dass die Kombination von Porenbeton mit EPS Dämmung und Holzdecken (Block B) das beste Ergebnis des Treibhauspotentials herbeiführt. Der Stroh-Leichtbau hat, wie erkennbar und oben erwähnt, vor allem durch die Dach- und Deckenkonstruktion aus Stahlbeton im direkten Vergleich gegenüber der Porenbetonbauweise offensichtliche Nachteile hinsichtlich der Ergebnisse der Wirkungsindikatoren.

7.2.6 *Ergebnisse der Ökobilanz für Materialgruppen*

In diesem Abschnitt der Arbeit sollen die Faktoren Primärenergiebedarf nicht regenerierbar und Treibhauspotential anhand der Materialgruppen basierend auf der Struktur der Datenbank Ökobau.dat analysiert werden. Die Gruppe der Dämmstoffe beinhaltet mineralische, aber auch biogene und kunststoffhaltige Dämmstoffe, somit umfasst sie sowohl EPS als auch Stroh und Mineralschaum Dämmplatten.

Die Haustechnik erzielt bei allen Bauweisen einen gleich hohen Wert, sie wirkt sich jedoch nicht signifikant auf das Gesamtergebnis aus. Hier ist allerdings zu berücksichtigen, dass lediglich die zentrale Lüftungsanlage und die Solarkollektoren bewertet wurden und dass damit die Rolle der Haustechnik unterschätzt wurde.

Primärenergie nicht regenerierbar

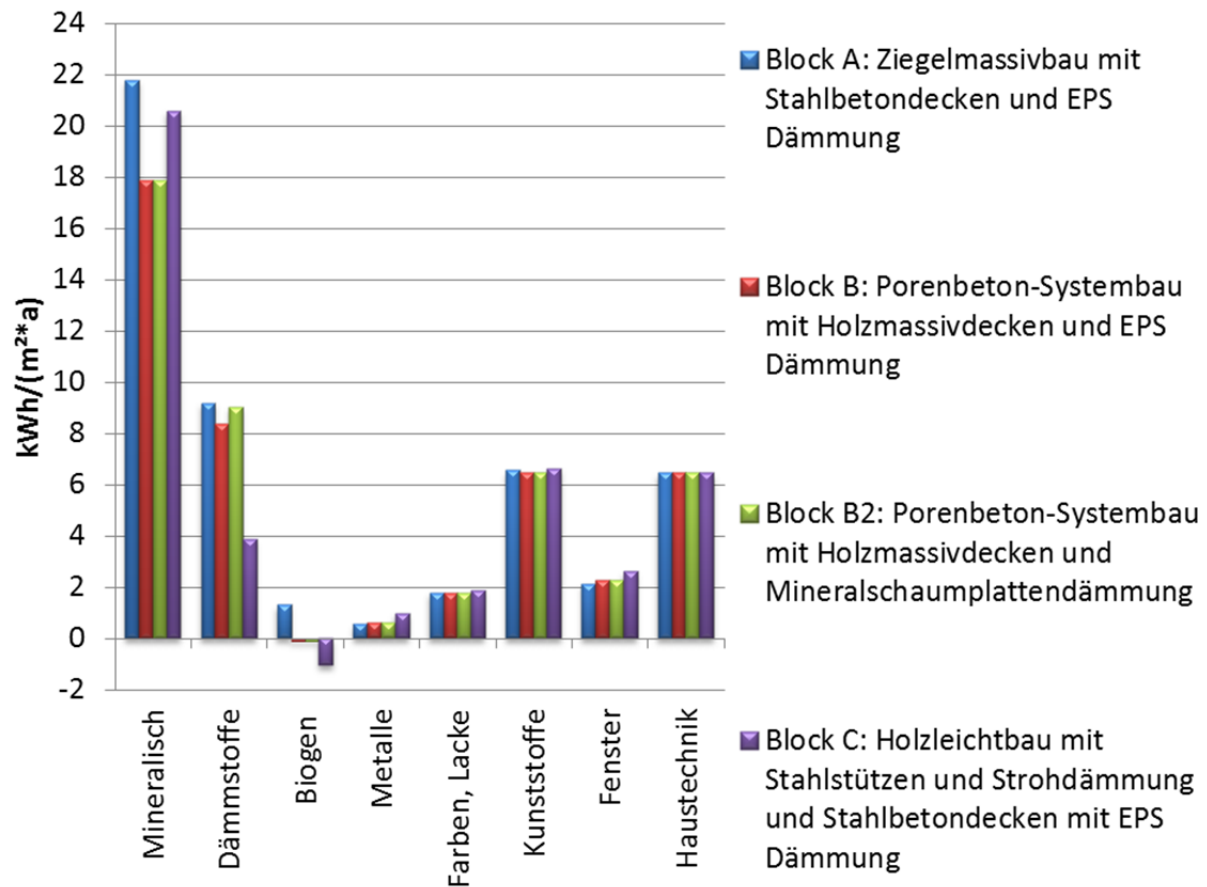


Abbildung 93: Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Primärenergiebedarf nicht regenerierbar betrachtet nach den Materialgruppen der Ökobau.dat (Obereder, 2013)

Mineralische Baustoffe dominieren klar (rund 50 % des gesamten Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar für alle vier Bauweisen) die Ergebnisse der Ökobilanz. Die größten Unterschiede bei den vier Bauweisen sind in der Gruppe der Dämmstoffe (Vorteile von Stroh) und in den mineralischen Baustoffen (Vorteile der Porenbetonbauweise durch nicht mineralische Decke und Dach).

Der Wert der mineralischen Materialien ist bei Block B und B2 geringer, da die Decken aus Holz gefertigt sind und daher weniger mineralische Baustoffe verwendet werden. Der mineralische Anteil von Block A ist am höchsten, wohingegen der von Block C nur geringfügig niedriger ist. Dies lässt sich auf die Decken aus STB zurückführen, die in beiden Blöcken zum Einsatz kommen, und im Fall von Block A auch auf die Wände aus Ziegel in den Außenwänden, welche einen hohen Anteil an dem Resultat des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar haben.

Die Dämmstoffe haben im Block C einen viel geringeren Wert beim Wirkungsindikator Primärenergiebedarf nicht regenerierbar als bei den anderen drei Bauweisen. Der wahrscheinlichste Grund dafür ist die Dämmung aus Stroh im Block C, die nur einen kleinen Wert beim Primärenergiebedarf nicht regenerierbar nach sich zieht. Zwischen dem

Dämmstoff EPS (Block A und B) und den Mineralschaum Dämmplatten (Block B2) lassen sich keine großen Unterschiede erkennen.

Die biogenen Materialien führen im Block C zu einer Gutschrift und haben im Block A einen vernachlässigbaren Wert bei biogenen Stoffen. Die Blöcke B und B2 weisen nur einen verschwindend geringen Wert auf. Der Einfluss des Ergebnisses der biogenen Materialien aufs Gesamtergebnis des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar ist kaum nennenswert.

Beim Ergebnis des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar fällt auf, dass Kunststoffe (wie z.B. PP-Vliese oder Dampfbremsen), obwohl sie nur einen Bruchteil des Gewichts der mineralischen Baustoffen haben (die rund 90 % des Gewichts der Gebäude ausmachen), einen verhältnismäßig hohen Einfluss auf die Resultate der Wirkungsindikatoren haben.

Farben, Lacke, Metalle, Fenster und Haustechnik haben bei allen Bauweisen kaum Einfluss auf das Ergebnis des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar, da sie alle ähnlich bilanzieren und es durch sie zu keinen wesentlichen Diskrepanzen zwischen den Ergebnissen kommt.

Treibhauspotential

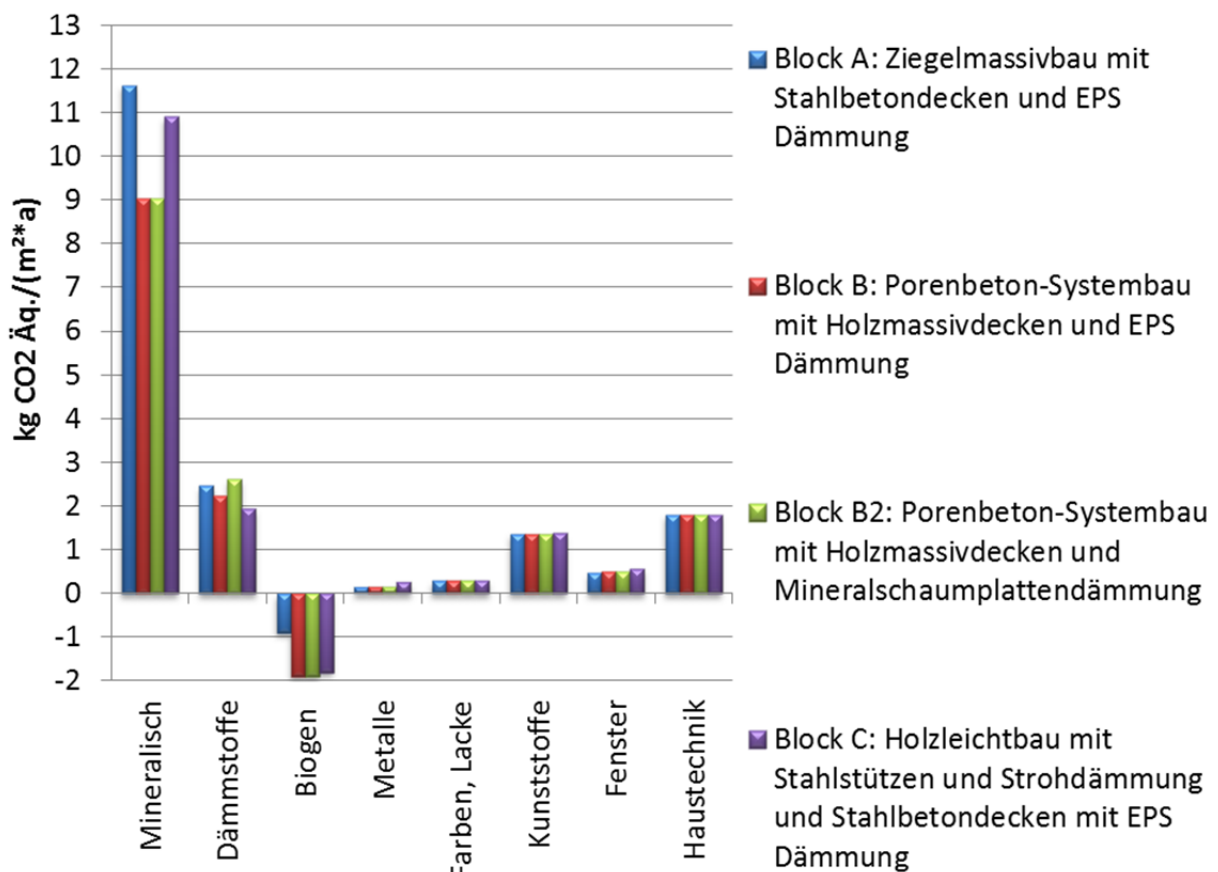


Abbildung 94: Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Treibhauspotential betrachtet nach den Materialgruppen der Ökobau.dat (Obereder, 2013)

Auch beim Indikator Treibhauspotential dominieren die mineralischen Baustoffe mit einem Anteil von rund 80 % des gesamten Treibhauspotentials deutlich. Die größten Unterschiede bei den vier Bauweisen sind in der Gruppe der mineralischen (Vorteil der Kombination von Porenbeton mit Holzmassivdecken) und der biogenen (Vorteile von Stroh und Holz) Stoffe.

Der Wert der mineralischen Materialien ist bei Block B und B2 deutlich kleiner, in erster Linie da die Decken aus Holz sind und damit bei den biogenen Materialien mitbilanzieren. Wie ersichtlich, liegt es nicht an den Porenbetonaußenwänden in Block B und B2, da diese in der Bilanz nicht besser als die Stahlbetonwände abschneiden.

Der Anteil mineralischer Baustoffe am Treibhauspotential von Block A und C ist annähernd gleich groß. Fast ausschließlich durch die höhere Gutschrift bei biogenen Baustoffen (Wandaufbau – Block C) und Holz (Deckenaufbau Block B und B2) liegt die Wirkungsbilanz des Treibhauspotentials von Block B und C unter Block A.

Die Dämmstoffe weisen beim Ergebnis des Treibhauspotentials im Block C einen etwas geringeren Wert als bei den anderen drei Bauweisen auf. In Kombination mit den Ergebnissen des nächsten Abschnitts zeigt sich, dass dies auf den Aufbau der Außenwand und somit die Strohdämmung zurückzuführen ist (sehr geringer GWP Anteil im Block C). Überraschend ist jedoch, dass die Unterschiede zwischen den vier Bauweisen nur sehr gering sind.

Die Holzdecken von Block B und B2 erklären auch die Gutschrift bei den biogenen Baustoffen, wohingegen die Gutschrift bei Block C von der Strohdämmung und Holzleichtkonstruktion der Außenwände herrührt, da hier die Decken aus Stahlbeton sind.

Auch beim Treibhauspotential wird deutlich, dass Kunststoffe, obwohl sie nur einen Bruchteil des Gewichts der mineralischen Baustoffe haben (die rund 90 % des Gewichts der Gebäude ausmachen), einen verhältnismäßig hohen Einfluss auf die Resultate der Wirkungsindikatoren haben.

Auch bei diesem Wirkungsindikator haben Farben, Lacke, Metalle, Fenster und Haustechnik bei allen Bauweisen nur einen geringen Einfluss auf das Ergebnis des Treibhauspotentials.

7.2.7 Detailanalyse Außenwände - Ergebnisse differenziert nach Materialgruppen

Die Daten der Materialien und somit der Konstruktion und Dämmung der Außenwände werden aus dem Gesamtsystem der Ökobilanz herausgelöst und separat betrachtet.

Die Außenwände spielen besonders hinsichtlich mehrgeschossiger Wohnhausanlagen eine wesentliche Rolle. Ihre Ergebnisse sind signifikant, da die großen Unterschiede in den Resultaten der Wirkungsindikatoren umso bedeutender werden, je höher die Gebäude sind. Daher sind die Außenwände vor allem in Bezug auf andere Projekte von besonderem Interesse.

Durch diese Betrachtung und einer möglichst zielführenden Interpretation der Ergebnisse kann ermittelt werden, welche Materialien einen markanten Einfluss auf das Endergebnis der Ökobilanz ausüben.

Den größten Anteil am Gesamtergebnis der Außenwände haben mineralische Stoffe und Dämmstoffe. Diese sind neben biogenen Materialien maßgebend, da es bei ihnen zu den wesentlichsten Unterschieden kommt.

Primärenergiebedarf nicht regenerierbar

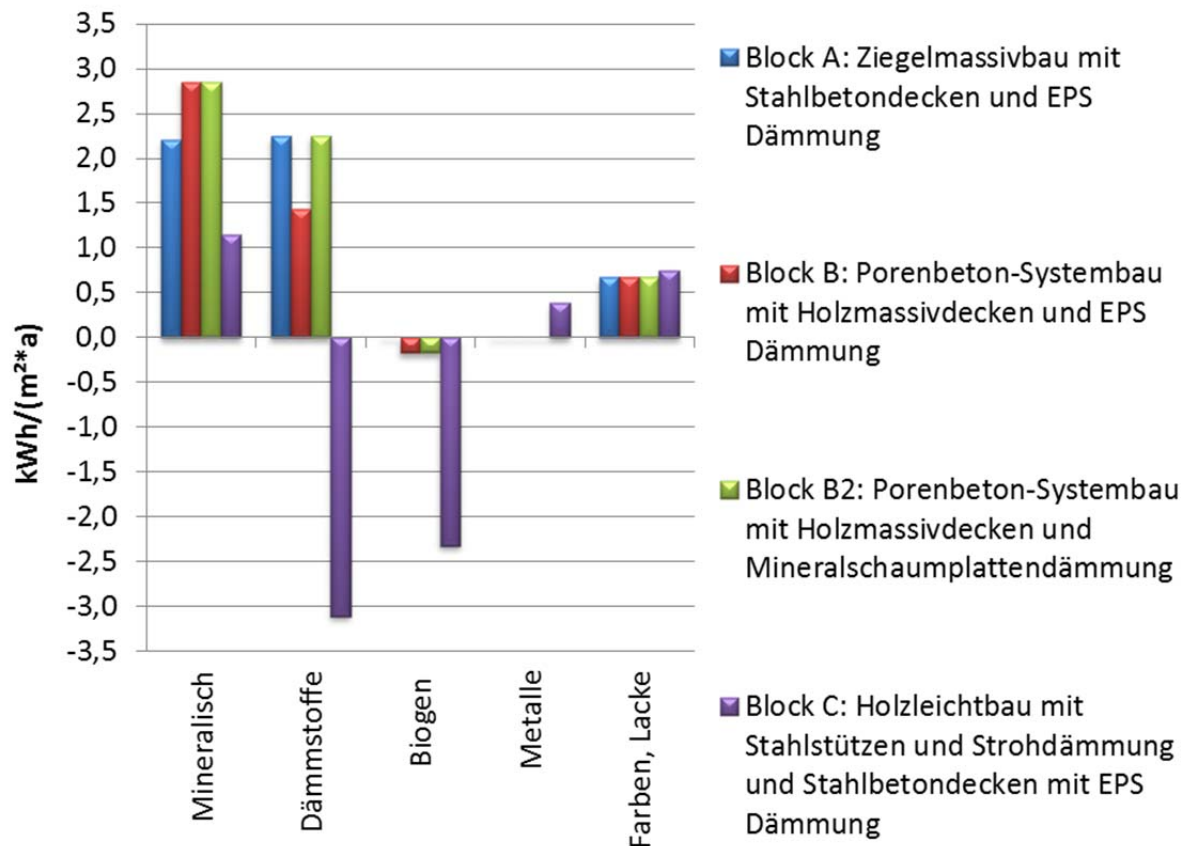


Abbildung 95: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Primärenergiebedarf nicht regenerierbar der Außenwände betrachtet nach den Materialgruppen der Öko-bau.dat (Obereder, 2013)

Mineralische Baustoffe und Dämmstoffe dominieren das Ergebnis für die Außenwände bei allen vier Bauweisen. Zusätzlich hat bei der Stroh-Holzbauweise die Gruppe der biogenen Baustoffe einen maßgeblichen Einfluss. Die größten Unterschiede der 4 Bauweisen liegen ebenfalls bei folgenden Bauteilgruppen: mineralische und biogene Baustoffe und Dämmmaterialien. Das größte Optimierungspotential bietet die Strohdämmung mit rund 5 kWh/(m²*a) im Vergleich zur Dämmung mit EPS oder Mineralschaumplatten.

Der Wert der mineralischen Materialien ist bei Block B und B2 geringfügig höher, was darauf schließen lässt, dass zur Konstruktion von Porenbetonwänden mehr nicht regenerierbare Primärenergie aufgebracht werden muss als bei Ziegelwänden.

Der mineralische Anteil im Block C, der ja aus einer Holzleichtbaukonstruktion mit Strohdämmung besteht, lässt sich durch Putze und Gipskartonplatten erklären.

Die Dämmstoffe im Block C ziehen eine deutliche Gutschrift nach sich, da es sich dabei um den Naturstoff Stroh handelt.

Bei der Betrachtung der anderen Dämmstoffe der Außenwand lässt sich in diesem Vergleich klar erkennen, dass sich EPS auf das Ergebnis des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar schlecht auswirkt. Block B untermauert dieses Ergebnis; der Wert ist jedoch geringer als im Block A, weil durch die bessere Dämmwirkung von Porenbeton – im Vergleich zu Hochlochziegeln – weniger EPS benötigt wird.

Beim Vergleich von EPS (Block B) und der äquivalenten Schicht Mineralschaum Dämmplatten (Block B2) wird deutlich, dass Mineralschaum Dämmplatten über keine guten ökologischen Qualitäten hinsichtlich der nicht regenerierbaren Primärenergie verfügt.

Die geringfügige Gutschrift bei den biogenen Baustoffen der Außenwände von Block B und B2 erklären sich durch die Holzmassivwände des Technikraumes, die zwar nur einen kleinen Anteil an der Außenwandfläche ausmachen, aber dennoch in der Analyse der Außenwände berücksichtigt werden. Die signifikante Gutschrift bei Block C wird hauptsächlich durch die Holzsteher, OSB Platten und die Lattung der Holz-Strohleichtbaukonstruktion begründet.

Metalle sind nur bei Block C in der Außenwand ein relevanter Faktor, da für den Holz-Strohleichtbau als tragende Konstruktion ein Stahlbau vorgesehen ist, welcher negative Auswirkungen auf den Primärenergiebedarf nicht regenerierbar bei der Berechnung der Ökobilanz hat, allerdings nur mit sehr geringfügiger Bedeutung.

Farben, Lacke, Kunststoffe und Fenster haben bei allen Bauweisen nur einen geringen Einfluss auf das Ergebnis des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar.

Treibhauspotential

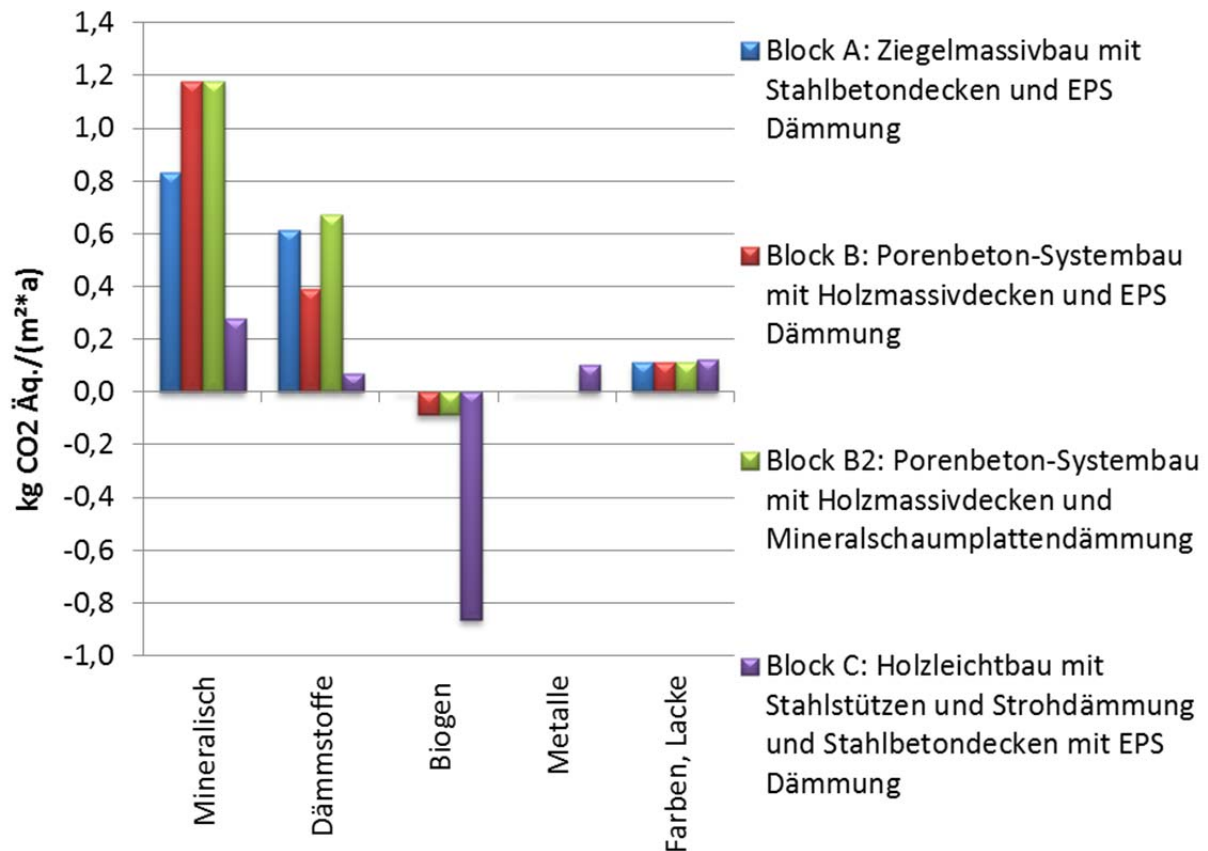


Abbildung 96: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Treibhauspotential der Außenwände betrachtet nach den Materialgruppen der Ökobau.dat (Obereder, 2013)

Mineralische Baustoffe und Dämmstoffe dominieren das Ergebnis für die Außenwände bei allen vier Bauweisen. Zusätzlich hat bei der Stroh-Holzbauweise die Gruppe der biogenen Baustoffe einen maßgeblichen Einfluss. Die größten Unterschiede der 4 Bauweisen liegen ebenfalls bei folgenden Bauteilgruppen: mineralische und biogene Baustoffe und Dämmmaterialien. Das größte Optimierungspotential von aufgerundet 2 kg CO₂ Äq./m²*a liegt in der Stroh-Holzleichtbaukonstruktion mit Ziegel oder Porenbeton.

Die mineralischen Materialien des Porenbeton-Systembaus Block B und B2 haben im Vergleich zur Ziegelmassivbauweise des Blocks A einen höheren Wert, was darauf zurückzuführen ist, dass eine dickere Schicht Porenbeton eingebaut wird (dafür dünnere Schicht Dämmmaterial). Daraus lässt sich ableiten, dass Porenbeton in der Konstruktion einen ähnlichen Einfluss auf das Treibhauspotential wie Hochlochziegel (Block A) hat.

Der mineralische Anteil im Block C, der ja aus einer Holzleichtbaukonstruktion mit Strohdämmung besteht, ist kaum relevant und lässt sich durch Putze und Gipskartonplatten erklären.

Der Wert für die Dämmstoffe ist im Block C ebenfalls verschwindend gering, wiederum da die Strohdämmung das Treibhauspotential nur marginal beeinflusst. Erneut fällt auf, dass Mineralschaum Dämmplatten (Block B2) als Dämmstoff eine negativere Auswirkung auf das

Treibhauspotential hat als EPS (Block B). Eine Beeinflussung des Ergebnisses durch die etwas dickere äquivalente Schichtdicke von Mineralschaum Dämmplatten (Block B2) in Relation zu EPS (Block B) ist jedoch nicht auszuschließen

Wie bereits beim nicht regerierbaren Primärenergiebedarf erwähnt, erklärt sich die geringfügige Gutschrift bei den biogenen Baustoffen der Außenwände von Block B und B2 durch die Holzmassivwände des Technikraumes. Die große Gutschrift bei Block C wird hauptsächlich durch die OSB Platten, die Holzsteher und die Lattung der Holz-Strohleichtbaukonstruktion begründet. Die Bauteile Zwischendecken und Dach wurden nicht detaillierter mit Abbildungen analysiert, beim Block B und B2 würde sich bei einer detaillierten Betrachtung der Deckenkonstruktion eine signifikante Gutschrift bei den biogenen Baustoffen ergeben.

Farben, Lacke, Metalle, Kunststoffe und Fenster haben bei allen Bauweisen nur einen geringen Einfluss auf das Ergebnis des Treibhauspotentials.

7.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der Ökobilanz und Schlussfolgerungen

In Anlehnung an die Forschungsfragen erfolgt in diesem Kapitel eine Zusammenfassung der Resultate. Die Ergebnisse werden kritisch reflektiert und eine Schlussfolgerung in Form von Empfehlungen für zukünftige Mehrfamilienhausprojekte abgeleitet.

7.3.1 Zusammenfassung Ökobilanz

Ökologischer Vergleich der verschiedenen Bauweisen:

Verglichen wurden die folgenden Ausführungsvarianten:

- Block A: Konventionelle Ziegelmassivbauweise mit Stahlbetondecken
- Block B: Porenbeton-Systembauweise mit Holzmassivdecken
 - Alternative (Variante B2): Mineralschaumdämmung (Multopor) anstatt Wärmedämmung mit EPS mit äquivalentem Wärmedurchlassgrad.
- Block C (entspricht Variante C1): Stroh-Holzleichtbau mit Stahlkonstruktion und Stahlbetondecke.

Bei der Betrachtung des Gesamtergebnisses über alle Phasen der Ökobilanz weist die Holz-Strohleichtbauweise (Block C, Variante C1) ein ebenso hohes Gesamtergebnis wie der in Ziegelmassivbauweise erbaute Block A auf. Der Unterschied ist generell jedoch mit 8 % zwischen dem Gesamtergebnis der Ökobilanz des Ziegelmassivbaus (Block A), mit dem höchsten Ergebnis, und des Porenbeton-Systembaus (Block B), mit dem niedrigsten Ergebnis, überraschenderweise sehr gering.

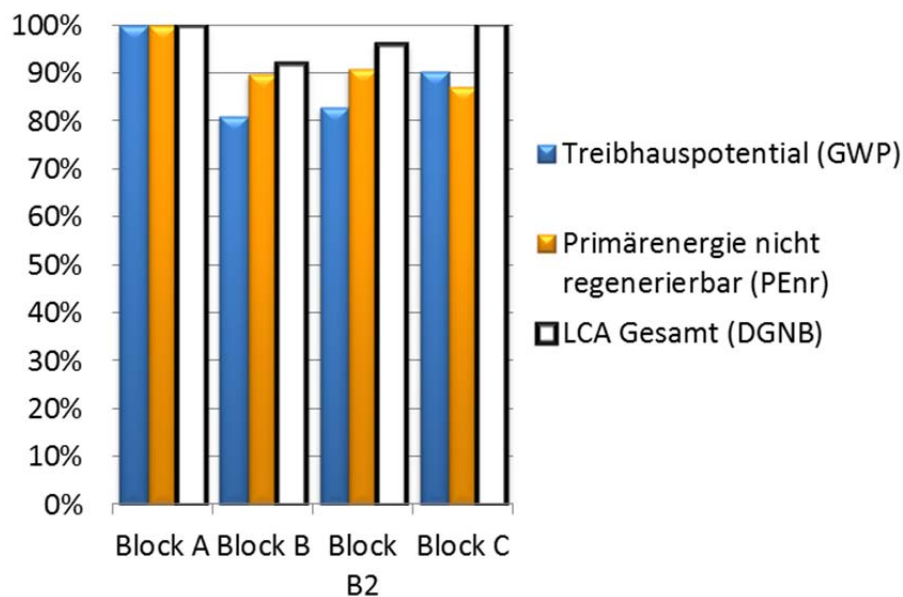


Abbildung 97: Das Gesamtergebnis der Ökobilanz und der Wirkungsindikatoren Treibhauspotential und Primärenergie nicht regenerierbar gewichtet nach den Bewertungsfaktoren der DGNB Kriterien. Darstellung der Blöcke B, B2 und C in Relation zu Block A (Obereder, 2013)

Einfluss des Lebenszyklus auf den nicht regenerierbaren Primärenergiebedarf:

Die Herstellungsphase hat den höchsten Anteil am nicht regenerierbaren Primärenergiebedarf. In der Instandhaltungsphase kommt ein deutlich geringerer Anteil am Gesamtergebnis zu tragen (ca. 9 kWh/(m²*a)) als in der Herstellungsphase. Die Betriebsenergie hat im Verhältnis zur Herstellungsphase einen um rund 66 % geringeren Anteil am Ergebnis. Maßgebend für das Endergebnis ist jedoch die End of Life Phase, die Vor- und Nachteile bestimmter Bauweisen ergeben sich fast ausschließlich durch Gutschriften der End of Life Prozesse. Das günstigste Ergebnis der Ökobilanz beim Faktor Primärenergiebedarf nicht regenerierbar weist der Block C auf, der in Holz-Strohleichtbauweise mit Stahlbetondecken bilanziert wurde. Im Verhältnis zur konventionellen Ziegelmassivbauweise (Block A) ist die Stroh-Holzbauweise (Block C) beim Wirkungsindikator Primärenergiebedarf nicht regenerierbar um ca 13 % und 7,8 kWh/(m²*a) besser.

Einfluss des Lebenszyklus auf das Treibhauspotential:

Beim Faktor Treibhauspotential hat die Phase der Herstellung und der Instandhaltung durchschnittlich den größten Anteil. Ausschlaggebend für das Gesamtergebnis ist jedoch die Herstellung. Die wesentlichsten Unterschiede zwischen den Bauweisen treten in der Herstellungsphase auf. Der Porenbeton-Systembau mit Massivholzdecken und EPS Dämmung (Block B) weist beim Gesamtergebnis des Faktors Treibhauspotential das um 3,8 kg CO₂ Äq./(m²*a) und 19 % vorteilhaftere Ergebnis als jenes des Ziegelmassivbaus (Block A) auf.

Einfluss der Betriebsenergie:

Da die Wohnhausanlage Amselgasse, Lasee mit Fernwärme von einem Stroh-Heizwerk betrieben wird, ist der Anteil der Betriebsenergie am Gesamtergebnis der Ökobilanz sehr gering. Auch im Verhältnis zu konventioneller Fernwärme liegt die ökologisch bewertete Betriebsenergie bei einem Stroh-Heizwerk auf einem extrem niedrigen Niveau, und leistet damit einen positiven Einfluss auf das Gesamtergebnis der Wirkungsindikatoren Primärenergiebedarf nicht regenerierbar und Treibhauspotential. Bei konventionellen Bauweisen ist die Betriebsenergie oft die maßgebende Phase eines Lebenszyklus, im Fall der Wohnhausanlage Amselgasse ist dies jedoch nicht der Fall.

Einfluss verschiedener Bauteile:

Den größten Anteil am Gesamtergebnis des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar und des Treibhauspotentials hat bei einer Betrachtung der Varianten nach Bauteilen die Bodenplatte. Diese ist jedoch nicht maßgebend für die Unterschiede in den Ergebnissen, weil sie bei allen Bauweisen gleich ausgeführt wird. Die Resultate werden grundlegend vom Aufbau der Geschossdecken, der Außenwände und des Dachs beeinflusst. Somit ist es besonders wichtig, die Kombination der Bauteile und Bauweisen zu hinterfragen. Die Porenbetonaußenwände der Blöcke B und B2, die an sich ähnlich bilanzieren wie die Ziegelmassivwand des Blocks A, schneiden durch die Kombination mit Holzdecken in Block B ökologisch betrachtet deutlich besser ab als die Ziegelmassivbauweise mit ihren Stahlbetondecken. Die Strohauswände des Blocks C, die alleine betrachtet ein ausgezeichnetes Ergebnis liefern, erscheinen wiederum bei der Betrachtung des Gebäudes über den gesamten Lebenszyklus durch ihre Stahlbetondecken nicht mehr so optimal.

Einfluss verschiedener Baustoffe und Materialgruppen:

Betrachtet man die Ergebnisse nach Materialgruppen, fällt auf, dass bei allen Bauweisen mineralische und biogene Materialien sowie Dämmstoffe den größten Einfluss auf das Gesamtergebnis haben. Die größten Unterschiede in den Ergebnissen der Ökobilanz des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar entstehen durch die Dämmstoffe und mineralische Materialien. Da als Dämmmaterial der Außenwände in Block C Strohdämmung zum Einsatz kommt erklären sich auch die günstigsten Ergebnisse des Holz-Strohleichtbaus (Block C) beim Primärenergiebedarf nicht regenerierbar. Der Faktor Treibhauspotential wird wiederum maßgeblich durch mineralische und biogene Baustoffe beeinflusst, was das gute Gesamtergebnis des Porenbeton-Systembaus mit Massivholzdecken (Block B) erklärt. Der günstige Wert des Faktors Treibhauspotential beim Block B lässt sich besonders auf die Massivholzdecken (biogenes Material) zurückführen.

7.3.2 Schlussfolgerungen aus der ökologischen Bewertung

Ökologische Wirkungsfaktoren und deren Aggregation für die DGNB-Zertifizierung

Eine kritische Reflexion der DGNB/ÖGNI Bewertungskriterien ist notwendig, wenn die Gesamtergebnisse der Wirkungsindikatoren über alle Phasen des Lebenszyklus betrachtet werden.

Die Ergebnisse der Ökobilanz führten zu einer Diskussion der Bedeutung einzelner Wirkungsfaktoren bzw. Ökoindikatoren. Beispielsweise liegt das Ozonabbaupotential von Variante B2 um 30 % höher als von Variante A und das Eutrophierungspotential von Variante C1 um rund 40 % höher als von Variante A. Durch diese „Ausreißer“ wird auch das aggregierte Gesamtergebnis der Ökobilanz für diese Varianten leicht verschlechtert. Sodass beispielsweise die Variante C1 mit Stroh-Holz-Leichtbau trotz rund 10 % niedrigeren Treibhausgasemissionen und 10 % niedrigerem nicht regenerierbaren Primärenergiebedarf in Summe beim aggregierten Ergebnis gleich gut abschneidet wie die konventionelle Ziegelbauweise (Variante A). Es stellt sich die Frage, ob es für die Zukunft überhaupt Sinn ergibt, alle Indikatoren zu berücksichtigen, wenn viele davon nicht unmittelbar für die Bewertung von nachhaltigen Gebäuden – oder überhaupt für die Bauwirtschaft – relevant sind. Es könnte zielführender sein, die Bewertung nach DGNB/ÖGNI zukünftig auf die bedeutendsten Indikatoren Primärenergiebedarf nicht regenerierbar und Treibhauspotential zu reduzieren oder die Gewichtungsfaktoren anzupassen.

Instandhaltung und Instandsetzung

Die Nutzungsdauer von Transportbeton ist im österreichischen Nutzungsdauerkatalog mit 40 Jahren angegeben und damit wurden diese Bauteilschichten (inkl. die daran verknüpften Bauteilschichten) innerhalb des Bilanzzeitraums von 50 Jahren als einmal ausgetauscht mitberücksichtigt, d.h. die Herstellung der instandgesetzten Bauteilschichten und die Entsorgung der alten Bauteilschichten wurde bilanziert. Es wurde intensiv diskutiert, ob dieser dadurch relativ hohe Aufwand für die Instandsetzung gerechtfertigt und praxisrelevant ist. Dies wurde ebenso für Dämmstoffe diskutiert. Die Nutzungsdauer von Mineralwolle-Trittschalldämmung ist mit 20 Jahren angegeben und damit wird diese Dämmung inklusive (!) aller darüber liegenden Schichten als zweimal ausgetauscht mitberücksichtigt. Die Wärmedämmung der Gebäudehülle ist meist mit 30 Jahren angegeben und wurde damit als einmal ausgetauscht mitberücksichtigt, obwohl diese Instandsetzungsmaßnahme in der Praxis meist durch Überdämmung der bestehenden Dämmschichten durchgeführt wird. Für die Weiterentwicklung der Bewertungsmethode ist eine praxisnahe Bewertung der Instandhaltung anzustreben. Für die bewerteten Bauweisen würde eine praxisnahe Beurteilung der Instandsetzung zu einer deutliche Verbesserung der absoluten Ergebnisse führen. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten würden jedoch nahezu gleich bleiben und damit die Ergebnisse dieser Studie kaum beeinflussen.

Gutschriften in EOL-Phase

Intensiv diskutiert wurde die Gutschrift an nicht regenerierbare Primärenergie für die konventionelle Ziegelbauweise (Variante A), die sich aufgrund der Gutschriften für die thermische Verwertung brennbarer Baustoffe ergibt. Bedenkt man die Endlichkeit der auf der Erde vorhandenen Ressourcen und versucht sich am Grundsatz der Nachhaltigkeit zu orientieren, um auch nachfolgenden Generationen ein uneingeschränktes Leben ohne Benachteiligungen zu ermöglichen, wäre es wünschenswert, so viele Ressourcen wie möglich wieder in den Materialkreislauf zurückzuführen. Dies scheint mit herkömmlichen Massivbauweisen nur schwer möglich. Für die Weiterentwicklung der Bewertungsmethoden

sind die Gutschriften für thermische Verwertung zu hinterfragen, also die Bilanzgrenzen exakt festzulegen.

Handlungsbedarf Herstellungsphase Treibhauspotential

In der Herstellungsphase herrscht Handlungsbedarf bei den Baustoffherstellern, ökologische günstigere Alternativen zu entwickeln. Beispielsweise zeigt der Vergleich der Ergebnisse für Porenbeton-Wärmedämmung (Variante B2) mit jenen für konventionelle Wärmedämmung aus EPS (Variante B) dass die Herstellungsphase teilweise höhere Werte für die Wirkungsindikatoren aufweist und die Gutschriften für die End-of-Life Phase geringer sind.

Empfehlung für zukünftige Mehrfamilienhausprojekte

Die Bewertung zeigte, dass keine der ursprünglich geplanten Bauweisen (Varianten A, B und C) klare ökologische Vorteile aufweist, da die Unterschiede der aggregierten Gesamtergebnisse kleiner als 10 % liegen. Im Vergleich zur konventionellen Ziegelbauweise (Variante A) zeigt sich für den Indikator Primärenergie nicht erneuerbar ein Verbesserungspotenzial von rund 10 % gleichermaßen durch Porenbeton-Systembauweise (Variante B und B2) und Holz-Stroh-Bauweise (Variante C). Für den Indikator Treibhauspotential zeigt sich ein Verbesserungspotenzial von rund 20 % für Porenbeton-Systembauweise (Variante B) und von rund 10 % für Holz-Stroh-Bauweise (Variante C). Die Weiterentwicklung der Variante B2 mit Porenbetondämmung (Mineralschaumplatten) anstatt EPS-Dämmung zeigt für die betrachteten Indikatoren geringfügig ungünstigere Werte.

Es besteht jedoch weiteres Optimierungspotenzial, welches auch im Zuge der Kostenoptimierung mit zusätzlichen Varianten für Block C untersucht wurde. Die Weiterentwicklung der Variante mit einer reinen Holz-Stroh-Konstruktion (ohne tragende Stahlkonstruktion) und Massivholzdecken für Zwischendecke und Dach (Variante C2) ergibt in Summe die günstigsten Werte, wie folgende Abbildung zeigt. Der nicht regenerierbare Primärenergiebedarf kann um rund 20 % reduziert werden und die Treibhausgasemissionen können um rund 25 % reduziert werden.

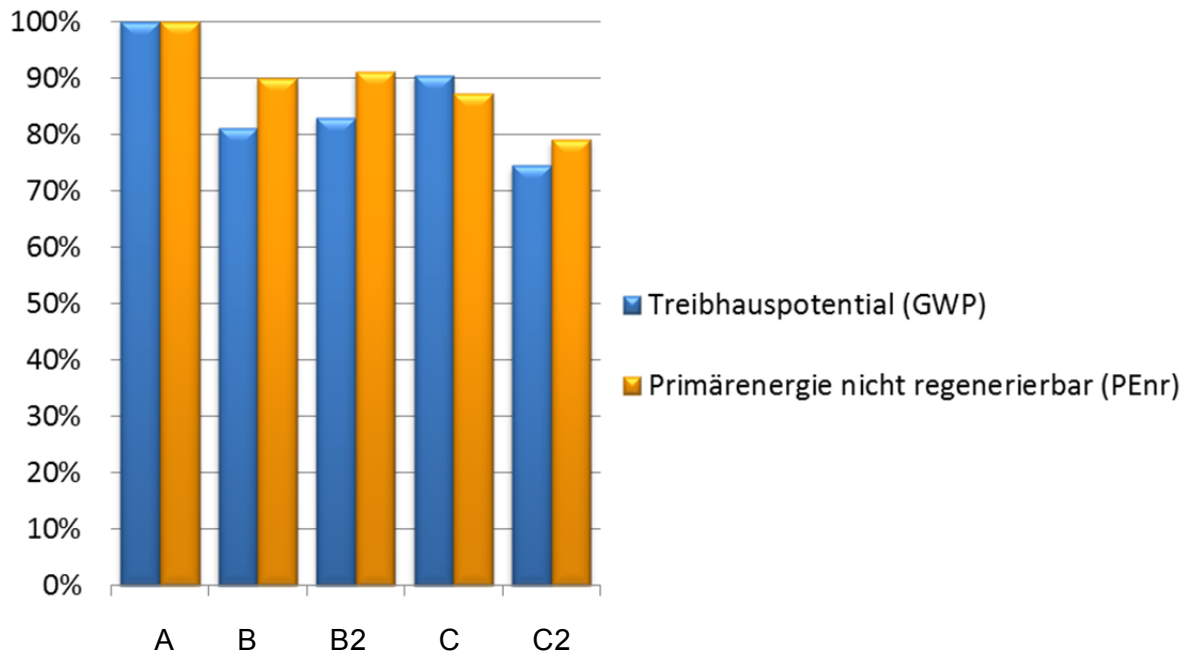


Abbildung 98: Treibhauspotential und nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf für Variante A, B, B2, C und C2 (Obereder, 2013)

Die wesentliche Schlussfolgerung, die aus der Ökobilanzierung gezogen werden konnte, war, dass immer die Gebäude als Ganzes betrachtet werden müssen, um Ökobilanzen zu optimieren. Eine Analyse – nicht nur über den gesamten Lebenszyklus, sondern auch über alle Bauteile und Materialien – ermöglicht eine Verbesserung und Nutzungssteigerung für zukünftige Projekte.

8 Kostenanalyse

Die Rohdaten für die Kostenanalyse wurden von Treberspurg und Partner Architekten zusammengestellt.

Die Kostenanalyse umfasst:

- Kosten pro m² Wohnnutzfläche
- Basierend auf Planstand A, 2012 mit 419 m² WNF für Block A, 412 m² WNF für Block B, 421 m² WNF für Block C. Dieser Planstand wurde auch für die Ökobilanz der Gebäudeherangezogen.
- Umsatzsteuer und etwaige Skonto-Abzüge (in der Praxis meist 3 %) wurden nicht berücksichtigt.
- Preisbasis: 2. Quartal 2012
- Bauwerkskosten umfassen die Kostengruppen Bauwerk-Rohbau und Bauwerk-Ausbau gemäß ÖNORM B 1801-1.
- Exkl. Bauwerk-Technik, Außenanlagen
- Exkl. Planungskosten
- Inkl. Baugruben, Gründung, Aufschließung, Baustellengemeinkosten (diese Kosten sind in den Angeboten der Baumeister enthalten)

Kosten der drei unterschiedlichen Bauweisen – Zusammenfassung Bestbieter

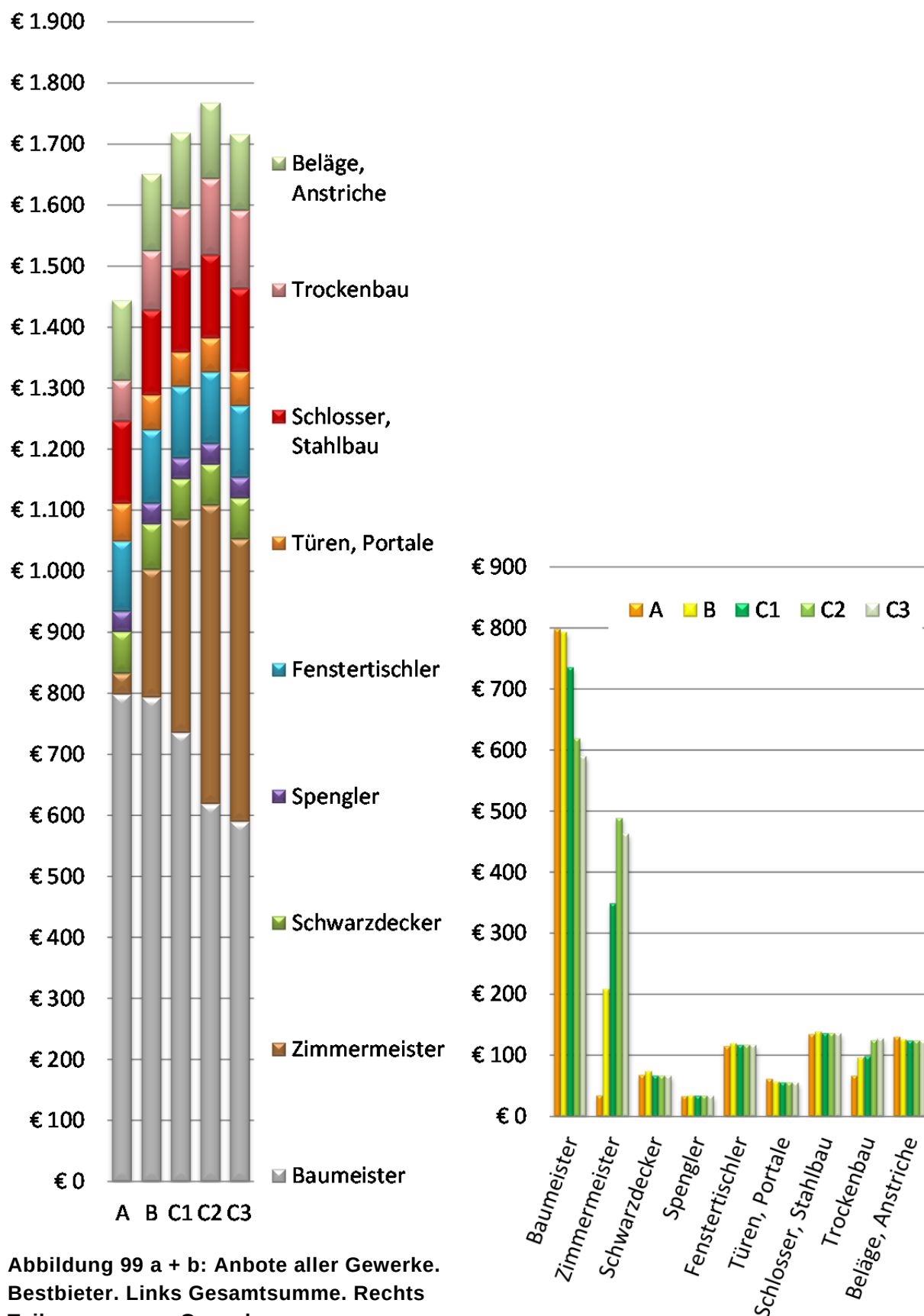


Abbildung 99 a + b: Angebote aller Gewerke. Bestbieter. Links Gesamtsumme. Rechts Teilsummen pro Gewerk

Ergebnisse der Kostenanalyse der einzelnen Gewerke:

- Baumeister verursacht hohe Kosten, auch für Block B und Block C (C1)
- Variante C1: Zimmermeister mit bedeutendem Anteil (20%) aber Anteil Baumeister deutlich höher (43%). Die Kosten für die tragende Stahlkonstruktion der Außenwände sind bei den Leistungsgruppen für Zimmermeister enthalten (siehe folgende Abbildungen). Daher ergibt sich beim Gewerk „Schlosser – Stahlbau“ kein Unterschied bei den einzelnen Varianten.
- Kleine Unterschiede bei Trockenbau
- Alle anderen Gewerken gleich hoch
- Problem Überschreitung der wirtschaftlich zumutbaren Kosten

Detaillierte Analyse der Kosten der wichtigsten Leistungsgruppen

Im Folgenden wurden die Anteile der Leistungsgruppen der wichtigsten Gewerke - Baumeister und Zimmermeister – analysiert.

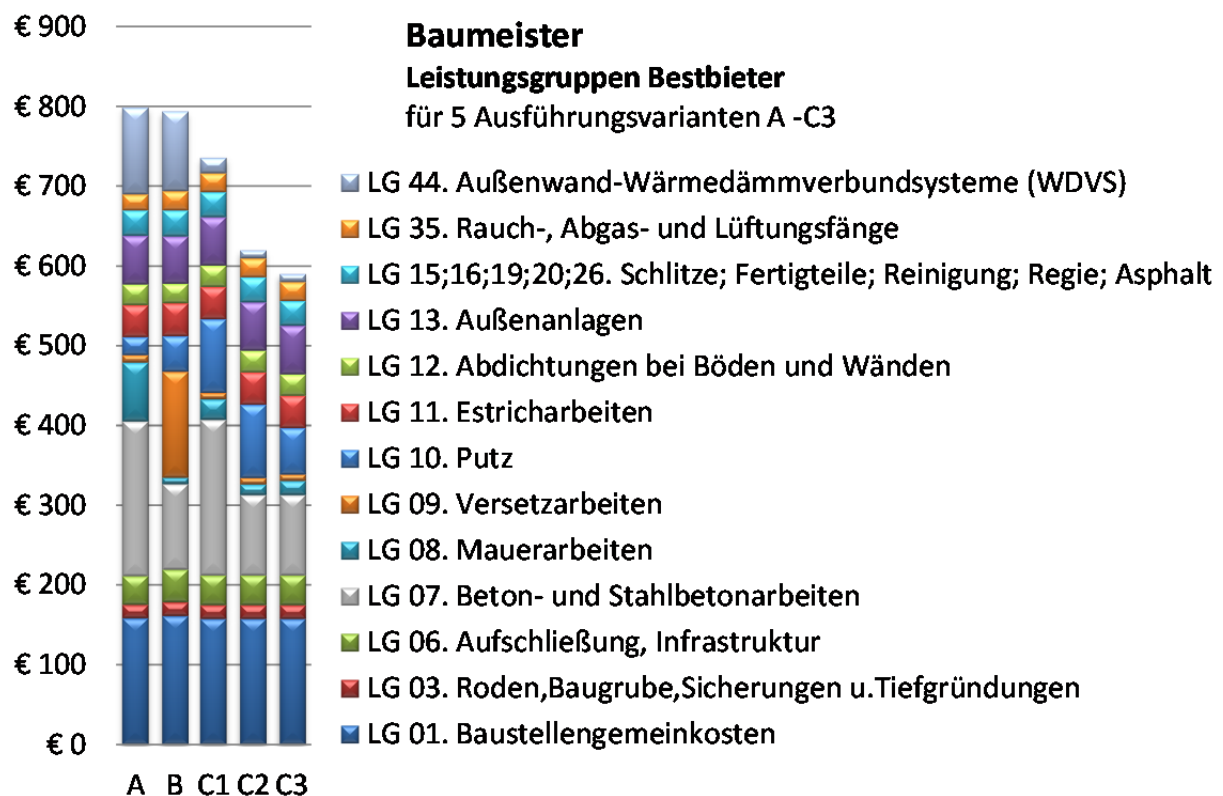


Abbildung 100: Kostenanalyse Bestbieter Baumeister

Ergebnisse der Kostenanalyse Baumeister

- Block C – Variante C1: LG 07 Beton- und Stahlbetonarbeiten haben den größten Anteil (rund 25 %) und liegen gleich hoch wie bei Block A. Daher wurden in weiterer Folge Alternativen für Block C entwickelt: Variante C2 und C3.
- Block B: Durch höheren Aufwand an Versetzarbeiten sind Einsparungen bei Beton- und Stahlbetonarbeiten sowie Putzarbeiten gänzlich kompensiert
- Block C: Einsparung Kosten WDVS, jedoch höhere Kosten für Putzarbeiten

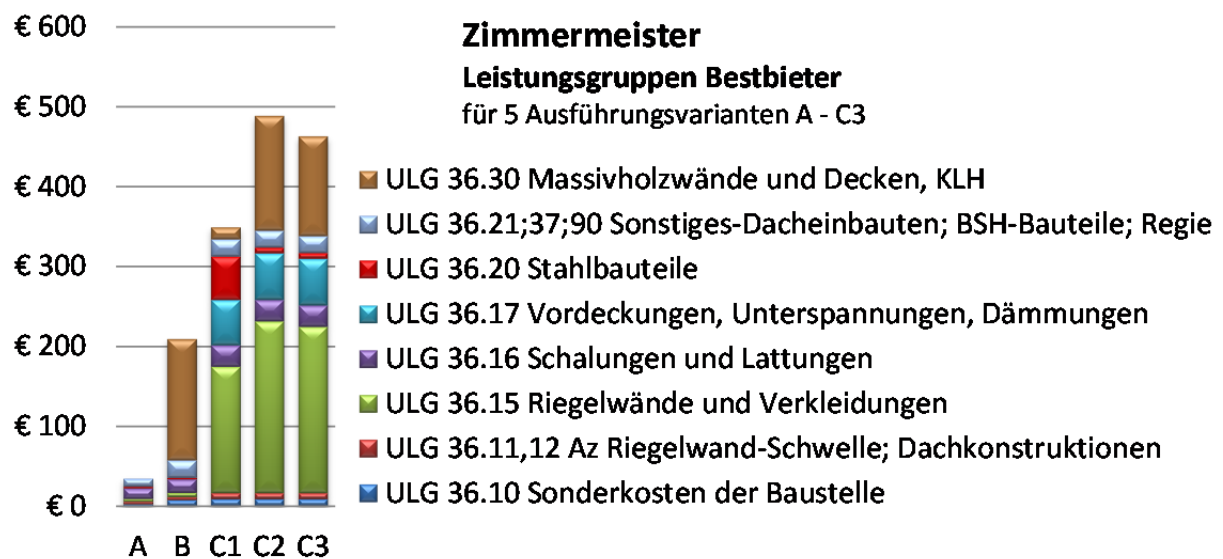


Abbildung 101: Kostenanalyse Bestbieter Zimmermeister

Ergebnisse der Kostenanalyse Zimmermeister

- Block B weist durch die Holzmassivdecken einen vergleichsweise hohen Kostenanteil auf.
- Block C – Variante C1: Größter Kostenanteil liegt bei den Stroh-Holz-Riegelwänden, (und liegt auf ähnlichem Niveau wie die Holzmassivdecken von Block B). Die Kosten für die tragende Stahlkonstruktion der Außenwände sind bei den Leistungsgruppen für Zimmermeister enthalten. Es besteht auch ein relevanter Kostenanteil für ULG 36.17 „Vordeckungen, Unterspannungen, Dämmungen“ bei Varianten C1 bis C3.
- Die Alternativen für Block C (Variante C1) reduzieren den Kostenanteil der Baumeister indem die Wand- und Deckenkonstruktionen in Holzbauweise vorgesehen werden. Variante C2 mit Holzmassivdecken verursacht die höchsten Kosten. Variante C3 und Holztramdecken reduziert die Zimmermeisterkosten geringfügig.

Es wurde der Frage nachgegangen, ob eine höhere Wirtschaftlichkeit durch eine höhere Konkurrenz im Bereich der Zimmermeister erreichbar ist. Dazu wurden die Angebote der Zimmermeister verglichen.

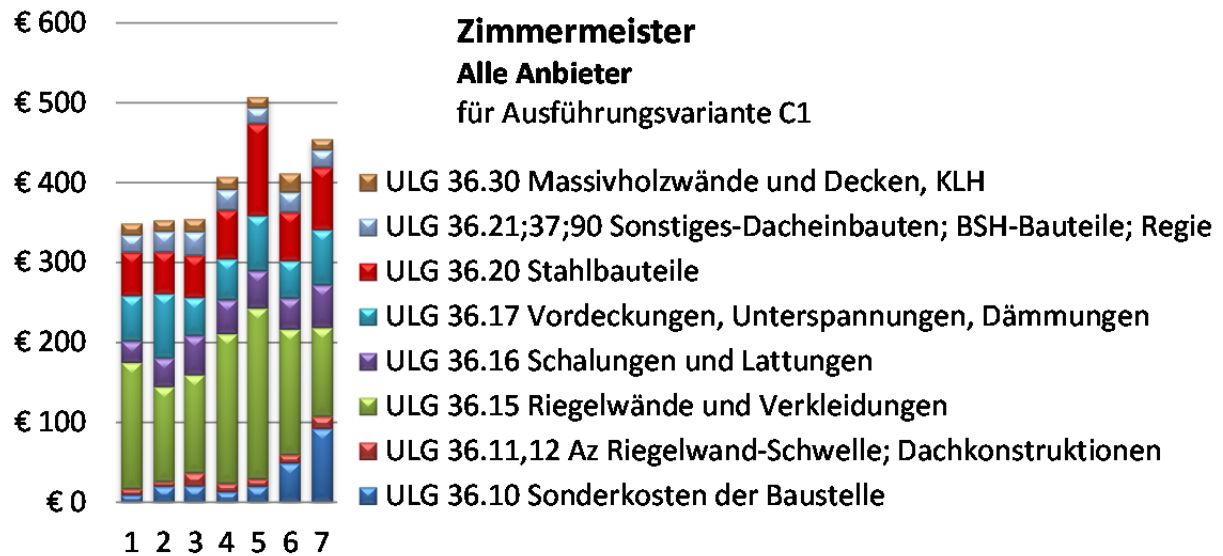


Abbildung 102: Kostenanalyse aller Angebote für Zimmermeisterarbeiten

Ergebnisse des Anbotvergleichs der Zimmermeister für Variante C1:

- Größte Spanne bei Riegelwänden 111-214 €/m²WNF. Teilweise lagen sehr günstige Angebote für den Leistungsteil Riegelwände vor, die auch deutlich günstiger als im Angebot des Billigstbieters lagen. Jedoch wurden in diesen Fällen die Kosten anderer – damit verknüpfter – Leistungsgruppen (z.B. Sonderkonstruktionen) relativ hoch eingeschätzt.
- Die Kosten für die tragende Stahlkonstruktion der Außenwände wiesen eine hohe Spanne auf und wurden teilweise relativ hoch angeboten.

Zusammenfassung der Kostenanalyse

Die Kostenanalyse zeigte deutliche Mehrkosten der Holz-Stroh-Bauweise von 275 €/m² im Vergleich zur konventionellen Ziegel-Stahlbeton-Massivbauweise. Auch die zweite Variante einer ressourcenschonenden Bauweise - mit Porenbeton und Massivholzdecken - zeigte deutliche Mehrkosten von 208 €/m².

Der Großteil der analysierten Kosten betrifft Baumeisterarbeiten, welche für die drei zu Beginn untersuchten Hauptvarianten rund 740 bis 800 €/m². Das heißt, dass die ressourcenschonenderen Alternativen, den dominierenden Kostenanteil der Baumeisterarbeiten nicht reduzieren konnten, aber dass durch den zusätzlichen Kostenaufwand für Zimmermeisterarbeiten die Gesamtkosten stiegen. Für die Alternativvarianten lagen die Zimmermeisterkosten bei rund 210 €/m² für Porenbeton (Variante B) und bei rund 350 €/m² für Stroh-Holzbau (Variante C1).

Die restlichen Gewerke hatten keine relevanten Auswirkungen auf die Baukosten, bis auf die Trockenbauarbeiten die bei den Alternativvarianten um rund 30 €/m² höhere Kosten aufwiesen.

Es bestand die Vermutung, dass die höheren Kosten der Holz-Strohbau-Varianten auch durch die Mischung verschiedener Bauweisen bedingt waren. In Variante C1 werden die Holz-Stroh-Leichtbauelemente durch eine Stahlkonstruktion unterstützt (diese ist bei den Zimmermeisterarbeiten inkludiert) um die vom Bauherrn angestrebten Stahlbetondecken zu tragen. In der weiteren Planung wurden durch die Varianten C2 und die weiter optimierte Variante C3 eine geringere Mischung der Leistungen von Baumeister und Zimmermeister angestrebt. Die Stahlbetondecken wurden durch Holzdecken ersetzt und die Stahlkonstruktion sowie Installationsebenen wurden eingespart.

Dadurch konnten die Baumeisterkosten um 120 €/m² (Variante C2) bis 150 €/m² (Variante C3) reduziert werden. Dafür stieg jedoch der Anteil der Zimmermannskosten um 140 €/m² (Variante C2) bis 110 €/m² (Variante C3). Auch der Kostenanteil für Trockenbauarbeiten stieg um rund 30 €/m² da aus Brandschutzgründen eine abgehängte Decke einkalkuliert wurde. Dadurch konnte auch durch die weiter optimierte Variante C3 mit hohem Zimmermeisteranteil insgesamt keine Kostenreduktion im Vergleich zur Variante C1 (stärkere Mischung der Bauweisen) erreicht werden.

Aufgrund der Ergebnisse der Detailplanung und der Gespräche mit Holzbauunternehmen besteht die Vermutung, dass eine weitere Kostenoptimierung durch verstärkte Vorfertigung vereinfachter Bauteilmodule besteht, wobei hier jedoch durch die gegenwärtig üblichen Fertigungsprozesse noch Hemmnisse bestehen, beispielsweise hinsichtlich Wandstärken.

9 Literaturverzeichnis

ADENSAM, H., BREINESBERGER, J., STARIBACHER, M., HILLER, S., UNFRIED, G., SCHWARZMÜLLER, E., HEGEDYS, H., FROSCHE, V., GANGLBERGER, E. (2005) *Stroh kompakt - Fabrik der Zukunft als regionales Produktionsnetzwerk auf Basis nachwachsender Rohstoffe anhand eines Pilotprojektes im Bereich Dämmstoffe, Berichte aus der Energie- und Umweltforschung 8/2005*, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien

BMUB (2009) *Ökobaudat Version 2009*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Referat Bauingenieurwesen, Nachhaltiges Bauen, Bauforschung. <http://www.oekobaudat.de>. Berlin.

BMUB (2014) *Leitfaden Nachhaltiges Bauen*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Referat Bauingenieurwesen, Nachhaltiges Bauen, Bauforschung. <http://www.nachhaltigesbauen.de>. Berlin.

DIBT (2014) *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung. Wärmedämmstoff aus Strohballen „Baustroh“*. Zulassungsnummer Z-23.11-1595. Gültig bis 01.02.2019. Deutsches Institut für Bautechnik. 03.06.2014, Berlin

DIBT (2009) *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung. Wärmedämmstoff aus Strohballen „Baustroh“*. Zulassungsnummer Z-23.11-1595. Gültig bis 31.01.2014. Deutsches Institut für Bautechnik. 03.06.2014, Berlin

ECKER, K. (2013) *Ökologisierung des Bauens – Zukunftsfähigkeit innovativer Strohbausysteme*. Masterarbeit. TU Wien

EDER, G., AUSTRIAN BIOENERGY CENTRE (2007) *Situation der Strohverbrennung in Österreich*. Austrian Bioenergy Centre, Wieselburg, Österreich

FIW (2003) *Prüfbericht Nr: F.2-430/03. Wärmeleitfähigkeit nach DIN 52612*, Forschungsinstitut für Wärmeschutz, 02.05.2003, München

GRAMMANITSCH, K. (2008) *Präsentation Lassee. Euregio Ökopark Lassee*. Veranstaltung „Lebendiger Boden“ in Mistelbach, 08.10.2008. Vortrag Grammanitsch, Bürgermeister von Lassee. www.unserboden.at/files/lassee_grammanitsch.pdf. Abgerufen am 29.04.2013.

GRAT, ASBN, UNGER, J. (2001) *Stroh als Baustoff – Zu schade zum Verheizen!*, Tagungsband Strohbau Symposium, Illmitz

GRAT, GLOBAL 2000, (2005) *Thermisches Sanieren mit Stroh, Erfahrungen und Entwicklungsbedarf*, Symposium, Endbericht, Gruppe angepasste Technologie an der TU Wien, Böheimkirchen

GRUBER, H., GRUBER, A. (2008) *Bauen mit Stroh*. ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg

GRUBER, H., GRUBER, A., SANTLER, H. (2012) *Neues Bauen mit Stroh in Europa*, Ökobuch Verlag, 4. Auflage, Staufen bei Freiburg

GRUBER, H., SANTLER, H. (2012), *Strohbau konkret – Virtuelle Baustelle, Ausstellung und Schulungsunterlagen*. asbn (austrian strawbale network, Österreichisches Netzwerk für Strohballenbau). Berichte aus Energie- und Umweltforschung 53/2012. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien

- GUARNERI, A. B. (Hrsg.) (2013) *Werner Schmidt. Architekt: Ecology Craft Invention / Ökologie Handwerk Erfindung*. Birkhäuser
- HAAGE, H. (2008) *Wandkonstruktionen mit Strohballen, Eine wirtschaftlich - ökologische Studie zum Einsatz von Strohballen in Passivhauswandsystemen*, Verlag Dr. Müller, Saarbrücken
- HANSEN, H., WARMUTH, E., WARMUTH, A. (2004) *Bau-Strohballen aus der Landwirtschaft*, Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V., Altmark
- HOLZMANN, G., WANGELIN, M. (2009) *Natürliche und pflanzliche Baustoffe*, Vieweg und Teubner, Wiesbaden
- KRICK, B. (2008) *Untersuchung von Strohballen und Strohballenkonstruktionen hinsichtlich ihrer Anwendung für ein energiesparendes Bauen unter besonderer Berücksichtigung der lasttragenden Bauweise*, Dissertation, Kassel University Press, Kassel
- LACINSKI, P., BERGERON, M. (2000) *Serious Straw Bale: A Home Construction Guide for All Climates*. *Real Goods Solar Living Book*, Published by U.S.A.: Chelsea Green Publishing
- MEINGAST, R. (2005) *Lehm-Passiv Bürohaus Tattendorf*. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 29/2005. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien
- MINKE, G., KRICK, B. (2009) *Handbuch Strohballenbau, Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele*, Ökobuch Verlag, 2. Auflage, Staufen bei Freiburg
- OBEREDER, N. (2013) *Vergleich der Ökobilanzen verschiedener Bauweisen am Beispiel der Wohnhausanlage Amselgasse, Lasse*. Masterarbeit. BOKU Wien, 2013
- OIB (2010) *Europäische Technische Zulassung ETA-10/0023. Waldland Baustrohballen*. Gültig bis 11.04.2015. Dokument OIB-260-007/01, Wien
- ON V 31 (2001) *Katalog für wärmeschutztechnische Rechenwerte von Baustoffen und Bauteilen*. Austrian Standards Institute, Wien
- ÖNORM B 1801-1 (2009) *Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 1: Objekterrichtung*
- ÖNORM B 3800-2 (1997) *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Bauteile: Begriffsbestimmungen, Anforderungen, Prüfungen*. Zurückziehung: 2004 01 01
- ÖNORM B 8110-2 (2003) *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz*
- ÖNORM B 8110-7 (2013) *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 7: Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte*
- ÖNORM EN 15643-1 (2010) *Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden - Teil 1: Allgemeine Rahmenbedingungen*.
- ÖNORM EN 15643-2 (2011) *Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden - Teil 2: Rahmenbedingungen für die Bewertung der umweltbezogenen Qualität*.
- ÖNORM EN 15978 (2012) *Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode*.
- ÖNORM EN ISO 14040 (2009) *Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmen*.

ÖNORM EN ISO 14044 (2006) *Umweltmanagement – Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen*.

PASTEINER, C. (2013) *Nachhaltiges Bauen mit Dämmmaterialien auf Basis nachwachsender Rohstoffe*. Masterarbeit. BOKU Wien

PAYERL, G. (2013) Schriftliche Mitteilung betreffend Porenbeton Daten. 02. April 2013.

POKORNY, W. (2000) *Rechtliche Rahmenbedingungen für den Strohballenbau in Österreich. Sammlung und Kommentierung relevanter Vorschriften aus technischer Sicht*. Im Auftrag von Global 2000 Österreich, Wien

STATISTIK AUSTRIA (2006) *Bruttoinlandsverbrauch Bioenergie*, Verlag Österreich GmbH, Wien

STATISTIK AUSTRIA (2011) *Statistik der Landwirtschaft 2010*, Verlag Österreich GmbH, Wien

STATISTIK AUSTRIA (2013) *Ackerflächen 2012: Brotgetreide – Weichweizen und Dinkel nach Gemeinden*. http://www.statistik.at/web_de/static/ackerflaechen_2012_brotgetreide_-_weichweizen_und_dinkel_nach_gemeinden_031486.gif, Abgerufen 24.10.2013

SV LV STMK-KTN (2006) *Nutzungsdauerkatalog*. Sachverständigen Landesverband Steiermark und Kärnten. Graz

TREBERSPURG, M. (1999) *Neues Bauen mit der Sonne*. Springer-Verlag, Wien.

WAGNER, W., MAUTHNER, F. (2008) *Energietechnische und Baubiologische Begleituntersuchung der Bauprojekte – Berichtsteil Lehm-Bürogebäude Tattendorf*. Impulsprogramm „Nachhaltig:Wirtschaften - Haus der Zukunft“ des bmvit. Wien

WALDLAND (2011) *Waldland Baustrohballen. Die ersten zertifizierten Baustrohballen Europas*, Flyer. www.waldland.at, Friedersbach

WALDLAND (2015) *Produktspezifikationen Strohdämmung*. Waldland Naturstoffe GmbH. http://www.waldland.at/de/waldviertler_flachshaus/strohdaemmung/produktspezifikation/. Abgerufen am 28.02.2015

WIMMER, R., HOHENSINNER, H., JANISCH, DRACK, M. (2001a) *Wandsysteme aus nachwachsenden Rohstoffen – Wirtschaftsbezogene Grundlagenstudie*. GRAT (Gruppe angepasste Technologie TU Wien), IBO, asbn, Stroh Tec. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien

WIMMER, R., JANISCH, L., HOHENSINNER, H., DRACK, M., PIRINGER, M., BERGER, T., ZELGER, T. (2001b) *Fördernde und hemmende Faktoren für den Einsatz Nachwachsender Rohstoffe im Bauwesen. Grundlagenstudie*. Impulsprogramm „Nachhaltig:Wirtschaften - Haus der Zukunft“ des bmvit. Wien

WIMMER, R., HOHENSINNER, H., DRACK, M. (2006) *S-House - Innovative Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen am Beispiel eines Büro- und Ausstellungsgebäudes*. Impulsprogramm „Nachhaltig:Wirtschaften - Haus der Zukunft“ des bmvit. Wien

WIMMER, R., HOHENSINNER, H., EIKEMEIER, S. (2011) *Stroh-Cert, Zertifizierung, Logistik und Qualitätsmanagement für den Strohballenbau*, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 36/2011, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien

WURM, M. (2013) Schriftliche Mitteilung betreffend Ökokennzahlen von Strohballen. IBO GmbH. 26. März 2013.

XELLA (2013) *YTONG Porenbeton*. Xella Porenbeton Österreich GmbH, abgerufen am 21. März 2013. http://www.ytong.at/de/content/ytong_porenbeton_1274.php.

XELLA (o.J.) *Produkte: Multipor Innendämmung*. Xella Porenbeton Österreich GmbH, abgerufen am 18. April 2013. http://www.ytong.at/de/content/multipor_innendaemmung_1223.php.

XELLA (o.J.) *Referenzen: Einfamilienhaus im Passivhausstandard Horitschon*. Xella Porenbeton Österreich GmbH, abgerufen am 23. April 2013. http://www.ytong.at/de/content/einfamilienhaus_im_passivhausstandard_1431.php.

XELLA (o.J.) *Referenzen: Kindergarten mit Kleinkindergruppe in Loosdorf*. Xella Porenbeton Österreich GmbH, abgerufen am 18. April 2013. http://www.ytong.at/de/content/kindergarten_mit_kleinkindergruppe_in_loosdorf_1428.php.

XELLA (o.J.) *Referenzen: Museum am Bergisel*. Xella Porenbeton Österreich GmbH, abgerufen am 18. April 2013. <http://www.ytong.at/de/content/referenzen-ytong-multipor-museum-am-bergisel.php>.

10 Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anforderungen an Materialien, Gebäude und Prozesse	10
Tabelle 2: Projektmatrix - Aufgaben, Arbeitsschritte, geplante Ergebnisse und deren Verwertung	11
Tabelle 3: Kenngrößen und Preise (inkl. MwSt. und Lohnproduktion) für HD – Ballenpressen. Ebenso Stückpreise von Ballenformaten, die je nach Quelle sehr unterschiedlich sind. (Krick, B., 2008)	23
Tabelle 4: Kenngrößen und Preise (inkl. MwSt. und Lohnproduktion) von Q-Ballenpressen und deren Ballen (Krick, B., 2008)	23
Tabelle 5: Technische Eigenschaften von Waldland Baustrohballen (Waldland, 2015).....	33
Tabelle 6: Messkriterien zur Qualitätssicherung, (Wimmer et al., 2001a) Die angeführten Prüfkategorien und die zugehörigen Messgeräte sind ein wesentliches Instrumentarium zur Qualitätssicherung.	35
Tabelle 7: Kenngrößen des Baustoffes Strohballen, wie Wärmeleitfähigkeit, Diffusionswiderstand, Brennbarkeitsklasse, Dichte, spezifische Wärmekapazität und Elastizitätsmodul ermöglichen eine Überprüfung und Einhaltung von Qualitätskriterien. Aus: Wimmer et al., 2001a	45
Tabelle 8: Technische Kennwerte von Baustrohballen für die Berechnungsgrundlage der Stroh befüllten Wandaufbauten. (Wimmer et al., 2001a)	46
Tabelle 9: Maßnahmen zur Vermeidung von Feuchteintrag. Aus: GraT et al., 2001.....	47
Tabelle 10: Technische Daten der Lopas-Bauteile (Lopas Kundenfolder 2013, www.lopas.ag).....	62
Tabelle 11: Flächen der Thermischen Gebäudehülle (Datenquelle: Energieausweis 05.08.2011, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH)	88
Tabelle 12: Vergleich Außenwandfläche/Fensterfläche (Datenquelle: Energieausweis 05.08.2011, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH)	88
Tabelle 13: Gebäudedaten der Blöcke A,B und C lt. Energieausweis (Brutto-Grundfläche, Kompaktheit, mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient).....	91
Tabelle 14: Wärme- und Energiebedarf der Blöcke A,B und C lt. Energieausweis	91
Tabelle 15: Varianten für die Außenwandkonstruktion von Block C	98
Tabelle 16: Varianten für die Konstruktion der Zwischendecke von Block C.....	99
Tabelle 17: Varianten für die Konstruktion der obersten Geschoßdecke von Block C	99
Tabelle 18: Vergleich signifikanter Wandbauteile	100
Tabelle 19: Vergleich signifikanter Deckenbauteile	101
Tabelle 20: Überblick über die relevantesten Bauteile der verglichenen Bauweisen	119
Tabelle 21: Übersicht über die rechnerischen Ergebnisse der maßgebenden Faktoren Primärenergiebedarf nicht regenerierbar und Treibhauspotential (Obereder, 2013)	123

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Diagramm zu den Erntekurven für Weizen, Gerste, Roggen und Hafer von 1996 bis 2010 (in 100.000 Tonnen). Statistik Austria, 2010.....	15
Abbildung 2: Strohaufkommen in Österreich 2012. (Statistik Austria, 2013).....	16
Abbildung 3: Anbauflächen und deren Strohertrag in Österreich im Zeitraum von 1980 bis 2007. Der Strohertrag geht tendenziös zurück, trotzdem ist bis dato noch immer mit einer hohen Verfügbarkeit des Stroh zu rechnen. (Eder et al., 2007)	16
Abbildung 4: Agrarische Produktionswerte und das Verhältnis zu pflanzlicher (grüne Darstellung) und tierischer Erzeugung (rote Darstellung). (Statistik Austria, 2011).....	18

Abbildung 5: Ackerlandnutzung nach Bundesländern 2010, (Statistik Austria, 2011)	19
Abbildung 6: Bruttoinlandsverbrauch Bioenergie 2005. (Statistik Austria, 2006)	19
Abbildung 7: Unterteilung des Einsatzes von Getreidestroh (Ecker, 2013).....	20
Abbildung 8: Strohballenabmessungen (Lacinski, Bergeron, 2000) übernommen in (Minke & Krick, 2009)	30
Abbildung 9: Zertifizierter Baustrohballen in optimaler Wärmedämmrichtung hergestellt Zinner, G., Almeder, R., 2013. Stroh als Baustoff. http://www.waldland.at/de/waldviertler_flachshaus/ . Abgerufen am 16.1.2013	31
Abbildung 10: Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit der Halmrichtung. Die Wärmeübertragung findet durch Konvektion, Transmission und Strahlung statt. Der Wärmefluss durch Transmission und Strahlung wird bei der querliegenden Halmrichtung am meisten gehindert. Diese Einbauart verbessert den λ -Wert rechnerisch um 35%. (Krick, 2008).....	32
Abbildung 11: Waldland Baustrohballen Standard (Waldland, 2011)	32
Abbildung 12: Zulässige feuchtetechnische Kennwerte für hinterlüftete Außenwände	48
Abbildung 13: Zulässige feuchtetechnische Kennwerte für frei bewitterte, verputzte Außenwände	49
Abbildung 14: Zulässige feuchtetechnische Kennwerte hinterlüftete Dachkonstruktionen.....	49
Abbildung 15: Herstellung der zertifizierten Strohballenwände (www.systemhausbau.at / Kreativer Holzbau GmbH)	52
Abbildung 16: Wohnhaus Mautern mit fertiggestellter Fassade und Überdachung des Eingangsbereichs (www.systemhausbau.at / Kreativer Holzbau GmbH)	53
Abbildung 17: Anlieferung eines Deckenelements(li), Montage von Wandelementen (re) (Kreativer Holzbau GmbH)	53
Abbildung 18: Abgeschlossene Montage der Außenhülle, Baukörper links mit luftdicht verklebten Fugen (Kreativer Holzbau GmbH)	54
Abbildung 19: Flachdach mit Kiesschüttung, hinterlüftete Holzfassade mit Nut-Feder-Schalung (Kreativer Holzbau GmbH).....	54
Abbildung 20: Aufbau Außenwand S-House (Wimmer et al., 2006).....	55
Abbildung 21: S-House nach Fertigstellung 2005 (Wimmer et al., 2006).....	56
Abbildung 22: Lehm-Passivhaus. Büro- und Ausstellungsgebäude der Firma Lopas in Tattendorf (Meingast, 2005)	57
Abbildung 23: Außenwand Stroh-Holz-Leichtbaukonstruktion. Links: Vorfertigung der wärmebrückenreduzierten Wandelemente. Rechts: Befüllung der Wandelemente mit Strohballen (Meingast, 2005).....	58
Abbildung 24: Montage der vorgefertigten Holz-Stroh-Elemente (Architekturbüro Reinberg ZT GmbH)	59
Abbildung 25: Grundriss und Ansicht des Bürogebäudes Tattendorf (Architekturbüro Reinberg ZT GmbH).....	60
Abbildung 26: LOPAS Systemaufbau (http://www.lopas.ag/)	61
Abbildung 27: Reihenhaus Wohnhausanlage Maria Anzbach, Co-Housing Projekt. Architektur: Atos Architekten. Fotos: www.lopas.ag	63
Abbildung 28: Grundriss Erdgeschoß. Reihenhaus Wohnhausanlage Maria Anzbach, Co-Housing Projekt. Architektur: Atos Architekten. Übernommen aus: http://neu.atos.at/241-co-housing-maria-anzbach/	64
Abbildung 29: Südansicht des Zubaus (DI Ingomar Reumiller)	66
Abbildung 30: GR Obergeschoß (DI Ingomar Reumiller).....	67
Abbildung 31: GR Dachgeschoß (DI Ingomar Reumiller)	67
Abbildung 32: Längsschnitt (DI Ingomar Reumiller).....	68
Abbildung 33: Querschnitt durch den Neubau (DI Ingomar Reumiller).....	68
Abbildung 34: Bauteilaufbauten Quelle: Energieausweis, DI Erich Reiner	69

Abbildung 35: Links: Pressung der Strohballen. Rechts: Die Strohballen wurden folienverpackt auf die Baustelle geliefert und vor Ort eingebracht. (DI Ingomar Reumiller).....	70
Abbildung 36: Die Außenwände wurden inklusive der Dämmung aus Strohballen vorgefertigt. (DI Ingomar Reumiller)	70
Abbildung 37: Montage vorgefertigter Holz-Stroh-Wandelemente (DI Ingomar Reumiller).....	70
Abbildung 38: Visualisierung der Herstellung des Baustoffs Porenbeton (Xella, o.J.).....	71
Abbildung 39: Bauweise Porenbeton: Ytong Stein (Xella, o.J.)	72
Abbildung 40: Kindergarten Loosdorf (Xella, o.J.)	72
Abbildung 41: Einfamilienhaus im Passivhausstandard, Erbauungsphase (Xella, o.J.).....	73
Abbildung 42: Ytong Thermoblock 30 cm (Xella, o.J.)	73
Abbildung 43: Beispiel für Innendämmung mit Multipor: Bergisel Museum (Xella, o.J.)	74
Abbildung 44: Multipor Dämmplatten (Xella, o.J.).....	74
Abbildung 45: Wohnhausanlage Lasee-Schönfeld. Lageplan und Perspektiven. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2008)	75
Abbildung 46: Wohnhausanlage Lasee-Schönfeld. Renderings. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2008)	75
Abbildung 47: Wohnhausanlage Amselgasse, Ortsplan und Luftbild. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)	76
Abbildung 48: Wohnhausanlage Amselgasse, Schwarzplan. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)	77
Abbildung 49: Wohnhausanlage Amselgasse, Renderings. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011).....	78
Abbildung 50: Wohnhausanlage Amselgasse, Ansicht Nord. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)	79
Abbildung 51: Wohnhausanlage Amselgasse, Ansicht Süd. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011).....	79
Abbildung 52: Wohnhausanlage Amselgasse, Erster Bauabschnitt. Foto: Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2014	81
Abbildung 53: Wohnhausanlage Amselgasse, Erster Bauabschnitt. Foto: Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2014	81
Abbildung 54: Wohnhausanlage Amselgasse, Erster Bauabschnitt. Foto: Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2014	82
Abbildung 55: Wohnhausanlage Amselgasse, Erster Bauabschnitt. Foto: Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2014	82
Abbildung 56: Rendering der geplanten Wohnhausanlage Amselgasse. Drei unterschiedliche Bauweisen für den ersten Bauabschnitt (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH)	84
Abbildung 57: Lageplan Wohnhausanlage Lasee (Treberspurg & Partner Arch., 2011).....	85
Abbildung 58: Orientierung der Flächen der Blöcke A, B und C (v.l.n.r.) (Datenquelle: Energieausweis 05.08.2011, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH).....	89
Abbildung 59: Spezifischer Heizwärmebedarf Block B – entspricht ungefähr Durchschnittswert 20,5 kWh/(m²a) (Treberspurg & Partner Architekten ZT GmbH, 2011).....	92
Abbildung 60: Einreichpläne Block A – konventionelle Ziegelbauweise. Längsschnitt, Grundriss 1. OG, gesamt und Top A5, 25.02.2011 (Treberspurg & Partner Arch, 2011).....	93
Abbildung 61: Polierplane – Ausführungsunterlage. Ansichten Block A, B, C. 20.02.2012 (Treberspurg & Partner Architekten ZT GmbH, 2011).....	94
Abbildung 62: Einreichpläne Block B – konventionelle Ziegelbauweise. Längsschnitt, Grundriss 1. OG, gesamt + Top B6, 25.02.2011 (Treberspurg & Partner Arch., 2011)	95
Abbildung 63: Einreichpläne Block C – Stroh-Holzbauweise. Längsschnitt, Grundriss 1. OG, gesamt + Top C6, 25.02. und 29.03.2011 (Treberspurg & Partner Arch., 2011)	97

Abbildung 64: Wohnhausanlage Lasee-Schönfeld. Lageplan und Schnitte. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2008)	102
Abbildung 65: Wohnhausanlage Lasee-Schönfeld. Ansicht Garten. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2008)	102
Abbildung 66: Wohnhausanlage Lasee-Schönfeld. Ansicht Straße. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2008)	102
Abbildung 67: Wohnhausanlage Lasee-Schönfeld. Grundriss Standard. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2008)	103
Abbildung 68: Wohnhausanlage Lasee-Schönfeld. Grundriss Erweiterung. Entnommen aus Mappe Gestaltungsbeirat (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2008)	103
Abbildung 69: Wohnhausanlage Lasee-Schönfeld. Horizontalschnitt Wanddetails. Hinterlüftete Fassade mit horizontalen Holzleisten. Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH	104
Abbildung 70: Wohnhausanlage Lasee-Schönfeld. Horizontalschnitt Wanddetails mit Elementstößen. Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH.....	105
Abbildung 71: Wohnhausanlage Lasee-Schönfeld. Vertikalschnitt Wand- und Dachdetails. Anschluss Bodenplatte mit Thermofuß. Anschluss Flachdach hinterlüftet, verblecht mit Dachüberstand. Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH ..	105
Abbildung 72: Wohnhausanlage Lasee-Schönfeld. Vertikalschnitt Wand- und Dachdetails. Anschluss Flachdach hinterlüftet, extensiv begrünt und ohne Dachüberstand. Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH	106
Abbildung 73: Wohnhausanlage Lasee-Schönfeld. Vertikalschnitt Wand- und Dachdetails. Anschluss Flachdach und Steildach hinterlüftet und ohne Dachüberstand. Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH	106
Abbildung 74: Tragende Holz-Stroh-Riegelwand mit Vollholzstehern. Horizontalschnitt. Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH.....	109
Abbildung 75: Tragende Holz-Stroh- Riegelwand mit überdämmten TJI-Stehern (Doppelstegträger). Horizontalschnitt. Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH	110
Abbildung 76: Tragende Holz-Stroh-Riegelwand mit höherem Achsmaß. Horizontalschnitt. Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH.....	110
Abbildung 77: Tragende Holz-Stroh-Riegelwand. Detail Anschluss Elementstoß. Horizontalschnitt. Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH.....	111
Abbildung 78: Tragende Holz-Stroh-Riegelwand. Detail Anschluss Gebäudeecke. Horizontalschnitt. Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH.....	111
Abbildung 79: Tragende Holz-Stroh-Konstruktion. Holzbaukonzept mit Brettsperholz-Plattendecke. Vertikalschnitt. Manuel Schweizer, Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH	112
Abbildung 80: Wohnhausanlage Lasee-Amselgasse. Ansicht Süd. Loggien und Modulraster Holz- Strohelemente. Planstand 05.07.2011. Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH	113
Abbildung 81: Wohnhausanlage Lasee-Amselgasse. Horizontalschnitt Wanddetails. Stahlkonstruktion, TJI-Träger, Wärmedämmverbundsystem. Entnommen aus Waagschnitt 05.07.2011. Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH	113
Abbildung 82: Wohnhausanlage Lasee-Amselgasse. Vertikalschnitt Anschluss Bodenplatte. Entnommen aus Polierplan 20.02.2012. Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH	114
Abbildung 83: Wohnhausanlage Lasee-Amselgasse. Vertikalschnitt Anschluss Zwischendecke. Entnommen aus Polierplan 20.02.2012. Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH	115

Abbildung 84: Wohnhausanlage Lasee-Amselgasse. Vertikalschnitt Attika, Anschluss Flachdach, extensiv begrünt. Entnommen aus Polierplan 20.02.2012. Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH	115
Abbildung 85: Wohnhausanlage Lasee-Amselgasse. Vertikalschnitt Loggienturm, Stahlkonstruktion auf Streifenfundament. Anschlüsse Zwischendecke und Dach. Entnommen aus Ausschreibungsgrundlage 20.02.2012. Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH	116
Abbildung 86: Das Gesamtergebnis der Ökobilanz und der Wirkungsindikatoren Treibhauspotential und Primärenergie nicht regenerierbar gewichtet nach den Bewertungsfaktoren der DGNB Kriterien. Darstellung der Blöcke B, B2 und C in Relation zu Block A (Obereder, 2013)	120
Abbildung 87: Darstellung der Ergebnisse für alle Wirkungsindikatoren der Blöcke B, B2 und C in Relation zu Block A (Obereder, 2013)	121
Abbildung 88: Graphische Darstellung der absoluten Werte der Ergebnisse für die maßgebenden Wirkungsindikatoren Primärenergie nicht regenerierbar (links) und Treibhauspotential (rechts) (Obereder, 2013)	122
Abbildung 89: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Primärenergiebedarf nicht regenerierbar betrachtet über die Lebenszyklusphasen Herstellung, Instandhaltung, Entsorgung und Betriebsenergie (Obereder, 2013)	124
Abbildung 90: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Treibhauspotential betrachtet über die Lebenszyklusphasen Herstellung, Instandhaltung, Entsorgung und Betriebsenergie (Obereder, 2013)	125
Abbildung 91: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Primärenergiebedarf nicht regenerierbar betrachtet nach den Bauteilgruppen der Ökobau.dat (Obereder, 2013)	127
Abbildung 92: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Treibhauspotential betrachtet nach den Bauteilgruppen der Ökobau.dat (Obereder, 2013)	128
Abbildung 93: Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Primärenergiebedarf nicht regenerierbar betrachtet nach den Materialgruppen der Ökobau.dat (Obereder, 2013)	130
Abbildung 94: Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Treibhauspotential betrachtet nach den Materialgruppen der Ökobau.dat (Obereder, 2013)	131
Abbildung 95: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Primärenergiebedarf nicht regenerierbar der Außenwände betrachtet nach den Materialgruppen der Ökobau.dat (Obereder, 2013)	133
Abbildung 96: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Treibhauspotential der Außenwände betrachtet nach den Materialgruppen der Ökobau.dat (Obereder, 2013)	135
Abbildung 97: Das Gesamtergebnis der Ökobilanz und der Wirkungsindikatoren Treibhauspotential und Primärenergie nicht regenerierbar gewichtet nach den Bewertungsfaktoren der DGNB Kriterien. Darstellung der Blöcke B, B2 und C in Relation zu Block A (Obereder, 2013)	137
Abbildung 98: Treibhauspotential und nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf für Variante A, B, B2, C und C2 (Obereder, 2013)	141
Abbildung 99 a + b: Anbote aller Gewerke. Bestbieter. Links Gesamtsumme. Rechts Teilsummen pro Gewerk	143
Abbildung 100: Kostenanalyse Bestbieter Baumeister	144
Abbildung 101: Kostenanalyse Bestbieter Zimmermeister	145
Abbildung 102: Kostenanalyse aller Anbote für Zimmermeisterarbeiten	146

11 ANHÄNGE

11.1 Anhang Planunterlagen Projekt Lasseo – Schönhofeld

11.2 Anhang Planunterlagen Projekt Lasseo – Amselgasse

11.3 Anhang Ausschreibung Lasseo – Amselgasse, 1. Bauphase

11.4 Anhang Berechnungsunterlagen Ökobilanz

11.5 Anhang Kostenaufstellung anonymisiert