

**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN**

Vienna University of Technology

# **DIPLOMARBEIT**

## **Energie- und Ressourceneinsparung durch Sanierung und Lehmziegelforschung**

**ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines**

**Diplom-Ingenieurs**

**unter der Leitung von**

**Univ.-Prof. Arch. Dipl.-Ing. Dr.techn. Martin Treberspurg**

**Institut für konstruktiven Ingenieurbau**

**eingereicht an der Technischen Universität Wien**

**Fakultät für Architektur und Raumplanung**

**von**

**ING. ALOIS SCHMIDMAIR**

**9625898**

**Wien, am 02.11.2015**

## **KURZFASSUNG**

Aufgrund des weltweit zunehmenden Energie- und Ressourcenverbrauchs ist es im Bausektor wichtig und notwendig, alternative Baustoffe zu untersuchen und die Energieeffizienz zu verbessern.

Einer dieser alternativen Baustoffe ist meiner Einschätzung nach der Lehmziegel.

Der Vorteil eines Lehmziegels liegt darin, dass dieser nicht gebrannt werden muss und somit die Herstellungsenergie deutlich niedriger als bei Ziegel und Beton ausfällt.

Im Zuge meines Forschungsprojektes wurde ein tragender Lehmziegel entwickelt und dessen bauliche Anwendung in einem Pilotprojekt erarbeitet.

Durch das Beimischen verschiedener Zuschlagsstoffe soll die Tragfähigkeit und Haltbarkeit des Lehmziegels verbessert werden, ohne seine vielen positiven Eigenschaften zu beeinträchtigen.

Der Lehmziegel selbst wurde von mir im Labor der Firma Wienerberger im Modellmaßstab entwickelt und geprüft.

Des Weiteren untersucht diese Arbeit als Grundlagenforschung die Beschaffenheit eines historischen Wohngebäudes mit anschließendem Wirtschaftstrakt und behandelt thermische Sanierungsstufen im Altbestand.

Aufgrund der Bestandsituation und der zukünftigen geänderten funktionellen Anforderungen an das Gebäude, stellte sich im Zuge dieser Arbeit heraus, dass ein kleiner Anbau erforderlich wurde. An diesem Zubau wird auch gezeigt, wie der tragende Lehmziegel eingesetzt werden kann.

## **ABSTRACT**

Due to the increasing consumption of energy and resources worldwide it is essential in the building sector to prospect alternative building materials in order to improve their energy efficiency.

One of those alternative building materials in my opinion is a brick made of clay. The advantage of clay bricks is that they are not being fired and this results in a lower energy consumption compared to fired bricks or concrete.

In the course of my research project a load-bearing clay brick was being developed and its constructional usage possibilities were formulated in a pilot project.

Through various additions of aggregates to the clay the brick's supporting properties and endurance were supposed to improve without compromising its many already existing positive attributes. The clay brick itself was developed and tested in model scale at the brick company „Wienerberger“.

Furthermore, the present work explores the constructional condition of a historical residential building with a connected farm block as a fundamental research project as well as its step by step thermal refurbishment.

Due to the building's present situation and the prospectively functional requirements it was becoming clear that a small annex to the existing building would be necessary. This building extension is a good opportunity to display the use of the supporting clay brick.

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>KURZFASSUNG</b> .....	<b>2</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>2</b>
<b>1. EINLEITUNG</b> .....	<b>6</b>
<b>2. BESCHREIBUNG DES WOHNHAUSES W6</b> .....	<b>8</b>
<b>3. SANIERUNG</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1. PHILOSOPHIE</b> .....	<b>10</b>
<b>3.2. ÖKOBILANZ</b> .....	<b>10</b>
<b>3.3. KOSTEN</b> .....	<b>10</b>
<b>3.4. MEHRPREIS FÜR PASSIVHAUSKOMPONENTEN</b> .....	<b>11</b>
<b>3.5. VORTEILE DURCH EINE ENERGETISCHE GEBÄUDESANIERUNG</b> .....	<b>12</b>
3.5.1. KONTROLLIERTE WOHNRAUMLÜFTUNG .....	13
3.5.2. KONTROLLIERTE WOHNRAUMLÜFTUNG der nächsten Generation .....	13
<b>3.6. VON DER WUNSCHLISTE ZUR AUFTRAGSERTEILUNG</b> .....	<b>13</b>
3.6.1. BESTANDSAUFNAHME .....	13
3.6.2. BAUTEILBESCHREIBUNG .....	13
<b>3.7. TYPISCHE NUTZUNGSDAUER VON BAUTEILEN</b> .....	<b>14</b>
3.7.1. WAS SOLL ERNEUERT WERDEN.....	14
3.7.2. ZIELE DER SANIERUNG .....	15
<b>3.8. RISIKEN UND NEBENWIRKUNGEN DER SANIERUNG</b> .....	<b>15</b>
<b>4. GUTE GRÜNDE FÜR EIN PASSIVHAUS</b> .....	<b>16</b>
<b>4.1. WOHNKOMFORT</b> .....	<b>16</b>
4.1.1. BEHAGLICHKEIT .....	16
<b>4.1. UMWELTSCHUTZ</b> .....	<b>17</b>
<b>4.2. PENSIONSVERSICHERUNG</b> .....	<b>17</b>
<b>4.3. INVESTMENT</b> .....	<b>17</b>
<b>5. WICHTIGSTE PASSIVHAUSKRITERIEN</b> .....	<b>18</b>
<b>5.1. PASSIVHAUSKRITERIEN</b> .....	<b>18</b>
<b>5.2. VORTEILE DURCH DEN PASSIVHAUS-STANDARD</b> .....	<b>19</b>
<b>5.3. SOMMERLICHE ÜBERHITZUNG</b> .....	<b>19</b>
5.3.1. BESCHATTUNG .....	19
5.3.2. NACHT KÜHLUNG .....	19
5.3.3. WANDHEIZUNG- KÜHLUNG .....	19
5.3.4. WOHNRAUMLÜFTUNG- KÜHLUNG .....	20
<b>6. WÄRMEBEREITSTELLUNG</b> .....	<b>20</b>
<b>6.1. RAUMHEIZUNG UND WARMWASSERBEREITUNG</b> .....	<b>20</b>
6.1.1. SOLARE NUTZUNG FÜR RAUMHEIZUNG UND WARMWASSERBEREITUNG .....	20
6.1.2. SOLARE NUTZUNG FÜR STROMERZEUGUNG-PHOTOVOLTAIK.....	20
<b>7. BIOBAUSTOFFE</b> .....	<b>21</b>
<b>7.1. DIE SINNHAFTHKEIT VON BIOBAUSTOFFEN</b> .....	<b>21</b>
7.1.1. VORTEILE VON BIOBAUSTOFFEN.....	21
7.1.2. NACHTEILE VON BIOBAUSTOFFEN .....	21

7.2.	STROH ALS DÄMMSTOFF IM DACHBODEN.....	21
7.3.	HOHE MASSE BEI DÄMMSTOFFEN .....	21
8.	TECHNOLOGIE .....	22
8.1.	HIGHTECH-LOWTECH .....	22
8.2.	WACHSENDER SONNENSCHUTZ .....	22
9.	THERMISCHE BESTANDSANALYSE UND MÖGLICHE SANIERUNGSSCHRITTE AM OBJEKT W6.....	23
9.1.	ANALYSE DES BESTANDS: ALTBAU-ZUBAU(1990).....	25
9.2.	ANALYSE DES ATELIER (VORMALS STALLGEBÄUDE) .....	33
9.3.	ANALYSE DER TENNE (VERBINDUNG WOHNTRAKT-ATELIER).....	40
9.4.	ANALYSE DES ALT-UND ZUBAU(1990) MIT-ATELIER .....	46
9.5.	ANALYSE DES GESAMTGEBÄUDES .....	58
10.	LEHM - EIN ALTER NATURBAUSTOFF .....	67
10.1.	FORSCHUNGSPROJEKT LEHMZIEGEL .....	68
10.2.	VERSUCHSABLAUF .....	68
10.2.1.	AUFBEREITUNG.....	68
10.2.2.	GRUNDMATERIAL.....	69
10.2.3.	NULLPROBEN.....	69
10.2.4.	HERSTELLUNG DER PROBEKÖRPER.....	69
10.2.5.	DRUCKPRÜFUNG .....	71
10.2.6.	FEUCHTLAGERN.....	72
10.2.7.	GEOMETRIE DES ZERSTÖRTEN LEHMZIEGELS .....	72
10.3.	PRÜFERGEBNISSE.....	73
10.3.1.	TON AUS HENNERSDORF HD .....	73
10.3.2.	LEHM AUS GÖLLERSDORF .....	74
10.3.3.	GÖLLERSDORF GD BLAU.....	75
10.3.4.	GÖLLERSDORF GD GELB.....	76
10.3.5.	LEHM AUS GÖLLERSDORF GD (PFEFFERKORN-25) .....	77
10.3.6.	LEHM AUS GÖLLERSDORF GD PFEFFERKORN(-20) .....	78
10.3.7.	LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT GLASFASER.....	79
10.3.8.	LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT HOLZKOHLE 0,5% .....	80
10.3.9.	LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT HOLZKOHLE 1% .....	81
10.3.10.	LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT ZIEGELMEHL.....	82
10.3.11.	LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT ZIEGELSPLITT 15% .....	83
10.3.12.	LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT ZIEGELSPLITT 7,5% .....	84
10.3.13.	LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT ASCHE 0,5%.....	85
10.3.14.	LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT ASCHE 1%.....	86
10.3.15.	LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT HANF 0,3% .....	87
10.3.16.	LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT R-FASER 0,3% .....	88
10.3.17.	LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT SÄGESPÄNEN 0,5% .....	89
10.3.18.	LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT SÄGESPÄNEN 1% .....	90
10.3.19.	LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT GLASSCHAUMGRANULAT .....	91
10.3.20.	LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT KASEIN 2% .....	92
10.4.	ZUSAMMENFASSUNG DER VERSUCHSERGEBNISSE.....	93
10.5.	DANK AN LEHMPROJEKT.....	93
11.	LEHM-ZIEGEL IN SEINER ANWENDUNG .....	94
11.1.	ANWENDUNGSRICHTLINIEN .....	94
11.2.	ANWENDUNG DER LEHMZIEGEL.....	98

<b>12. PROJEKTENTWURF</b> .....	<b>100</b>
12.1. LAGEPLAN .....	101
12.2. GRUNDRISS Entwurf und Bestand M=1:200.....	102
12.3. GRUNDRISS Entwurf M=1:100 .....	103
12.4. SCHNITT A-A.....	104
12.5. SCHNITT B-B.....	105
12.6. ANSICHT WSW.....	106
12.7. ANSICHT NNW .....	107
12.8. DETAIL SCHNITT A-A .....	108
12.9. DETAIL SCHNITT B-B .....	109
<b>A. SCHLUSSBEMERKUNG</b> .....	<b>110</b>
<b>B. DANKSAGUNG</b> .....	<b>110</b>
<b>C. QUELLENANGABEN</b> .....	<b>111</b>
LITERATURQUELLEN.....	111
INTERNETQUELLEN .....	111
ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	112
<b>D. ANHANG</b> .....	<b>113</b>
D.1.BAUTEILBESCHREIBUNG: SCHICHTAUFBAU+ DÄMMSTUFE 1 UND 2.....	113

## 1. EINLEITUNG

Der Bedarf nach Energie und Rohstoffen nimmt weltweit stetig zu. Gerade deswegen ist es so wichtig, einen sanfteren Weg zu Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung einzuschlagen. Die Energiepreise der letzten Monate lassen zwar vermuten, dass es in absehbarer Zeit keine Engpässe geben wird. Durch die Explorationsgeologie werden laufend neue Vorräte an Rohstoffen in unserer Erde erschlossen. Die entscheidende Frage ist jedoch, wie viel uns an leicht verfügbarem Material an Rohstoffen und Energie in den nächsten Jahren oder Jahrzehnten und drüber hinaus zur Verfügung steht.

Bei der Veranstaltung am 18.06.2014 für die Energiegruppe-Vorchdorf sprach die Klimaforscherin Frau Univ. Prof. Dr. Helga D. Kromp-Kolb in ihrem Vortrag zum Thema: „5 vor 12“ Klimawandel“ unter anderem auch darüber, dass schon alleine der Verbrauch der leicht verfügbaren fossilen Energieressourcen den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre auf das Niveau bringt, welches die globale Erwärmung um 2°C ansteigen lässt. Um diesen Wert nicht übersteigen zu lassen, seien einige Weichenstellungen vorzunehmen.

Die bautechnische Schlussfolgerung wäre, dass nicht nur Gebäude mit hoher thermischer Qualität gefragt sind, sondern auch eine Verringerung der Herstellungsenergie bei den Baumaterialien erforderlich ist.

Zur Herstellung einer Lehmwand im Vergleich zu Ziegel und Beton ist nur ein kleiner Bruchteil an Energie notwendig.

Obwohl in der Vergangenheit schon mehrgeschossige Gebäude aus Lehm gebaut wurden, kommt meiner Einschätzung nach der Biobaustoff Lehm, mit seinen vielen hervorragenden positiven Eigenschaften, viel zu selten zum Einsatz.

Dieser Tatsache und dem Thema „Lehm“ widme ich meine Diplomarbeit. Der Fokus liegt in der wissenschaftlichen Herangehensweise an das Thema der Entwicklung eines tragenden Lehmziegels im Rahmen einer Forschungsarbeit. Darüber hinaus wurden diese Forschungsergebnisse in einem Entwurf dargestellt. Hierbei werden die hervorragenden baubiologischen, bauphysikalischen und die raumklimatischen Eigenschaften von Lehm herausgearbeitet und in der Adaptierung eines Bestandsgebäudes umgesetzt.

Die Affinität zu Biobaustoffen im Besonderen zu Lehm, Holz und Stroh begleitete mich seit Anfang des Studiums. Das Bedürfnis, im Einklang mit der Natur zu leben und die Möglichkeit, die mir vor 10 Jahren geboten wurde, durch meinen hoch geschätzten Diplomarbeitsbetreuer Herrn Univ.-Prof. Arch. Dipl.-Ing. Dr. techn. Martin Treberspurg, begründete meine wissenschaftliche Arbeit im Bereich der Lehmziegelforschung im Labor des Ziegelherstellers Wienerberger.

Ein weiterer Aspekt zur Ressourcenschonung ist die Nutzung bestehender Gebäude.

Mein Elternhaus beschäftigt mich in dieser Hinsicht schon seit über 10 Jahren. Einerseits gibt es den ideellen Wert dieses Gebäudes, andererseits stellt sich die Frage, wie man mit einer relativ alten Bausubstanz umgehen soll. Das Gebäude wird in dieser Arbeit mit Objekt W6 betitelt.

Durch eine Vielzahl an Überlegungen, was aus diesem Haus werden soll, entstand im Laufe von vielen Jahren eine Fülle an Ideen. Mit meiner Übernahme inkl. des landwirtschaftlichen Betriebes vor einigen Jahren wurde die Nutzung dieser Ressource noch interessanter für mich. Die durchwegs solide Bausubstanz sollte so gut es geht genutzt und erhalten werden.

Um herauszufinden, wie sich durch die jeweiligen Sanierungsschritte die bauphysikalischen Eigenschaften am Objekt W6 verbessern lassen, nutzte ich meine Energieberaterausbildung, um eine Fülle an Daten zu ermitteln. Für diese Vielzahl an Rechendurchgängen wurde eigens, speziell für diese Analyse am Objekt W6 von meinem damaligen Projektarbeits- und Ausbildungskollegen Ing. Georg Habacher und mir ein Programm im Excel entwickelt, um dies zu bewerkstelligen. Mein Ziel war es, einzelne Gebäudeabschnitte zu betrachten, dabei aber

immer nur eine thermische Maßnahme zu untersuchen. Auf Grund dieser Fülle an Rechenergebnissen der Einzelmaßnahmen kann eine quantitative und qualitative Beurteilung erfolgen. Betrachtet man diese Solitäre (Wohnhaus und ehemaliger Stall) separat, zeigen sich völlig unterschiedliche Ergebnisse bei den Einzelmaßnahmen und Kombinationsmaßnahmen.

Werden diese einzelnen Gebäudeteile gemeinsam gerechnet, ergeben sich noch einmal zwei Betrachtungsweisen. Einmal bilden die beiden Gebäudeteile eine geschlossene thermische Hülle und zum anderen werden diese nur durch einen unbeheizten Pufferraum/Zwischenzone mit einander verbunden dargestellt. Auch hier werden diese beiden Sichtweisen in Einzelmaßnahmen und Kombinationsmaßnahmen dargestellt.

Dieses relativ aufwendige Verfahren zeigt ganz gut ob es sich lohnt, zwei relativ nahe beieinanderstehende Gebäudeteile in eine gemeinsame beheizte Gebäudehülle zusammen zu fassen und wie erfolgreich sich die jeweiligen Maßnahmen in Form von Heizkostensparnis auswirken würden.

Dieses Haus und das umliegende Gelände nutzen zu können und der Wunsch, von Zuhause aus zu arbeiten, Wohnen und Arbeit jedoch nicht völlig zu vermischen, den Blick in die Natur und einen Überblick über die Rotwildherde im Gehege zu behalten, sind wichtige Aspekte für das Leben mit meiner Frau und unseren 3 Kindern.

## 2. BESCHREIBUNG DES WOHNHAUSES W6

Das Wohnhaus W6 mit dem anschließenden Wirtschaftstrakt wurde im Laufe von über 200 Jahren gebaut und erweitert bzw. umgebaut.

Mit der kleinen Landwirtschaft, bietet dieses Objekt viele Möglichkeiten für kreative Ideen.



Abb.01: Bestandsgebäude W6 vor Sanierung

Vor rund 200 Jahren wurde ein Teil des Gebäudes mit Ziegeln erbaut, die teilweise auf Kohlenfundamenten auflagerten. Der Grund liegt in der Verfügbarkeit des Materials. In nur wenige Kilometer entfernten Ort gab es ein Braunkohlebergwerk. Eine weitere Fundierung bildeten große Steine. Diese Steine stammen von dem nahegelegenen Bach. Es gibt auch noch Fundamente aus gebrannten Ziegeln. Dieses Ziegelfundament hat eine breitere Basis und verjüngt sich mit jeder zweiten Ziegellage immer weiter im Querschnitt bis zur Breite der darüber liegenden Mauer. Als Mauerbinder wurde dafür ein Kalkmörtel verwendet. Der Sand stammte ebenfalls aus der näheren Umgebung. Für die Errichtung der Wände wurden vorwiegend gebrannte Ziegeln verwendet, wobei auch ungebrannte Ziegeln Verwendung fanden. Die oberste Geschoßdecke bestand aus einer Dippelbaumdecke mit einer Lehmschicht als Brandschutz. Die restlichen Gebäudeteile bestanden aus einem Holzbau. So gab es zumindest einen Raum der feuerfest war. In dieser Anfangsphase wurden auch nur ganz kleine und einfache Kastenfenster eingesetzt. Der Grund für die verschiedenen Baumaterialien dürften einerseits die Verfügbarkeit und technische Möglichkeiten gewesen sein und andererseits das Bedürfnis, Räume zu schaffen, die auch brandbeständig sind.

Im Jahre 1912 wurde der aus Holz errichtete Teil abgebrochen und durch ein Ziegelmauerwerk ersetzt. In dieser Zeit wurde ebenfalls noch mit Kalkmörtel gearbeitet. Eine Generation später wurden diese Mauern teilweise neu unterfangen.

Die alte Tenne an der WNW-Fassade blieb jedoch lange Zeit bestehen. Ende der 1960iger Jahre wurde ein Stall errichtet, der nur 3 Meter vom Wohntrakt entfernt steht. Das Verbindungsstück, die sogenannte neue Tenne konnte damals als Durchfahrt genutzt werden, wenn man die Schiebetore an der Ost.- bzw. Westfassade des Gebäudes öffnete um die Ernte einzubringen. Zur Jahresbevorratung wurden mittels Krananlage Heu und Stroh über dem Stall und auch über dem Wohntrakt aufgelagert. Damit erreichte man Dämmstoffstärken von teilweise mehreren Metern.

In den 1990iger Jahren kam ein weiterer Bauteil an der SW-Fassade des Altbaus hinzu. Durch diese Umbauarbeiten wurden Teile des Altbaus ausgetauscht bzw. erneuert. Der Zubau wurde mit isolierverglasten Holzfenstern und Rollläden ausgestattet. Teile des Bodens im Altbau wurden auf den Standard des Zubaus gebracht.



In dieser Zeit wurde auch eine thermische Solaranlage errichtet. Aufgrund der starken Neigung und der 14 m<sup>2</sup> großen Kollektorfläche sollte diese die Warmwasseraufbereitung bewerkstelligen und die Heizung unterstützen. Vor etwa 7 Jahren wurde das Dach erneuert und die Heizung von Kohle auf Holz-Pellets umgestellt.

Im Laufe der Zeit soll das Gebäude schrittweise an die neuen Bedürfnisse angepasst werden.

### **3. SANIERUNG**

Die Nutzbarkeit und das Potential eines Gebäudes werden speziell bei einer Übernahme zu betrachten sein.

#### **3.1. PHILOSOPHIE**

Alte Ziegeln und Mauern haben eine ganz eigene Qualität und Ausstrahlung, die manche Entscheidungen bezüglich des Eingriffs in die Bausubstanz schwer machen.

Die Entscheidung, wie intensiv dieser Eingriff durchgeführt werden soll, liegt letztendlich beim Bauherrn selbst, wenn nicht ein Aspekt der Denkmalpflege berücksichtigt werden muss.

#### **3.2. ÖKOBILANZ**

Vorausgesetzt die bestehende Bausubstanz ist erhaltenswert, ob aus architektonischer Sicht oder weil das Gebäude solide gebaut und kaum durchfeuchtet ist, sollte einer Bestanderhaltung der Vorzug gegeben werden.

Energie, die für den Abbruch, Entsorgung und Neubau benötigt wird, kann dem Aufwand für den Erhalt des Gebäudes gegenübergestellt werden. Eine Weiternutzung wie bisher würde in vielen Fällen die beste Energiebilanz aufweisen. Da aber auch die Nutzung bzw. die Ansprüche und der Komfort eine wesentliche Rolle spielen, kommt es dann doch zu gewissen Veränderungen.

Die Erneuerung von undichten Fenstern in nur mittlerer Qualität hat zur Folge, dass diese, egal wie gut der Wärmedämmwert ist, in der Regel erst wieder in 20, 30 oder 50 Jahren getauscht werden.

Bei Außenwänden die mit einem Dämmstoff versehen werden verhält es sich ähnlich. Eine bestehende, mittelmäßig gute Dämmung wird kaum entfernt, außer sie ist schadhaft, nur um einen etwas besseren U-Wert zu erhalten.

Durch relativ geringe Aufzahlungen von „Normal“ auf „Sehr gut“, kann hier eine entscheidende Weichenstellung vorgenommen werden.

Dieses Aufzahlen sollte sich jedoch lohnen, sei es durch verbesserten Komfort, niedrigere laufende Kosten oder durch erhöhte Förderungen, wie es derzeit mehr oder weniger der Fall ist.

#### **3.3. KOSTEN**

Bei Abriss und Neubau entstehen neben den Errichtungskosten auch noch die Kosten für Abriss und Entsorgung. Wird ein Teil des Bestandes genutzt, kann hier schon einiges eingespart werden.

Sollte der Großteil des Bestandes genutzt werden können und nur noch mit einem neuen Anbau ergänzt werden, kann hier ein Maximum an Baukosten eingespart werden.

Ist dies nicht möglich, wird vermutlich eine umfangreiche Entkernung ebenfalls eine sinnvolle Variante darstellen, denn hier sind kaum Kompromisse einzugehen.

Eine vielleicht sehr nützliche Form der Sanierung wäre die Aufstockung des Gebäudes, wenn das darunter liegende Gebäude aus statischer Sicht ausreichende Sicherheit bietet. Die bestehenden Räumlichkeiten können weiterhin genutzt werden und würden während der Bauphase kaum beeinträchtigt werden.

Werden die darunter liegenden Räume nur für untergeordnete Zwecke verwendet, so käme das immerhin noch einem gut belichteten Keller gleich, der jedoch im Bedarfsfall zu Wohnräumen umfunktioniert werden kann.

### 3.4. MEHRPREIS FÜR PASSIVHAUSKOMPONENTEN

Untenstehende Tabelle zeigt eine Gegenüberstellung zwischen Passivhaus und EnEV-Haus. Der Vergleich bezieht sich auf die gleiche Wohnflächen-Größe, die Hülle des Gebäudes ist daher unterschiedlich, was zur Folge hat, dass das Standardhaus dadurch ein schlechteres A/V- Verhältnis aufweist.

Zu sehen ist hier, dass die Baukosten nur ca. 7% differieren.

Neubau eines Einfamilienhauses mit 162 m <sup>2</sup> Wohnfläche		
Varianten	Standardhaus nach Energie-Einspar-Verordnung (EnEV 2009)	Passivhaus
Baukosten nach DIN 276, Kostengruppen 3 + 4 <sup>2</sup>	1784 € pro Quadratmeter	1914 € pro Quadratmeter

Abb.02: Baukostenvergleich EnEV - Passivhaus

In folgender Grafik (Abb.03) ist sichtbar, dass nach einer Tilgungszeit von 30 Jahren die Heizkosten den Hauptunterschied der beiden Varianten darstellen. Die Reparaturkosten und Wartungskosten wurden in diesem Fall nicht berücksichtigt, da sie bei beiden annähernd gleich sind.

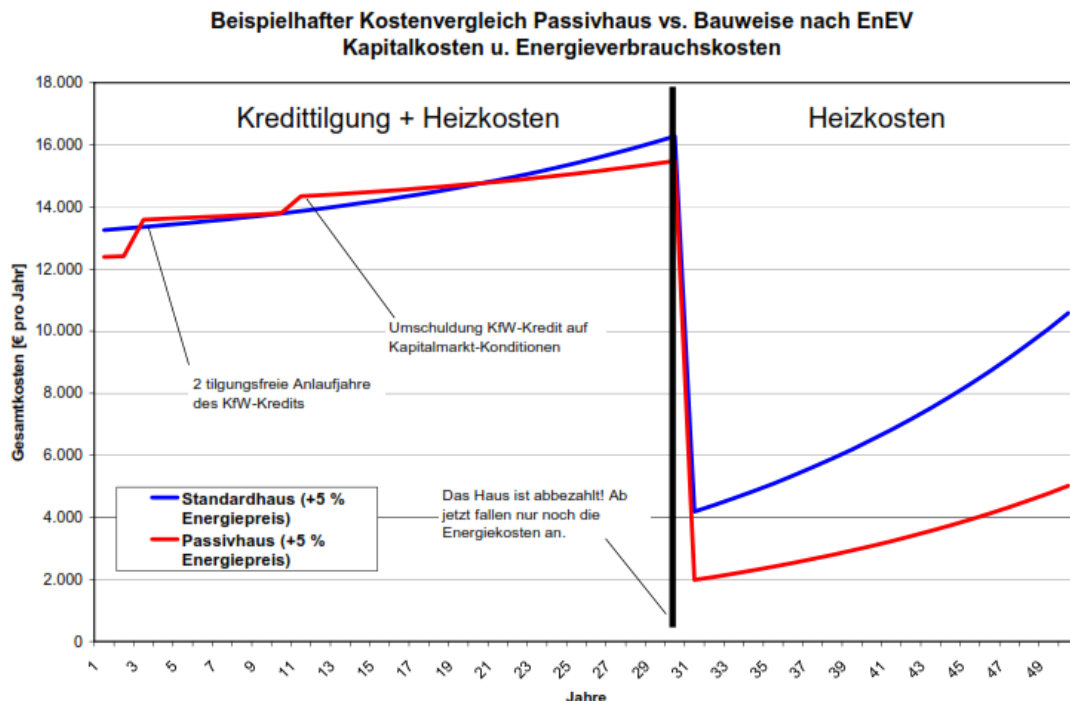


Abb.03: Heizkostenvergleich EnEV - Passivhaus

In dieser Grafik (Abb.04) wird deutlich, dass nur ein sehr geringer Preissteigerungsfaktor dem Standardhaus zum Vorteil verhilft. In allen anderen Fällen kann nur der Passivhausbesitzer den Energiekostensteigerungen etwas gelassener entgegen sehen.

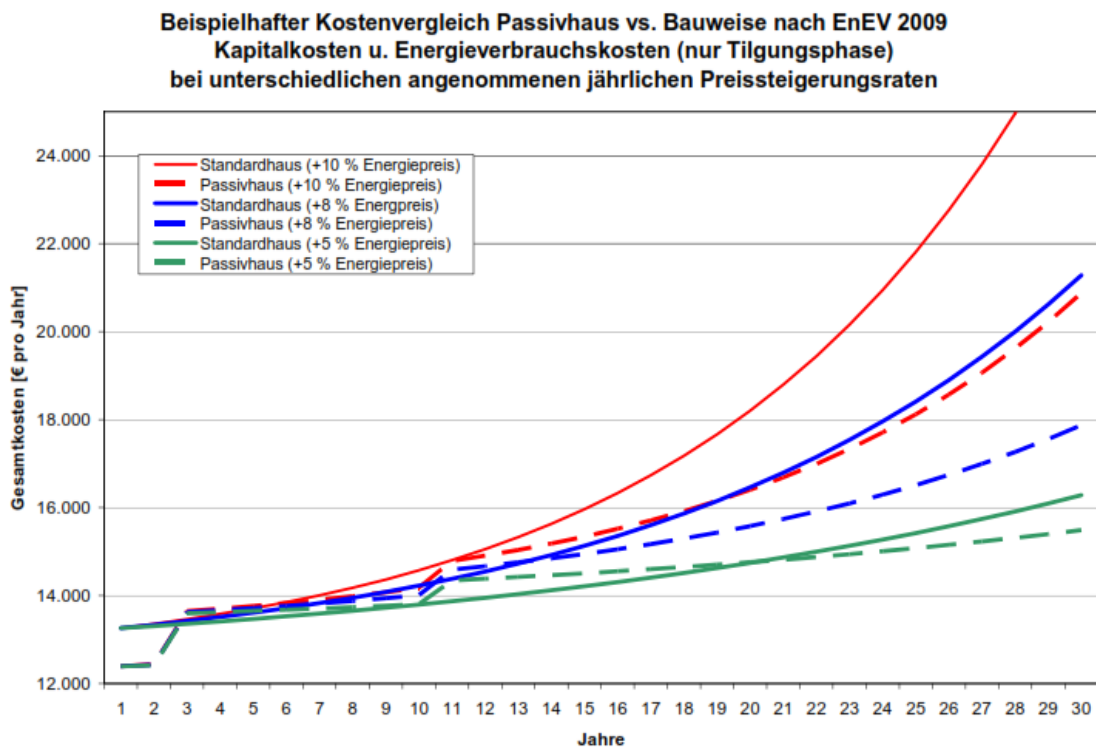


Abb.04: Kapital- und Energiekostenvergleich EnEV – Passivhaus Tilgungsphase

{4} <http://www.wiegand-info.de>

### 3.5. VORTEILE DURCH EINE ENERGETISCHE GEBÄUDESANIERUNG

- Erhebliche Energie- und Nebenkosteneinsparungen
- Steigerung der Unabhängigkeit in Bezug auf fossile Energieträger
- Bessere innere Luftqualität bei Lüftungsanlagen durch mögliche CO<sub>2</sub>- und Feuchtesteuerung
- Verringerung von Wärmebrücken, demnach ist Feuchte- und Schimmelbefall unwahrscheinlich
- Mehr Behaglichkeit durch Erhöhung der Oberflächentemperaturen
- Geringere Temperaturschwankungen im Sommer wie auch Winter
- Allgemein verbesserter Schallschutz der Gebäudehülle
- Höherer Werterhalt

{1} <http://www.passivhaus.de>

### 3.5.1. KONTROLLIERTE WOHNRAUMLÜFTUNG

Lüftungsanlagen mit einer Wärmerückgewinnung haben in der Regel einen Wirkungsgrad von ca. 80%, üblicherweise mit einem Kreuzstrom-Wärmetauscher (Luft-Luft). Es gibt zwar auch Modelle mit einem aufwändigeren und daher auch teureren Gegenstromtauscher mit einem Wirkungsgrad von bis zu 95%, dieser kommt jedoch kaum zum Einsatz.

Ein wesentlicher Punkt der kontrollierten Wohnraumlüftung ist neben der Wärme auch die Feuchte- Rückgewinnung, die eine zu starke Austrocknung der Atemluft verhindert.

### 3.5.2. KONTROLLIERTE WOHNRAUMLÜFTUNG der nächsten Generation

Bei dieser soll versucht werden, die Leitungsführung der Zuluft auf ein absolutes Minimum zu reduzieren.

Ziel muss hier eine wirkliche Verbesserung der Einströmluft sein, die über keine Metallmantelrohrleitung geführt wird. Der Ventilator, der für die Luftbewegung zuständig ist, könnte ebenfalls in Frage gestellt werden. Entscheidend hierfür ist, dass die nötige Luftmenge in ausreichender Qualität in die Wohnung gelangt, und das mit möglichst geringem Energieaufwand.

## 3.6. VON DER WUNSCHLISTE ZUR AUFTRAGSERTEILUNG

### 3.6.1. BESTANDSAUFNAHME

Diese sollte folgende Informationen enthalten:

- Grundrisse / Schnitte, Ansichten M=1:50
- Detailschnitte M=1:10
- Bauteilbezogene Materialbeschreibung: Wand-, Decken-, Dachaufbauten
- Fotodokumentation

### 3.6.2. BAUTEILBESCHREIBUNG

- **Statische Belastbarkeit:** Tragende Außenwand einschalig, 50cm Vollziegel beidseitig verputzt
- **Energetische Qualität:** U-Wert: 0,5 W/m<sup>2</sup>K - 1,3 W/m<sup>2</sup>K
- **Allgemeiner Zustand:** Horizontale Sperre im Sockelbereich vorhanden, grundsätzliche Funktionsfähigkeit gewährleistet
- **Oberflächen außen:** Putz mit durchgängiger Festigkeit, kaum Risse, keine Abplatzungen, keine Algen
- **Oberflächen innen:** an den Ecken teilweise Schimmelbildung, kleine Risse im Deckenputz, Schimmel hinter Küchenschrank, im Wohnzimmer punktuell Hohlstellen im Putz.

### 3.7. TYPISCHE NUTZUNGSDAUER VON BAUTEILEN

Die folgende Tabelle zeigt die übliche Nutzungsdauer verschiedener Bauteile, Einbauten und Oberflächen. Damit lässt sich gut einschätzen, wie bedeutsam die Auswahl der jeweiligen Komponenten ist. Aus ökologischen und ökonomischen Sicht ist es empfehlenswert dies zu berücksichtigen.

	<b>BAUTEILE</b>	<b>LEBENSDAUER</b>
<b>Rohbau</b>	Fundamente	> 50 Jahre
	Mauerwerk	> 50 Jahre
	Betondecken	> 50 Jahre
	Dachstuhl	> 50 Jahre
	Dacheindeckung geneigt	> 30 Jahre
	Dacheindeckung flach	< 30 Jahre
<b>Ausbau</b>	Holzfenster	> 20 Jahre
	Putz	> 30 Jahre
	Leichtwände	> 50 Jahre
	Dachrinne	> 20 Jahre
	Wärmedämmung	> 30 Jahre
	elastische Fugen	5 bis 10 Jahre
<b>Technik</b>	Elektro-/Heizungs- /Sanitäreanlagen	> 30 Jahre
	Solaranlagen	> 20 Jahre
	Heizungskessel, Heizkörper	15 bis 20 Jahre
	Sanitärobjekte	16 bis 20 Jahre
<b>Oberflächen</b>	Holzfensteranstrich	3 bis 5 Jahre
	Fassadenanstrich	5 bis 20 Jahre
	Tapeten	10 bis 20 Jahre
	Fußboden	5 bis 20 Jahre
	Fliesen	> 30 Jahre

[4] INGO GABRIEL/ HEINZ LADENER: Vom Altbau zum Niedrigenergie- und Passivhaus

#### 3.7.1. WAS SOLL ERNEUERT WERDEN

- Welche Bauteile sollen erhalten bleiben?
- Wie sehen die statische Qualität und die Haltbarkeit aus?
- Wie ist die energetische Qualität zu beurteilen?
- Denkmalschutz
- Sind energetische Kompensationsmöglichkeiten vorhanden?
- Wie wird mit bestehenden Wärmebrücken umgegangen (Schimmelfleck)?

### 3.7.2. ZIELE DER SANIERUNG

- **WOHNRAUMERWEITERUNG:** Es sind mehr Räume erforderlich und deren Raumhöhe ist nicht ausreichend
- **KOMFORTVERBESSERUNG:** Eine automatische Heizung ist zwar vorhanden, es sollte jedoch die Oberflächentemperatur der Wände angehoben werden. Eine automatische Belüftung sollte ausreichend gute Luft liefern.
- **SCHIMMELSCHÄDEN BESEITIGEN:** Gesundheitlicher Aspekt, optische Verbesserung
- **FASSADENERNEUERUNG:** Zeitgemäßes Erscheinungsbild
- **ENERGIEVERBRAUCHSMINIMIERUNG:** aus energetischer und betriebswirtschaftlicher Sicht
- **WERTERHALTUNG ODER VERBESSERUNG:** Kombination mit anfallenden Aufwendungen
- **FÖRDERMITTEL NUTZEN**

### 3.8. RISIKEN UND NEBENWIRKUNGEN DER SANIERUNG

- **SCHIMMELPROBLEM:**  
Durch die dichte Gebäudehülle kann es zu Feuchteschäden kommen. An schlecht gedämmten Bauteilen kann es zur vermehrten Kondensatbildung kommen. Der geringere Luftwechsel verhindert einen ausreichenden Feuchte-Transport; hier kann nur mit einer kontrollierten Lüftungsanlage oder mit zahlreichen kurzen Stoßlüftungsintervallen entgegengewirkt werden.
- **SCHWINDRISSE:**  
höhere Dämmstärken verändern den Taupunkt; das Temperaturniveau erhöht sich; die Baufeuchte nimmt ab; auch alte Möbel können austrocknen
- **SETZUNGSRISSSE:**  
Die Gesamtstatik des Gebäudes wird durch nachträgliche Öffnungen und umfangreiche Stemmarbeiten beeinflusst.
- **UNVORHERSEHBARES:**  
Oft werden erst beim Freilegen von Bauteilen Schäden sichtbar.
- **SCHADHAFTE LEITUNGEN:**  
Wasserleitungen können durch Korrosion oder Grundleitungen durch Wurzelwerk möglicherweise schadhaft sein. Auch veraltete Elektroleitungen können ein Gefahrenpotential darstellen.
- **BESCHÄDIGUNG DURCH BAUABLAUF:**  
Auf erhaltenswerte Bauteile ist während der Umbauphase besonders zu achten. Schäden können auch durch die Lagerung von Baustoffen in Außenanlagen entstehen.
- **DIFFERENZ ZWISCHEN BERECHNETEM UND REALEM VERBRAUCH:**  
Es kann in manchen Fällen zu beträchtlichen Abweichungen kommen, zum Beispiel bei:
  - Höherer Raumtemperatur als angenommen
  - Höherem Luftwechsel z.B. bei Rauchern
  - Höherem Warmwasserverbrauch durch häufiges und ausgiebiges Duschen/Baden

---

[4] INGO GABRIEL/ HEINZ LADENER: Vom Altbau zum Niedrigenergie- und Passivhaus

## 4. GUTE GRÜNDE FÜR EIN PASSIVHAUS

### 4.1. WOHNKOMFORT

Energiesparende Häuser bieten den Nutzern erhöhten Wohnkomfort und ein gesundes Raumklima. Die thermische Behaglichkeit spielt hierbei eine entscheidende Rolle:

- Raumlufttemperatur: 18°C-24°C
- Oberflächentemperatur der raumumschließenden Flächen: nicht weniger als 3 Kelvin unter Raumtemperatur
- Luftfeuchtigkeit: relative Luftfeuchtigkeit zwischen 40% und 60%
- Luftgeschwindigkeit: mittlere Raumluftgeschwindigkeit unter 0,15m/s

[2]SCHUCK JUDITH: „Passivhäuser- Bewährte Konzepte und Konstruktionen“

#### 4.1.1. BEHAGLICHKEIT

Im Allgemeinen wird eine Lufttemperatur von 20°C bis 22°C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50% bis 70% als angenehm empfunden.

Die Oberflächentemperatur der raumbildenden Flächen hat jedoch auch einen sehr entscheidenden Einfluss auf die Behaglichkeit. Wenn also die Oberflächentemperatur relativ hoch ist, kann die Raumtemperatur um 1°K bis 2°K gesenkt werden, ohne die Behaglichkeit zu verändern. Der Grund dafür liegt in der Körperstrahlung. Somit können ohne Einschränkungen Heizkosten gespart werden.

[5] BRÄNDLE;EVEMARIE: „Sanierung alter Häuser“

Abb.06 zeigt die Behaglichkeit im Spannungsfeld zwischen relativer Luftfeuchtigkeit und Raumtemperatur. Das Optimal-Feld liegt hier zwischen 20°C und 22°C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 45%. Abb.05 zeigt die Behaglichkeit in Abhängigkeit von Oberflächentemperatur und Räumlufttemperatur. Kombiniert man diese Diagramme ergeben sich die oben erwähnten Vorteile.

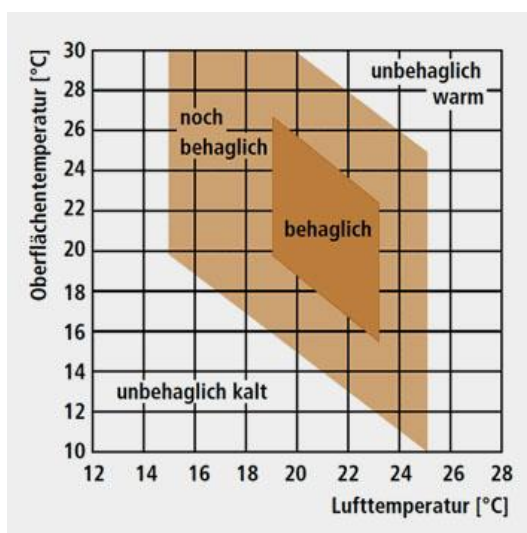


Abb.05: Behaglichkeitsdiagramm Oberflächentemp.

#### Das Behaglichkeitsfeld

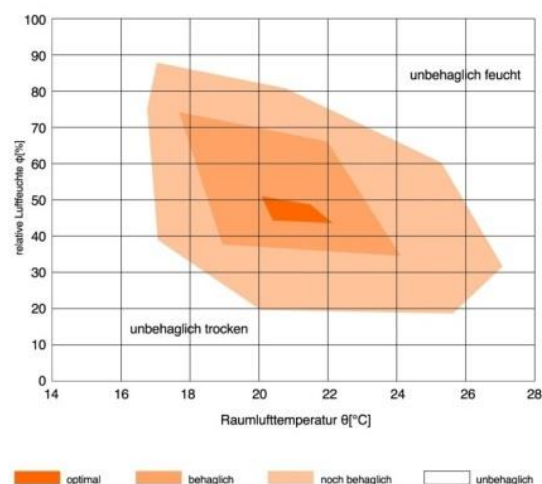


Abb.06: Behaglichkeitsfeld Luftfeuchte

{7} <http://www.holzfasern.org>

{8} <http://www.bundesbaublatt.de>



## **4.2. UMWELTSCHUTZ**

Umweltschutz bedeutet auch soziale Verteilung von Ressourcen fossiler Energieträger. Dies kann nur durch eine Reduktion der Ressourcen-Verschwendung allgemein bewerkstelligt werden. Statistische Prognosen einer Verdoppelung des LKW-Verkehrs bis zum Jahr 2025 in Deutschland unterstützen zwar nicht dieses Ziel, können aber vermutlich nur dann eintreten, wenn auch genug Energie für diese Fahrten vorhanden ist.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die zur Verfügung stehende Energie auch verbraucht wird. Ein Drittel der Primärenergie wird in Deutschland nur für das Beheizen von Gebäuden verwendet. Alle Haushalte zusammen benötigen, bezogen auf den gesamten Energieverbrauch der Haushalte, etwa drei Viertel der benötigten Energie für die Raumheizung.

## **4.3. PENSIONSVERSICHERUNG**

Wer einmal in ein gutes und dauerhaftes System investiert hat, kann sich auch in vielen Jahren noch über niedrige Energiekosten für das Betreiben des Wohnheimes erfreuen.

## **4.4. INVESTMENT**

Beste Renditen für das angelegte Geld, mit oder ohne staatliche Förderung, sind möglich. Die hochwertige Planung und Ausführung bei Passivhäusern, sowie die lange Lebensdauer der einzelnen Komponenten garantieren einen hohen Werterhalt und einen hohen Wiederverkaufswert.

## 5. WICHTIGSTE PASSIVHAUSKRITERIEN

Die Abb.07 zeigt die Endenergiekennwerte in kWh/(m<sup>2</sup>a) der verschiedenen Baustandards. Der sehr hohe Endenergiekennwert beim Altbau, eine stufenweise Reduzierung des Endenergiekennwertes durch strengere Bauvorschriften und die Positionierung vom Passivhaus bis hin zum Plusenergiegebäude werden hier angeführt.

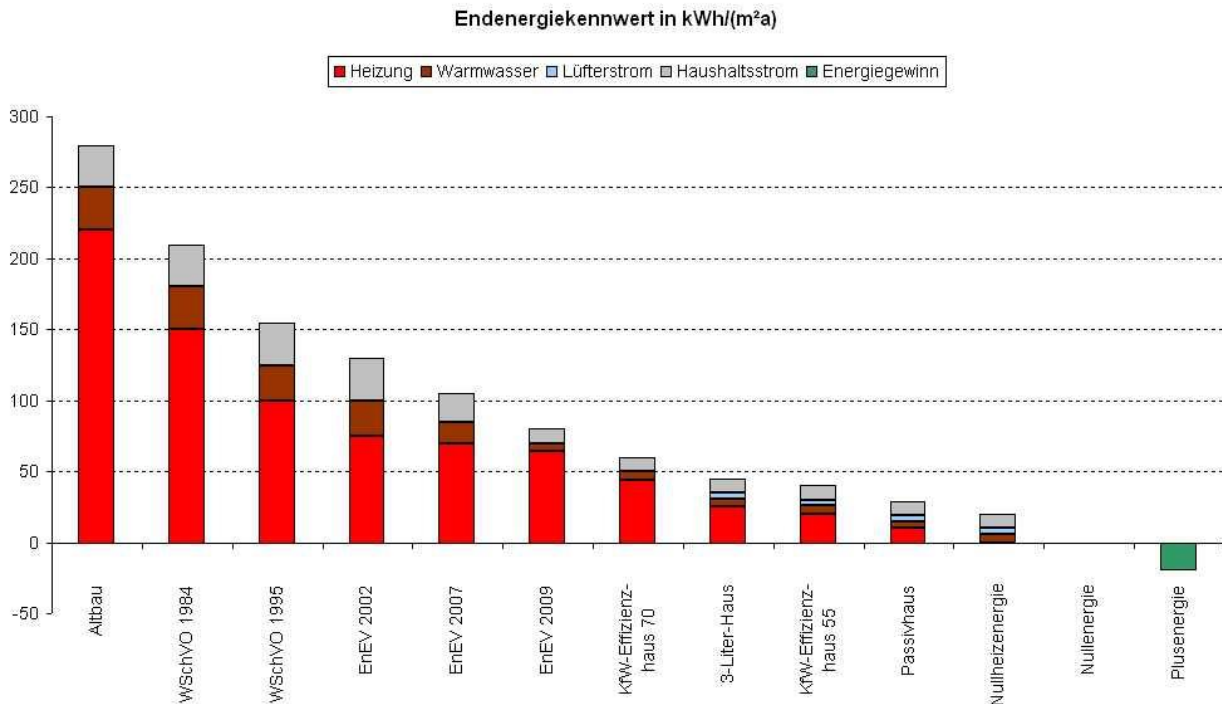


Abb.07: Endenergiekennwerte in kWh/(m<sup>2</sup>a)

### 5.1. PASSIVHAUSKRITERIEN

- Jahresheizwärmebedarf < 15 kWh/m<sup>2</sup>a NNFL (PHPP) < 10 kWh/m<sup>2</sup>a BGF (OIB)
- Jahresprimärenergiebedarf für Heizung, Brauchwasser, Lüftung und Haushaltsstrom < 120 kWh/m<sup>2</sup>a
- Hochgedämmte Gebäudehülle,  $U < 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Vermeidung von Wärmebrücken
- Kompakter Baukörper
- Passive Solarenergienutzung durch Südorientierung und Verschattungsfreiheit
- Superverglasung und Superfensterrahmen,  $U_w < 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; g-Wert um 50%
- Luftdichtheit  $n_{50} < 0,6/\text{h}$  (max. 0,6-facher Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz)
- Wärmerückgewinnung aus der Abluft, Wärmebereitstellungsgrad > 75%
- Hocheffiziente Stromspargeräte für den Haushalt
- Trinkwassererwärmung durch z.B. Solarkollektoren oder Wärmepumpen
- Passive Luftvorwärmung durch z.B. Erdwärmetauscher
- Hocheffiziente Lüftungsanlage mit Abluftwärmerückgewinnung (Wärmebereitstellungsgrad  $\eta_{WRGeff} = 75\%$ ; Stromeffizienz  $peff < 0,45 \text{ Wh}/\text{m}^3$ )

{5} <http://www.passivhaus.de>

## 5.2. VORTEILE DURCH DEN PASSIVHAUS-STANDARD

- Erhebliche Energie- und Nebenkosteneinsparungen
- Steigerung der Unabhängigkeit in Bezug auf fossile Energieträger
- Bessere innere Luftqualität durch mögliche CO<sub>2</sub> - und Feuchtesteuerung
- Unbelasteter Aufenthalt für Allergiker durch hochwertige Luftfilter
- Keine Wärmebrücken, demnach kein Feuchte - und Schimmelbefall
- Geringe Temperaturschwankungen im Sommer wie auch im Winter
- Durch hohen Dämmstandard Überhitzungsreduzierung im Sommer
- Keine Zugerscheinungen durch offen stehende Fenster
- Keine Staubaufwirbelung durch Radiatoren
- Vermeidung von Lärmbelastung durch geschlossene Fenster
- Allgemein verbesserter Schallschutz der Gebäudehülle
- Erhöhung der Oberflächentemperaturen = Erhöhung der Behaglichkeit
- Verbesserte Lehr- u. Lernbedingungen durch gleichbleibend gute Luftqualität

{5} <http://www.passivhaus.de>

## 5.3. SOMMERLICHE ÜBERHITZUNG

### 5.3.1. BESCHATTUNG

Bei nach Süden orientierten Gebäuden mit großen Fenstern, kann durch Balkone oder Dachüberstände sehr einfach und effizient ohne mechanisch bewegte Teile und somit auch wartungsfrei im Sommer gekühlt / beschattet werden. Im Winter hingegen kann die Sonne aufgrund des geringeren Einstrahlungswinkels ungehindert einstrahlen.

Bei sehr hohem Glaseinsatz kann es in der Übergangszeit dennoch zu einer unangenehmen Überhitzung kommen.

Besser eignen sich hier außenliegende Lamellen, wie sie unbedingt bei ost- und noch wichtiger bei west- orientierten Fenstern eingesetzt werden sollten.

Spezielle Lamellen mit unterschiedlichen Winkeln ermöglichen nicht nur eine individuelle Steuerung, sondern bringen auch einen Teil des Tageslichts durch Reflexion tief in das Rauminnere. Dadurch kann oftmals auf die künstliche Belichtung am Tag verzichtet werden.

### 5.3.2. NACHT KÜHLUNG

Je nach Standort des Gebäudes kann in der Nacht dementsprechend durch niedrige Außenluft-Temperaturen gekühlt werden. Im Leichtbau z.B. bei einer Holzständerkonstruktion mit Zellulosedämmung, kann das Gebäude sehr rasch auf die gewünschte Temperatur gebracht werden.

Massive Bauweisen brauchen dagegen schon wesentlich länger um die gespeicherte Energie wieder los zu werden. Das Aufheizen erfolgt ebenso träge wie die Abkühlung.

### 5.3.3. WANDHEIZUNG- KÜHLUNG

Um Baumassen nicht zu überwärmen, werden speziell bei sehr großen Baukörpern, wie z.B. der Siemens-Zentrale: - thermisch- saniertes Gebäude [Deutschland] mit Hilfe der Wettervorhersage rechtzeitig Maßnahmen getroffen. Das kann bedeuten, dass bereits eine Woche vor einer vorangekündigten Hitzewelle der gesamte Komplex auf das unterste, als angenehm empfundene Temperaturniveau gekühlt wird. Das ermöglicht eine bessere Auslastung der Anlage.

### **5.3.4. WOHNRAUMLÜFTUNG- KÜHLUNG**

Eine kontrollierte Be- und Entlüftungsanlage kann mit der nötigen Ausstattung kühlende Frischluft in das Gebäude einbringen. Hier müssen jedoch folgende Punkte beachtet werden.

- Einblastemperatur darf nicht zu kalt werden
- Luftwechselzahl nur begrenzt steigern
- Luftströmungsgeschwindigkeit begrenzt wegen Luftzug
- Kondensat
- usw.

## **6. WÄRMEBEREITSTELLUNG**

### **6.1. RAUMHEIZUNG UND WARMWASSERBEREITUNG**

Zusätzlich zu einer gut gedämmten Gebäudehülle und passiver Sonnennutzung über Fenster usw., entsteht ein Wärmebedarf bei ungünstiger Wetterlage für die Raumheizung. Außerdem muss für die Warmwassererzeugung eine ausreichende Wärmemenge zur Verfügung stehen.

#### **6.1.1. SOLARE NUTZUNG FÜR RAUMHEIZUNG UND WARMWASSERBEREITUNG**

Solare Nutzung ergibt eine sehr einfache und jahrelang erprobte Technik, die einen guten Teil der nötigen Wärmemenge für die Warmwasserbereitung zur Verfügung stellt. Bei einem 4-Personenhaushalt werden in Österreich ca. 8m<sup>2</sup>-10m<sup>2</sup> Kollektorflächen benötigt. Ab 14m<sup>2</sup> kann in der Übergangszeit mit einem Überschuss gerechnet werden, der für die Raumheizung von Bedeutung ist.

Bis zu 500kWh/m<sup>2</sup>a können gewonnen werden. Somit können bei 10m<sup>2</sup> Kollektorfläche ca. eine Tonne/Jahr an Pellets gespart werden.

#### **6.1.2. SOLARE NUTZUNG FÜR STROMERZEUGUNG-PHOTOVOLTAIK**

Weniger die Stromgewinnung der einzelnen Wohnhäuser soll hier im Vordergrund stehen, sondern vielmehr die dezentrale flächendeckende Stromerzeugung mit zentralen Steuerungen. Viele kleine Lieferanten garantieren ein viel stabileres Netz mit kürzeren Stromwegen und deren Verlusten. Oft wird sogar ein beträchtlicher Teil des vor Orts erzeugten elektrischen Stroms gleich wieder verbraucht: Umwälzpumpen, welche bis zu mehreren tausend Betriebsstunden im Jahr aufweisen und sonstige Elektrogeräte, Steuerungen, PC usw.

Des Weiteren kann der selbst erzeugte Strom wesentlich zur Verbesserung der Primärenergiebilanz bei Passivhäusern beitragen.

## 7. BIOBAUSTOFFE

### 7.1. DIE SINNHAFTHKEIT VON BIOBAUSTOFFEN

Entgegen den Behauptungen, dass ausreichend viele künstlich hergestellte Dämmstoffe den Markt bedienen, gibt es viele gute Gründe Biobaustoffe einzusetzen.

#### 7.1.1. VORTEILE VON BIOBAUSTOFFEN

- Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit
- Ca. 1/10 Verbrauch der Primärenergie gegenüber herkömmlichen Baustoffen
- Jährlich nachwachsend und regional verfügbar
- Diffusionsoffen und feuchteregulierend
- Bei Rückbau einfache Entsorgung
- Biologisch abbaubar

[1] ENZ/ HASTINGS: „Innovative Wandkonstruktionen – Für Minergie- P und Passivhäuser“

#### 7.1.2. NACHTEILE VON BIOBAUSTOFFEN

- Bauschäden bei lang andauernder Feuchtigkeit innerhalb der Konstruktion
- Große Wandstärken in dicht bebauten Gebieten
- Generell sollte die Materialfeuchte unter 15% gehalten werden, also keine Lagerung auf der Erde, beim Einbau und bei Wänden verhindern, dass kein Schlagregen die Konstruktion durchfeuchtet.

### 7.2. STROH ALS DÄMMSTOFF IM DACHBODEN

Mehrjährige Tests in meiner Eigenverantwortung haben gezeigt, dass das Aufbringen von Biobaustoffen auf die oberste Geschoßdecke ohne besondere Maßnahmen einwandfrei funktioniert.

Wenn diese relativ trocken sind, ist auch im Einbauzustand nicht mit Schimmel zu rechnen.

Gerade bei alten Gebäuden mit einem großen Dachboden kann hier nach Belieben die Dämmstärke erhöht werden, solange die maximale Flächenbelastung nicht überschritten wird.

Brandtests ergaben, dass Strohballen B2 = normal brennbar sind. Der Brandwiderstand einer Strohballenkonstruktion, wie sie beispielsweise beim S-House zum Tragen kommt, erreicht hier F90.

Sollte einmal der Dachboden ausgebaut werden, kann das Dämmmaterial leicht entfernt bzw. recycelt oder in die Landwirtschaft rückgeführt werden, ökonomisch und ökologisch sinnvoll.

{6} [www.s-house.at](http://www.s-house.at)

### 7.3. HOHE MASSE BEI DÄMMSTOFFEN

Aufgrund der hohen Masse haben Stroh, Schilf, Sägespäne, Flachs usw. eine relativ hohe Wärmespeicherkapazität und demzufolge auch eine gewisse Trägheit zusätzlich zu deren Wärmedurchlasswiderstand.

So benötigen diese Baustoffe auch mehrere Tage bis zur vollständigen Durchwärmung als auch zur Abkühlung. Dadurch können sehr gut Spitzen abgedeckt werden ohne etwas im Rauminnen wahrzunehmen.

## 8. TECHNOLOGIE

### 8.1. HIGHTECH-LOWTECH

Die rasante Entwicklung im Hightech-Bereich lässt glauben, dass all die zukünftigen Probleme mit Mikroprozessoren, Biotechnik und Robotik gelöst werden können.

Trotz aller Vorteile dieser Errungenschaften sind auch Dinge mit wenig bis gar keinem Technikeinsatz dazu geeignet, große Ziele zu erreichen.

Wenn ein hochkomplizierter Luftbefeuchter für Büros zum Einsatz gebracht werden muss, um einigermaßen gute Atemluft zu erzeugen, sei auf ein mittlerweile 10 Jahre altes Bauprojekt (Achleitner Biohof, Büro-Verkauf-Restaurant-Lager-Logistik „Die Biokiste“) hingewiesen, dass hier eine gute Mischung aus beidem schafft. Einerseits wurde das Gebäude mit mehreren Sensoren ausgestattet, sodass die Heizung, Be- und Entlüftung, Belichtung und Beschattung großteils automatisch und durch sich selbst optimierende Prozesse gesteuert wird. Andererseits wurde das Bürogebäude mit einer Vielzahl an speziellen Pflanzen bestückt, um einerseits die Luftfeuchtigkeit speziell im Winter auf einem guten Niveau halten zu können und andererseits an heißen Tagen im Sommer die Temperatur um 3-4°C zu senken.

Dazu kommt, dass auch jeder Computerarbeitsplatz durch Bepflanzung einen grünen Blendschutz bekommt. Die Zufriedenheit der Mitarbeiter in diesem Unternehmen lässt darauf schließen, dass hier die Firmen-Philosophie, viele dem Menschen zuträgliche Faktoren beinhaltet.

Da wundert es nicht, wenn (10)Maik Novotny im Standard (Architekturteil: Album A8) vom Sa.05.Sept.2015, unter anderem schreibt: „Lowtech steht Hightech an Intelligenz um nichts nach“.

### 8.2. WACHSENDER SONNENSCHUTZ

Konzept des Sonnenschutzes am Objekt W6:

#### **Altbau:**

Braucht keinen Sonnenschutz, da die Fenster eher klein sind und die raumbildenden Massen sehr viel ausmachen, daher die solaren Erträge je Volumen bzw. je Flächen sehr gering sind und dadurch kaum zum Tragen kommen. Hinzu kommt die Ausrichtung dieser Fenster (ONO) und (SSO) und vorgelagerte Bäume.

#### **Zubau(1990):**

Hier existieren bereits Rollläden und sorgen ausreichend für Schutz.

#### **Zubau-Neu:**

Hier besteht sehr wohl die Gefahr der sommerlichen Überwärmung. Dadurch wurde ein außenliegender natürlicher, mit zunehmender Sonnenintensität wachsender Sonnenschutz, angedacht. So, wie dieser im Frühjahr das Wachstum der Blätter und die Bildung neuer Ranken die steigende Sonnenleistung abhält, verliert er zum Herbst hin, dem Jahreszyklus entsprechend, allmählich durch Abfallen der Blätter an Wirkung. Die angenehme Herbstsonne kann somit wieder tief ins Rauminnere vordringen. Zusätzlich bietet dieser Sonnenschutz den Hauseigentümern einen reichen Garten an Trauben.

Wahlweise kann hier, je nach Bedarf nachgeschnitten oder das Ganze sich selbst überlassen werden.

Diese Art von Selbstversorgung bietet sich auch für Objekte in der Stadt an, sofern die Erreichbarkeit der Ranken und Früchte ohne Absturzgefahr gewährleistet ist.

Über die „ESSBARE STADT“ schreibt auch (11) Jürgen Schmücking, in Genuss Grübeleien, im „LebensArt“ vom 04/2015 Seite 43, wo er über das Nutzen von kleinen und größeren Räumen spricht, die den Menschen zur Verfügung stehen, um ein paar Dinge selbst zu pflanzen und zu ernten.

## 9. THERMISCHE BESTANDSANALYSE UND MÖGLICHE SANIERUNGSSCHRITTE AM OBJEKT W6

Im Zuge einer Projektarbeit während einer Energieberaterausbildung wurden von den Kollegen Georg Habacher und Alois Schmidmair gemeinsam folgende Berechnungen angestellt und Ergebnisse erzielt:

Die Überlegung der Sanierungsschritte geht über die klassische Vorgehensweise hinaus.

Eine differenzierte Betrachtung einer schrittweisen Sanierung soll Erkenntnisse bringen, was welche Maßnahmen bewirken und wie sich deren Kombinationen jeweils auswirken, um für die spezielle Situation entsprechende Bewertungen vorzunehmen.

Zusätzlich werden verschiedene Gebäudeteile einzeln und auch kombiniert betrachtet. Das Objekt W6 besteht aus 3 Bereichen. In dieser Analyse wird untersucht, ob und in welchem Umfang Einzelmaßnahmen sinnvoll und umsetzbar sind.

Wie stark einzelne Komponenten verbessert werden müssen um, wie in diesem Fall in Oberösterreich eine Förderung zur Thermischen Sanierung zu erhalten wird folgend aufgezeigt.



Abb.08: W6, Altbau mit Wirtschaftstrakt



Abb.09: W6, Zubau(1990), WSW-Fassade

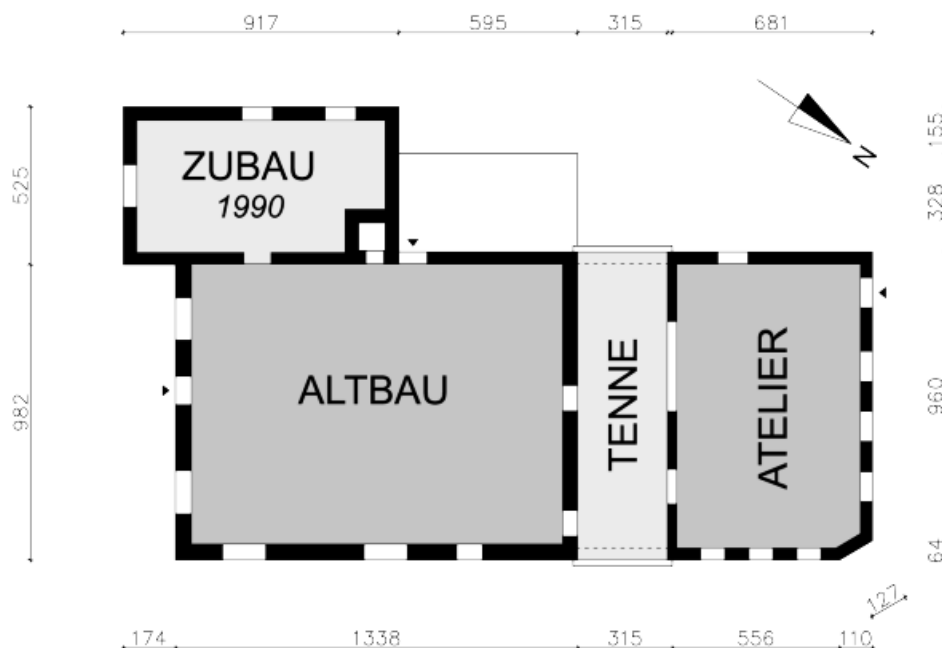


Abb.10: Schema ALTBAU/ZUBAU(1990) Wohnhaus / Tenne / Atelier GR

## BODENAUFBAUTEN:

Die einzelnen Farbbereiche in Abb.11 kennzeichnen die verschiedenen Bodenaufbauten, wie sie beim Objekt W6 vorhanden sind, oder umgesetzt werden sollen.  
Im Anhang D1 befinden sich die Schichtaufbauten.

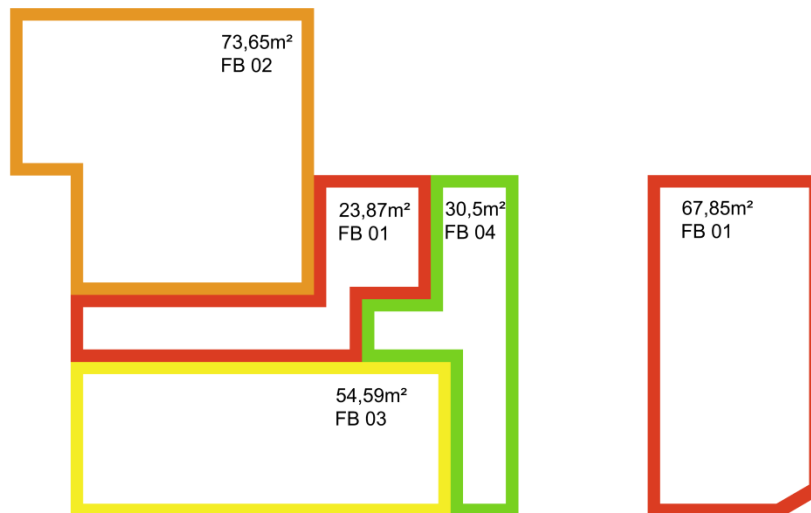


Abb.11: Schema Bodenaufbauten

### **Boden orange:**

Zeigt die Verschneidung zwischen Altbau und Zubau(1990). Hier wurde im Zuge der Bauarbeiten ein Teil des Bestandes mitsaniert und hat in etwa die gleiche Qualität, wie der Zubau(1990).

### **Boden gelb:**

Durch die derzeitige Nutzung in diesem Bereich kann erst zu einem späteren Zeitpunkt eine Sanierung erfolgen.

### **Boden grün:**

Hier ist nur bedingt ein kleiner Eingriff möglich und erwünscht.

### **Boden Rot:**

In diesen Bereichen bestehen zurzeit die besten Voraussetzungen, um einen umfassenden Eingriff vorzunehmen. Dies bietet sich möglicherweise auch noch im Bereich der Tenne.



## 9.1. ANALYSE DES BESTANDS: ALTBAU-ZUBAU(1990)

Die Außenwände des Altbaus haben unterschiedliche Aufbauten. Das Erdgeschoß wurde mit Vollziegeln und einer Innendämmung aus wenigen Zentimetern Heraklith ausgeführt, das Obergeschoß mit etwas schlankeren Wänden aus Hohlziegeln und einem relativ dicken Innenleichtputz.

Der Zubau besteht aus einem Isolierziegel mit 38cm mit einer Isolierputzlage von 6cm.

Im Wesentlichen wurden Holzfenster mit Isolierverglasung und Holz-Kastenfenster eingesetzt.

Die gute Dämmung aus Heu und Stroh über der obersten Geschoßdecke wurde im Laufe der Zeit teilweise stark verringert. Die Decke über dem Zubau(1990) wurde nach dem damaligen Standard ausgeführt und zeigt keine merklichen bauphysikalischen Mängel oder Schäden.

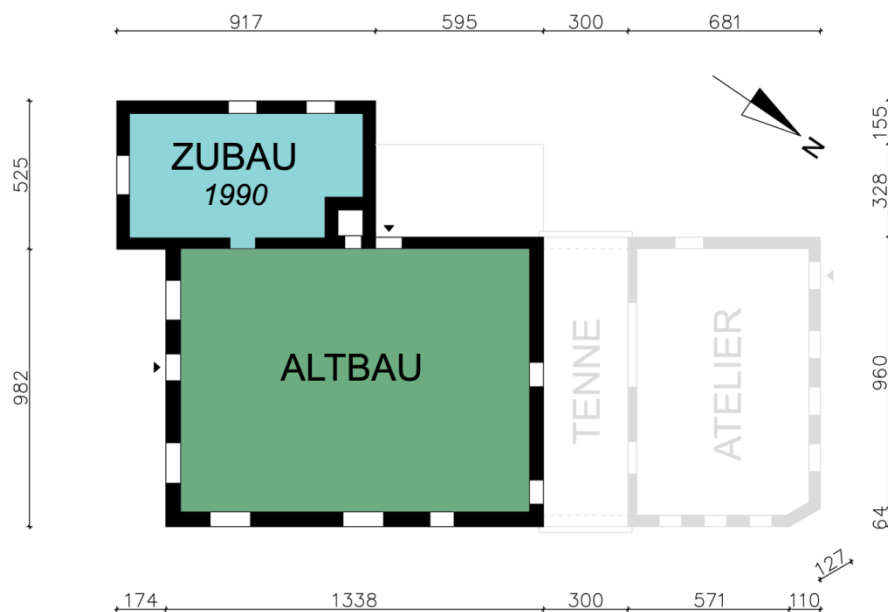


Abb.12: Schema ALTBAU/ZUBAU(1990) Wohnhaus GR

### Die derzeitige Situation im Alt- und Zubau(1990) sieht wie folgt aus:

Der Wohntrakt hat einen  $HWB_{BGF}$  von  $141,89 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  ( $Q_H = 51429 \text{ kWh/a}$  entspricht  $10714 \text{ kg}$  Pellets bzw.  $12459 \text{ kg}$  mit einem Nutzungsgrad von  $86\%$  ( $2865,47 \text{ €}$  bei  $230 \text{ €/t} + 30 \text{ €}$  Lieferkosten)).

Für eine Fläche von  $362,46 \text{ m}^2$  wären  $22,5 \text{ kW}$  Heizleistung nötig.

$52141 \text{ kWh}$  Transmissionswärmeverluste sind nur knapp unter dem Heizwärmebedarf. Die nutzbaren solaren und inneren Gewinne gleichen hier die Lüftungswärmeverluste aus.

Die U-Werte des Altbaus sind im Bereich von  $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  u.  $1,02 \text{ W/m}^2\text{K}$  bei Außenwänden,  $1,06 \text{ W/m}^2\text{K}$  u.  $2,03 \text{ W/m}^2\text{K}$  bei Decken,  $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$  u.  $2,08 \text{ W/m}^2\text{K}$  bei Böden, sowie  $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$  und  $2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  bei Fenster und Türen.

Die U-Werte des Zubaus bewegen sich zwischen  $0,46 \text{ W/m}^2\text{K}$  u.  $0,48 \text{ W/m}^2\text{K}$  bei Außenwänden sowie  $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$  u.  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  bei Fenster und Türen. Der U-Wert der Decke ist  $0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$  der des Bodens  $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

**Sanierungsvarianten an ALTBAU-ZUBAU(1990):**

In Abb.13 werden die Berechnungsergebnisse des bestehenden Wohntrakts angeführt. Die erste Zeile zeigt die Ausgangssituation. In weiterer Folge werden einzelne Verbesserungen, wie z.B. Boden oder (Boden, nur BROT) dargestellt. (Boden, nur BROT) heißt, dass der Bereich des Bodens betroffen ist und die restlichen raumbildenden Elemente keine thermischen Verbesserungsmaßnahmen erfahren. BROT bedeutet, dass nur der in Abb.11 in rot gezeichnete Bereich [B steht für Boden] eine thermische Verbesserung erhält. Kurz gesagt, BROT heißt: Sanierung des Bodens mit roter Markierung. Analog dazu: BGRUEN heißt: Sanierung des Bodens mit grüner Markierung. OGD= oberste Geschosdecke.

Zuerst nur Einzelmaßnahmen:

Hinweise	kWh		Ein-		kW		Ein-						
	HWB <sub>BGF</sub>	Q <sub>H</sub>	spar.	Heizl.	NEZ	Komp.	Q <sub>T</sub>	spar.	Q <sub>V</sub>	Q <sub>S</sub>	Q <sub>S</sub> nu.	Q <sub>I</sub>	Q <sub>I</sub> nu.
<b>Ausgangsbasis</b>	141,89	51429	0,0	22,5	142,29	0,80	52141	0,0	9549	5957	3671	9525	6591
<b>nur Boden</b>	124,21	45022	12,5	20,1	124,57	0,80	45433	12,9	9549	5957	3547	9525	6414
<b>Boden, BGRUEN San1</b>	125,36	45440	11,6	20,2	125,72	0,80	45872	12,0	9549	5957	3556	9525	6426
<b>Boden, nur BROT</b>	134,62	48796	5,1	21,5	135,01	0,80	49390	5,3	9549	5957	3622	9525	6521
<b>nur Fassade Altbau</b>	121,93	45786	11,0	20,4	124,66	0,77	46075	11,6	9894	5957	3544	9869	6639
<b>nur Fenster</b>	136,30	49404	3,9	21,7	136,69	0,80	50026	4,1	9549	5957	3634	9525	6538
<b>OGD nicht Norm!</b>	104,70	37950	26,2	17,3	105,00	0,80	37969	27,2	9549	5957	3387	9525	6182
<b>OGD</b>	108,00	39147	23,9	17,8	113,93	0,73	39238	24,7	9549	5957	3416	9525	6224
<b>OGD nach Ing. Alois</b>	102,19	37041	28,0	17,0	107,80	0,73	37004	29,0	9549	5957	3364	9525	6149
<b>Hier werden zwei oder mehrere Maßnahmen kombiniert:</b>													
<b>MIT TENNE ALS PUFFER:</b>													
<b>Gesamtsanierung</b>	62,63	23519	54,3	11,7	67,31	0,71	22233	57,4	9894	5957	2924	9869	5683
<b>OGD, Boden San1 BGRUEN</b>	90,67	32865	36,1	15,4	95,64	0,73	32551	37,6	9549	5957	3252	9525	5984
<b>OGD, Fassade Altbau</b>	85,35	32050	37,7	15,1	91,72	0,71	31498	39,6	9894	5957	3210	9869	6132
<b>OGD, Fass. Altbau, BGRUEN</b>	68,11	25578	50,3	12,6	73,20	0,71	24491	53,0	9894	5957	3001	9869	5806
<b>OGD, Fass. Altbau, Fenster</b>	79,98	30032	41,6	14,3	85,95	0,71	29327	43,8	9894	5957	3149	9869	6038
<b>OGD, F-Altb., Fenst., BGRUEN</b>	62,63	23519	54,3	11,7	67,31	0,71	22233	57,4	9894	5957	2924	9869	5683
<b>OGD, F-Altb., Fenst., BROT</b>	72,72	27307	46,9	13,2	78,15	0,71	26376	49,4	9894	5957	3061	9869	5901
<b>OGD, Fass. Altbau, BROT</b>	78,14	29344	42,9	14,0	83,98	0,71	28584	45,2	9894	5957	3128	9869	6005
<b>OGD, nur Fenster</b>	102,62	37194	27,7	17,1	108,24	0,73	37167	28,7	9549	5957	3368	9525	6154
<b>OGD, Fenster, BGRUEN</b>	85,12	30854	40,0	14,6	89,79	0,73	30394	41,7	9549	5957	3193	9525	5896
<b>OGD, Fenster, BROT</b>	95,32	34549	32,8	16,0	100,54	0,73	34351	34,1	9549	5957	3299	9525	6053
<b>OGD, nur BROT</b>	100,78	36527	29,0	16,8	106,30	0,73	36458	30,1	9549	5957	3351	9525	6129
<b>Hier werden zwei oder mehrere Maßnahmen kombiniert:</b>													
<b>MIT TENNE OHNE PUFFER:</b>													
<b>Gesamtsanierung</b>	57,71	21673	57,9	11,0	63,87	0,67	20193	61,3	9894	5957	2850	9869	5564
<b>OGD, Boden San1 BGRUEN</b>	85,52	30998	39,7	14,6	92,94	0,69	30548	41,4	9549	5957	3198	9525	5903
<b>OGD, Fassade Altbau</b>	80,39	30187	41,3	14,4	88,96	0,67	29493	43,4	9894	5957	3154	9869	6046
<b>OGD, Fass. Altbau, BGRUEN</b>	63,19	23727	53,9	11,8	69,92	0,67	22462	56,9	9894	5957	2932	9869	5696
<b>OGD, Fass. Altbau, Fenster</b>	75,02	28173	45,2	13,6	83,03	0,67	27315	47,6	9894	5957	3090	9869	5946
<b>OGD, F-Altb., Fenst., BGRUEN</b>	57,71	21673	57,9	11,0	63,87	0,67	20193	61,3	9894	5957	2850	9869	5564
<b>OGD, F-Altb., Fenst., BROT</b>	67,78	25453	50,5	12,5	75,01	0,67	24354	53,3	9894	5957	2996	9869	5799
<b>OGD, Fass. Altbau, BROT</b>	73,20	27486	46,6	13,3	81,00	0,67	26570	49,0	9894	5957	3067	9869	5910
<b>OGD, nur Fenster</b>	97,44	35317	31,3	16,3	105,89	0,69	35170	32,5	9549	5957	3320	9525	6083
<b>OGD, Fenster, BGRUEN</b>	79,98	28991	43,6	13,8	86,92	0,69	28386	45,6	9549	5957	3135	9525	5809
<b>OGD, Fenster, BROT</b>	90,16	32678	36,5	15,3	97,98	0,69	32351	38,0	9549	5957	3247	9525	5976
<b>OGD, nur BROT</b>	95,60	34652	32,6	16,1	103,89	0,69	34461	33,9	9549	5957	3302	9525	6057

Abb.13: Sanierungsvarianten Wohnhaus mit Einzelmaßnahmen und Kombinationen

**WOHNHAUS IST-SITUATION:**

Abb. 14.1 zeigt das Verhältnis zwischen den Transmissionswärmeverlusten/ Lüftungsverlusten, solaren und inneren Gewinnen

Abb. 14.2 zeigt das Verhältnis zwischen Wärmeverlust und nutzbarer Wärmegewinne

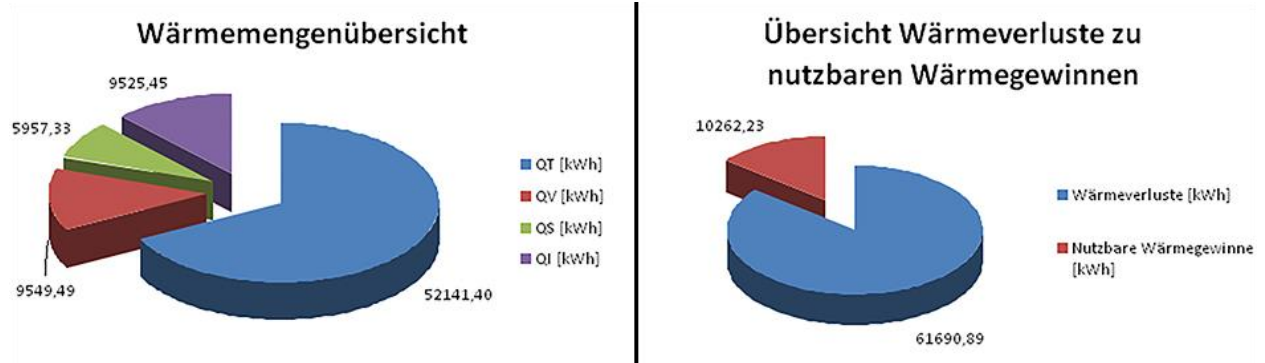


Abb.14.1: Wärmemengen Gewinn Verlust Wohnhaus    Abb.14.2: nutzbare Wärmegewinne Wohnhaus

Abb. 14.3 zeigt die Wärmegewinne zu nutzbaren Wärmegewinnen über die 12 Monate

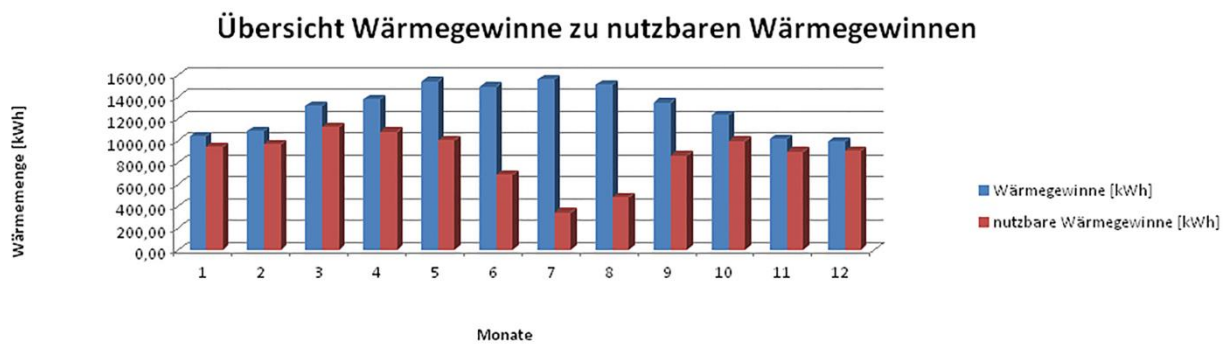


Abb.14.3: Wärmegewinne pro Monat

Abb. 14.4 zeigt das Verhältnis zwischen den Transmissionswärmeverluste/ Lüftungsverluste, solaren und inneren Gewinnen über die 12 Monate

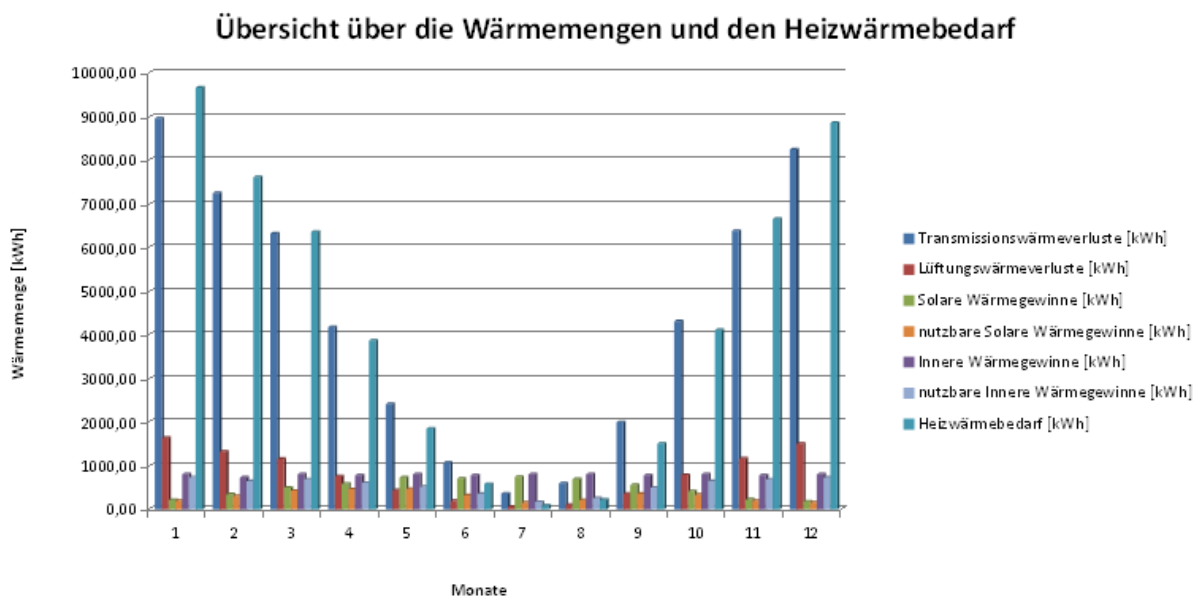


Abb.14.4: Energiegewinne/-verluste Wohnhaus Ist-Zustand pro Monat

## Die Werte aus Tabelle Abb.13 in Textform:

### Die Einzelmaßnahmen im Überblick:

#### **Fenstertausch** (außer Zubau(1990))

Der U-Wert wird von 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 2,3 W/m<sup>2</sup>K auf 0,90 W/m<sup>2</sup>K gesenkt. Das hat eine Verringerung der Transmissionswärmeverluste um 4,1% zur Folge. Der Heizwärmebedarf (Q<sub>H</sub>) sinkt „nur“ um 3,9%. Die Ursache dafür ist der geringere g-Wert der neuen Fenster. Das senkt die solaren Gewinne.

#### **Bodensanierung** (nur Boden rot)

Der U-Wert wird von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K gesenkt. Das hat eine Verringerung der Transmissionswärmeverluste um 5,3% zur Folge. Der Heizwärmebedarf (Q<sub>H</sub>) sinkt um 5,1%.

#### **Sanierung der Altbau-Außenwände**

10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte

Der U-Wert sinkt von 0,7 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Wand im Erdgeschoss) bzw. von 1,02 W/m<sup>2</sup>K auf 0,21 W/m<sup>2</sup>K (Wand im Obergeschoss). Das verringert die Transmissionswärmeverluste um 11,6% und den Heizwärmebedarf (Q<sub>H</sub>) um 11,0%.

#### **Bodensanierung** (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)

Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,44 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün). Das verringert die Transmissionswärmeverluste um 12,0% und den Heizwärmebedarf (Q<sub>H</sub>) um 11,6%.

#### **Bodensanierung** (alle Böden auf Bestwert, außer Zubau)

Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün). Dadurch sinken die Transmissionswärmeverluste um 12,9% und der Heizwärmebedarf um 12,5%.

Diese Variante ist nur von theoretischer Natur, da die Komplettsanierung des grün markierten Bodens einen enormen Aufwand bedeuten würde

#### **Dämmung der obersten Geschossdecke: Stroh** mit 74 cm

Der U-Wert der obersten Geschossdecke sinkt von 1,06 W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K. Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 24,7% und der Heizwärmebedarf um 23,9%.

### Die Maßnahmenkombinationen im Überblick:

#### **Dämmung der obersten Geschossdecke** mit 74 cm Stroh und **Fenstertausch**

Der U-Wert der obersten Geschossdecke sinkt von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K. Der Fenstertausch hat eine Senkung des U-Wertes von 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 2,3 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K zur Folge.

Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 28,7% und der Heizwärmebedarf um 27,7% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 32,5% und 31,3% (Tenne beheizt).

#### **Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh und **Boden rot**

Der U-Wert der obersten Geschossdecke sinkt von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K, der des „roten“ Bodens von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K. Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 30,1% und der Heizwärmebedarf um 29,0% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 33,9% und 32,6% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Fenster und Boden rot**

Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 2,3 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster) und von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot).

Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 34,1% und der Heizwärmebedarf um 32,8% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 38,0% und 36,5% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Bodensanierung(Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)**

Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke). Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,44 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 37,6% und der Heizwärmebedarf um 36,1% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 41,4% und 39,7% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh und Fassade Altbau 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte.** Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 0,7 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG) und 1,02 W/m<sup>2</sup>K auf 0,21 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 39,6% und der Heizwärmebedarf um 37,7% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 43,4% und 41,3% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Fenster und Bodensanierung (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)**

Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke) und 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 2,3 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster). Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,44 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 41,7% und der Heizwärmebedarf um 40,0% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 45,6% und 43,6% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Fassade Altbau 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte und Fenster**

Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 0,7 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG), 1,02 W/m<sup>2</sup>K auf 0,21 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG) und 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 2,3 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 43,8% und der Heizwärmebedarf um 41,6% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 47,6% und 45,2% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Fassade Altbau 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte und Boden rot**

Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 0,7 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG), 1,02 W/m<sup>2</sup>K auf 0,21 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG) und 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 45,2% und der Heizwärmebedarf um 42,9% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 49,0% und 46,6% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Fassade Altbau** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte, **Fenster und Boden rot**

Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 0,7 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG), 1,02 W/m<sup>2</sup>K auf 0,21 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG), 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 2,3 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster) und 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 49,4% und der Heizwärmebedarf um 46,9% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 53,3% und 50,5% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Fassade Altbau** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte und **Boden (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)**

Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 0,7 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG) und 1,02 W/m<sup>2</sup>K auf 0,21 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG). Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,44 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 53,0% und der Heizwärmebedarf um 50,3% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 56,9% und 53,9% (Tenne beheizt).

Mit einem **NEZ von 73,20 kWh/m<sup>2</sup>a** befindet man sich **gerade innerhalb der Fördergrenzen**.

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Fassade Altbau** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte, **Fenster und Boden (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)**

Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 0,7 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG), 1,02 W/m<sup>2</sup>K auf 0,21 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG) und 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 2,3 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster). Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,44 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 57,4% und der Heizwärmebedarf um 54,3% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 61,3% und 57,9% (Tenne beheizt).

### Fazit:

Die großen Einsparpotentiale liegen hier hauptsächlich im Bereich des Altbaus. Hier erweist sich die Dämmung der obersten Geschossdecke, mit 74 cm Stroh, klar und deutlich als die effektivste Maßnahme. Hier ist der Kosten-/Nutzen-Faktor am besten, vor allem da das Stroh sehr günstig gekauft werden kann. Die Decke des Zubaus wird mit Stroh mitgedämmt. Der Verbesserungseffekt im Altbau ist jedoch viel stärker (Senkung des U-Wertes von 1,06 W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K).

Für die Böden im Altbau besteht Sanierungsbedarf. Hier ist eine Reduzierung von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb), 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,439 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün) und 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot) möglich.

Die stärkere Verbesserung des grün markierten Bodens (U-Wert von 0,19 W/m<sup>2</sup>K) ist nur theoretischer Natur, da die Komplettsanierung einen enormen Aufwand bedeuten würde.

Der Boden des Zubaus bleibt mit einem U-Wert von 0,28 W/m<sup>2</sup>K von Sanierungsmaßnahmen ausgenommen, da Kosten/Nutzen in einem sehr ungünstigen Verhältnis stehen.

Obwohl die Sanierung der Fenster die geringste Energieeinsparung bietet, sollte sie noch vor der Sanierung der Fassade erfolgen. Werden die neuen Fenster bündig an die Außenkante der bestehenden Fassade gesetzt, können die Fensterrahmen im Zuge der Fassadensanierung gut überdämmt werden. Dies erspart die Leibungsdämmung und verringert Wärmebrücken.

Die Sanierung der Fassade des Altbaus und gegebenenfalls des Zubaus kann in Folge abschnittsweise oder in einem Zug durchgeführt werden. Hier sollte auch gleich die Dämmung des erdanliegenden Bereichs mit eingebunden werden.

**Um eine Förderung zu erreichen, ist eine Gesamtsanierung erforderlich.** Einzig der Zubau braucht hier nicht verändert zu werden.

In diesem Fall wäre jedoch der U-Wert der Außenwand des Zubaus mit 0,48 W/m<sup>2</sup>K mehr als doppelt so hoch wie bei den restlichen Außenwänden.

Erfolgt die **Sanierung ohne Fenstertausch** beträgt der **HWB<sub>BGF</sub> = 68,11** und der **NEZ = 73,20 kWh/m<sup>2</sup>a**.

Die Transmissionswärmeverluste sinken um 53%. Der Heizwärmebedarf halbiert sich.

Bei der **Sanierung mit Fenstertausch** beträgt der **HWB<sub>BGF</sub> = 62,63** und der **NEZ = 67,31 kWh/m<sup>2</sup>a**. Die Transmissionswärmeverluste sinken um 57,4%. Der Heizwärmebedarf reduziert sich um 54,3%.

Die **Heizlast sinkt von 22,5 kW auf 11,7 kW**.

Der Heizwärmebedarf des Bestands ( $Q_H = 51429$  kWh/a) entspricht 10714 kg Pellets bzw. 12459 kg mit einem Nutzungsgrad von 86%. Dafür sind 2865,47 € bei 230 €/t + 30 € Lieferkosten zu bezahlen.

Der Heizwärmebedarf der Gesamtsanierung ( $Q_H = 23519$  kWh/a) entspricht 4900 kg Pellets bzw. 5697 kg mit einem Nutzungsgrad von 86%. Dafür sind 1310,41 € bei 230 €/t + 30 € Lieferkosten zu bezahlen. Das entspricht **einer jährlichen Ersparnis von 1555,06 €** (bei 230€/t).

**WOHNHAUS NACH SANIERUNG:**

Abb. 15.1 zeigt das Verhältnis zwischen den Transmissionswärmeverlusten/ Lüftungsverlusten, solaren und inneren Gewinnen

Abb. 15.2 zeigt das Verhältnis zwischen Wärmeverlust und nutzbarer Wärmegevinne

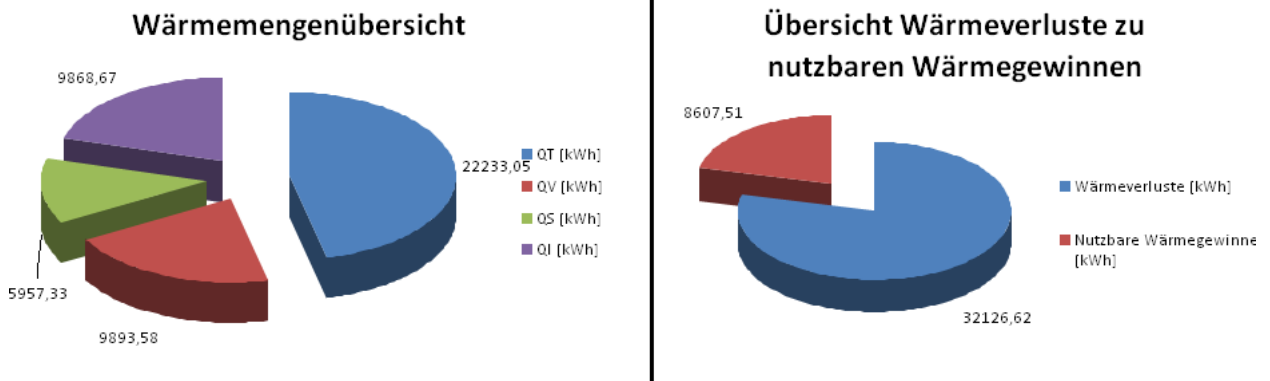


Abb.15.1: Wärmemengen Gewinn Verlust Wohnhaus

Abb.15.2: nutzbare Wärmegevinne Wohnhaus

Abb. 15.3 zeigt die Wärmegevinne zu nutzbaren Wärmegevinnen über die 12 Monate

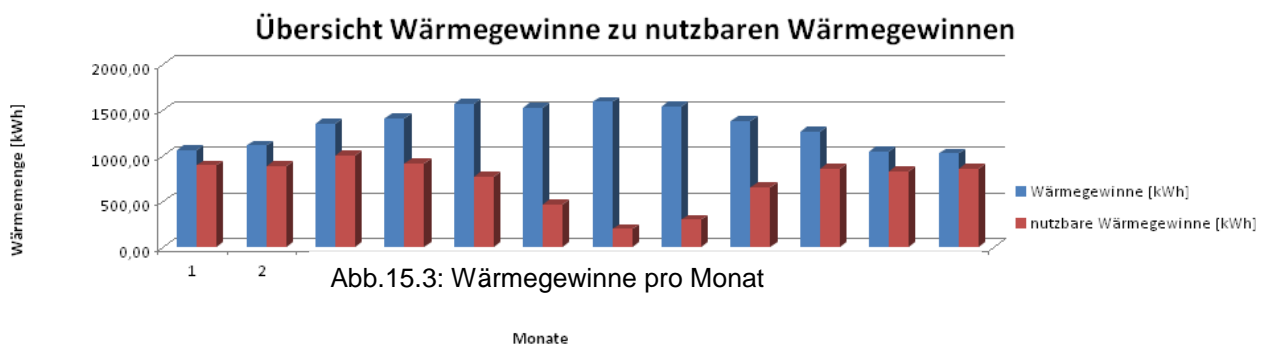


Abb.15.3: Wärmegevinne pro Monat

Abb. 15.4 zeigt das Verhältnis zwischen den Transmissionswärmeverlusten/ Lüftungsverlusten, solaren und inneren Gewinnen über die 12 Monate

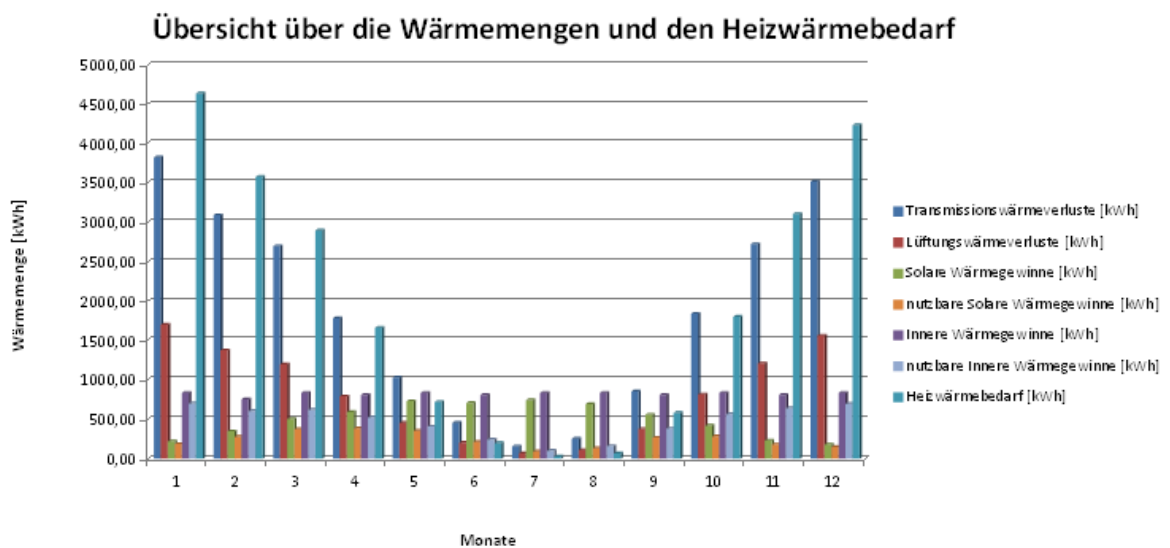


Abb.15.4: Energiegevinne/-verluste Wohnhaus nach Sanierung pro Monat



## 9.2. ANALYSE DES ATELIER (VORMALS STALLGEBÄUDE)

Als Ausgangspunkt für die Analyse dient die Situation, wie sie derzeit vorliegt. Da der ehemalige Stall für Rinder, Schweine usw. konzipiert wurde, bestehen die Wände aus soliden Ziegeln mit hartem Putz, Fenstern mit Einscheibenverglasung, einer massiven Decke und einem Betonfundament. Der Isolierwert ist schlecht. Die hohe Masse sorgt für ein träges System.

Der Putz ist sehr gut erhalten und weist keine Ausblühungen auf. Hier scheint der Zementschliff, der bei der Errichtung des Stalls aufgetragen wurde, eine gute Schutzwirkung geboten zu haben.

Über der Massivdecke lagert derzeit noch Heu und Stroh. Die Entwicklung diesbezüglich ist unklar. Für die weiteren Überlegungen wird davon ausgegangen, dass hier das komplette Heu abgeräumt wird und als Ausgangssituation so gut wie keine Dämmung vorhanden ist.

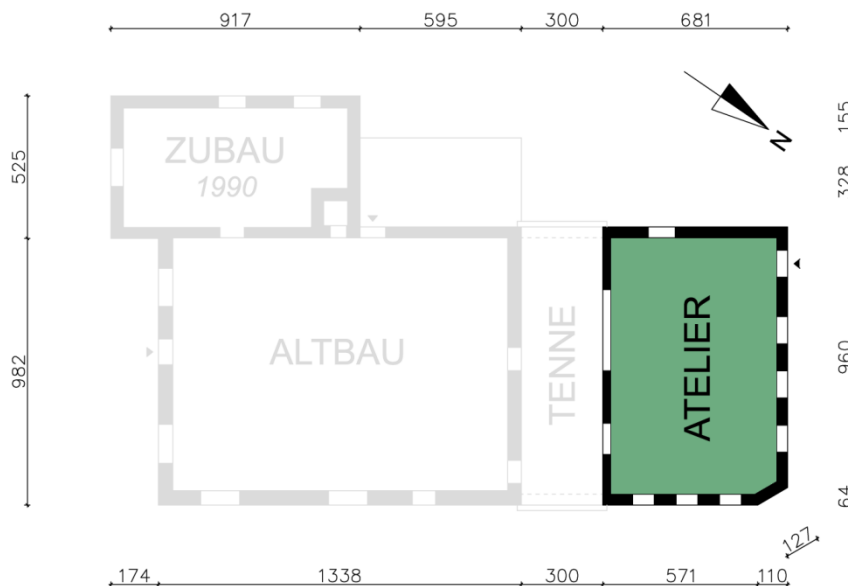


Abb.16: Schema Sanierung Atelier GR

Das Atelier hat derzeit einen  $HWB_{BGF}$  von  $489,75 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  ( $Q_H = 33230 \text{ kWh/a}$  entspricht  $6923 \text{ kg Pellets}$  bzw.  $8050 \text{ kg}$  mit einem Nutzungsgrad von  $86\%$  ( $1851,48 \text{ €}$  bei  $230 \text{ €/t} + 30 \text{ €}$  Lieferkosten)). Für eine Fläche von  $67,85 \text{ m}^2$  wären  $13,1 \text{ kW}$  Heizleistung nötig. Die Transmissionswärmeverluste von  $34100 \text{ kWh}$  sind enorm.

Die drei großen Schwachstellen sind die Decke: ( $U = 2,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), der Boden: ( $U = 2,08 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) und die Fenster: ( $U_w = 5,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Deutlich besser sind die U-Werte der Wände. Mit  $1,16 \text{ W/m}^2\text{K}$  bei den Außenwänden und  $1,47 \text{ W/m}^2\text{K}$  zum Pufferraum.

**SANIERUNGSVARIANTEN DES ATELIER (VORMALS STALLGEBÄUDE):**

In Abb.17 werden die Berechnungsergebnisse des bestehenden Ateliers angeführt. Die erste Zeile zeigt die Ausgangssituation. In weiterer Folge werden einzelne Verbesserungen, wie z.B. Boden oder (Boden, nur BROT) dargestellt. (Boden, nur BROT) heißt, dass der Bereich des Bodens betroffen ist und die restlichen raumbildenden Elemente keine thermischen Verbesserungsmaßnahmen erfahren. BROT bedeutet, dass nur der in Abb.12 in rot gezeichnete Bereich [B steht für Boden] eine thermische Verbesserung erhält. Kurz gesagt, BROT heißt: Sanierung des Bodens mit roter Markierung.

Analog dazu: BGRUEN heißt: Sanierung des Bodens mit grüner Markierung. OGD= oberste Geschoßdecke

Zuerst nur Einzelmaßnahmen:

Dateiname	Hinweise	HWB <sub>Bas</sub> F	Q <sub>H</sub>	Ein- spar.	kW Heizl	NEZ	Kom p.	Q <sub>r</sub>	Ein- spar %	Q <sub>v</sub>	Q <sub>s</sub>	Q <sub>s</sub> nu.	Q <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub> nu.
<b>Atelier_Bestand</b>	Ausgangsbasis	489,75	33230	0,0	13,1	367,38	1,25	34100	0,0	1788	1591	1190	1783	1467
<b>Atelier_Boden</b>	nur Boden San.	368,45	24999	24,8	10,0	276,38	1,25	25750	24,5	1788	1591	1125	1783	1411
<b>Atelier_Fassade_komplett</b>	alle Außenw.	367,84	27724	16,6	11,1	292,74	1,15	28456	16,6	1986	1591	1138	1981	1579
<b>Atelier_Fassade_Nord</b>	nur Nordfassade	429,22	30762	7,4	12,2	332,19	1,20	31570	7,4	1888	1591	1167	1883	1529
<b>Atelier_Fenster</b>	nur Fenster	451,04	30603	7,9	12,1	338,34	1,25	31337	8,1	1788	1421	1059	1783	1463
<b>Atelier_obersteGD</b>	oberste GD	327,02	22189	33,2	9,0	245,31	1,25	22884	32,9	1788	1591	1096	1783	1387
<b>Atelier_obersteGD_San1</b>	oberste GD Norm	364,37	24722	25,6	9,9	300,26	1,09	25466	25,3	1788	1591	1122	1783	1409
<b>Atelier_obersteGD_San1_Fas sade_Nord</b>	OGD u. Fas. Nord	315,13	22585	32,0	9,2	260,34	1,09	23254	31,8	1888	1591	1095	1883	1463
<b>Atelier_obersteGD_San1_Ing_ Alois</b>	OGD n. Ing. Alois	311,78	22345	32,8	9,1	266,36	1,03	23010	32,5	1888	1591	1092	1883	1460

Hier werden zwei oder mehrere Maßnahmen kombiniert:

**MIT TENNE  
als PUFFER**

<b>Atelier_gesamt</b>	gesamte Sanierung	105,38	7942	76,1	3,6	89,51	1,04	7986	76,6	1986	1421	754	1981	1276
<b>Atelier_obersteGD_San1_Fas sade_gesamt</b>	OGD und Fassade	239,31	18037	45,7	7,5	203,28	1,04	18563	45,6	1986	1591	1034	1981	1478
<b>Atelier_obersteGD_San1_Fas sade_gesamt_Fenster</b>	OGD, Fass., Fenster	208,76	15734	52,7	6,6	177,33	1,04	16112	52,8	1986	1421	907	1981	1457
<b>Atelier_obersteGD_San1_Fas sade_gesamt_nur_BROT</b>	OGD, Fass., BROT	139,85	10540	68,3	4,7	118,79	1,04	10793	68,3	1986	1591	900	1981	1339
<b>Atelier_obersteGD_San1_Fas sade_Nord_Fenster</b>	OGD, F-Nord, Fenster	278,61	19968	39,9	8,2	230,18	1,09	20492	39,9	1888	1421	964	1883	1448
<b>Atelier_obersteGD_San1_Fas sade_Nord_Fenster_nur_BRO T</b>	OGD, F-Nord, Fen., BROT	174,51	12507	62,4	5,4	144,17	1,09	12816	62,4	1888	1421	861	1883	1336
<b>Atelier_obersteGD_San1_Fas sade_Nord_nur_BROT</b>	OGD, F-Nord, BROT	208,46	14940	55,0	6,3	172,22	1,09	15412	54,8	1888	1591	993	1883	1366
<b>Atelier_obersteGD_San1_Fen ster</b>	ODG, Fenster	325,74	22101	33,5	8,9	268,42	1,09	22704	33,4	1788	1421	992	1783	1398
<b>Atelier_obersteGD_San1_Fen ster_nur_BROT</b>	ODG, Fenster, BROT	212,30	14405	56,7	6,1	174,95	1,09	14820	56,5	1788	1421	898	1783	1304
<b>Atelier_obersteGD_San1_nur_ BROT</b>	OGD, BROT	246,43	16721	49,7	7,0	203,07	1,09	17286	49,3	1788	1591	1027	1783	1325

**OHNE TENNE  
als PUFFER**

<b>Atelier_gesamt</b>	gesamte Sanierung	55,89	4212	87,3	2,2	52,28	0,89	3944	88,4	1986	1421	618	1981	1100
<b>Atelier_obersteGD_San1_Fas sade_gesamt</b>	OGD und Fassade	192,35	14497	56,4	6,2	179,92	0,89	14914	56,3	1986	1591	980	1981	1423
<b>Atelier_obersteGD_San1_Fas sade_gesamt_Fenster</b>	OGD, Fass., Fenster	161,09	12141	63,5	5,2	150,68	0,89	12394	63,7	1986	1421	849	1981	1390
<b>Atelier_obersteGD_San1_Fas sade_gesamt_nur_BROT</b>	OGD, Fass., BROT	90,88	6850	79,4	3,2	85,01	0,89	6877	79,8	1986	1591	793	1981	1221
<b>Atelier_obersteGD_San1_Fas sade_Nord_Fenster</b>	OGD, F-Nord, Fenster	227,22	16285	51,0	6,8	207,19	0,93	16717	51,0	1888	1421	920	1883	1400
<b>Atelier_obersteGD_San1_Fas sade_Nord_Fenster_nur_BRO T</b>	OGD, F-Nord, Fen., BROT	123,38	8843	73,4	4,0	112,51	0,93	8986	73,6	1888	1421	783	1883	1249
<b>Atelier_obersteGD_San1_Fas sade_Nord_nur_BROT</b>	OGD, F-Nord, BROT	158,24	11341	65,9	5,0	144,29	0,93	11675	65,8	1888	1591	924	1883	1298
<b>Atelier_obersteGD_San1_Fen ster</b>	ODG, Fenster	271,25	18404	44,6	7,6	248,10	0,93	18928	44,5	1788	1421	952	1783	1359
<b>Atelier_obersteGD_San1_Fen ster_nur_BROT</b>	ODG, Fenster, BROT	159,23	10804	67,5	4,7	145,64	0,93	11088	67,5	1788	1421	834	1783	1238
<b>Atelier_obersteGD_San1_nur_ BROT</b>	OGD, BROT	194,23	13178	60,3	5,6	177,64	0,93	13630	60,0	1788	1591	968	1783	1271

Abb.17: Sanierungsvarianten Atelier mit Einzelmaßnahmen

**ATELIER IST-SITUATION:**

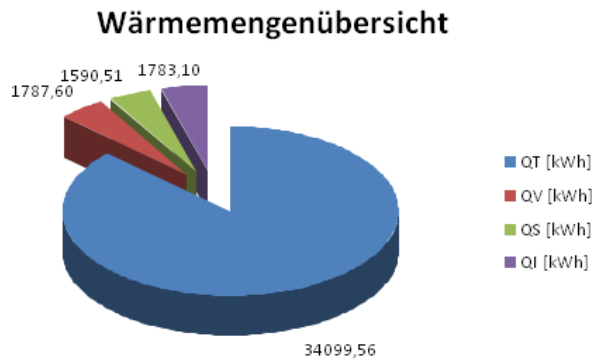


Abb.18.1: Wärmemengen Gewinn/Verlust Atelier

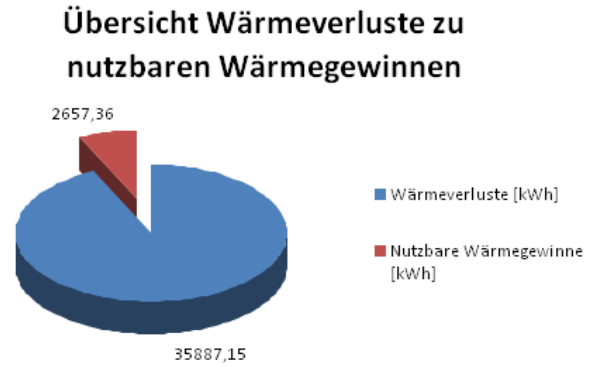


Abb.18.2: nutzbare Wärmegewinne Atelier

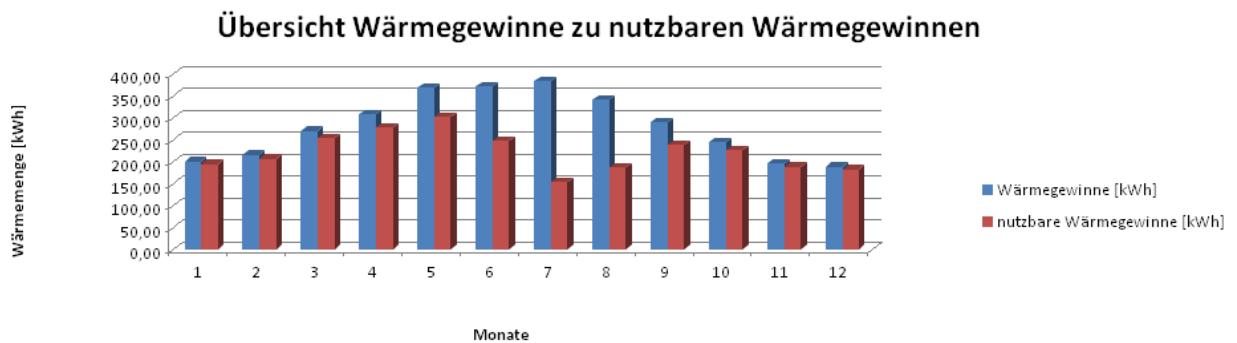


Abb.18.3: Wärmegewinne pro Monat

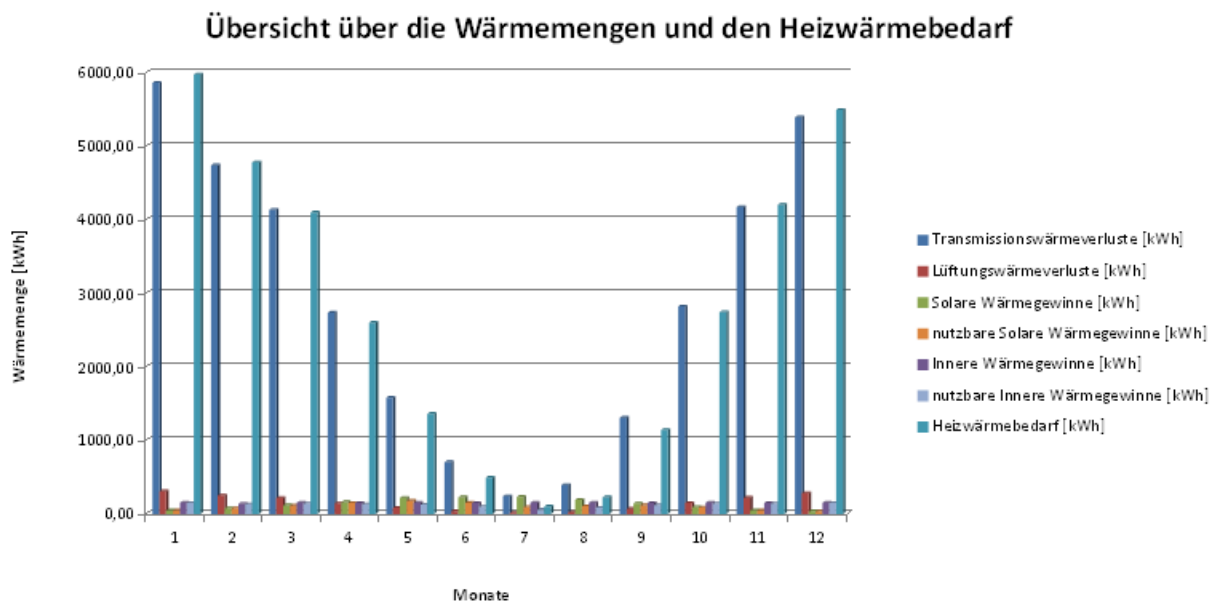


Abb.18.4: Energiegewinne/-verluste Atelier Ist-Zustand pro Monat

**ATELIER SANIERT:**

**Mit Tenne als beheizter Raum:**

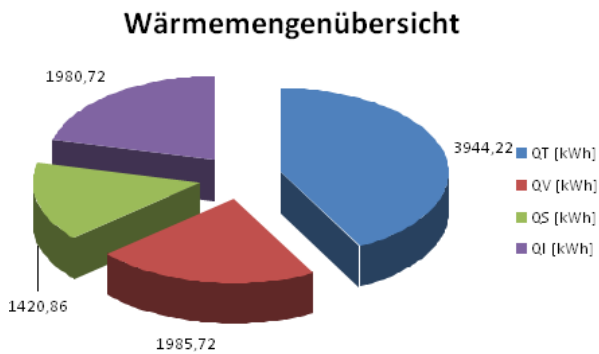


Abb.19.1: Wärmemengen Gewinn/Verlust Atelier

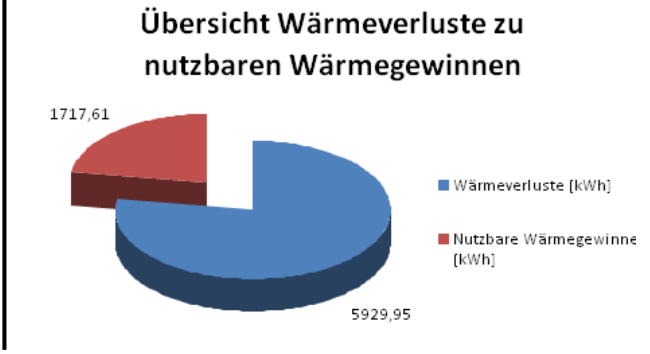


Abb.19.2: nutzbare Wärmegewinne Atelier

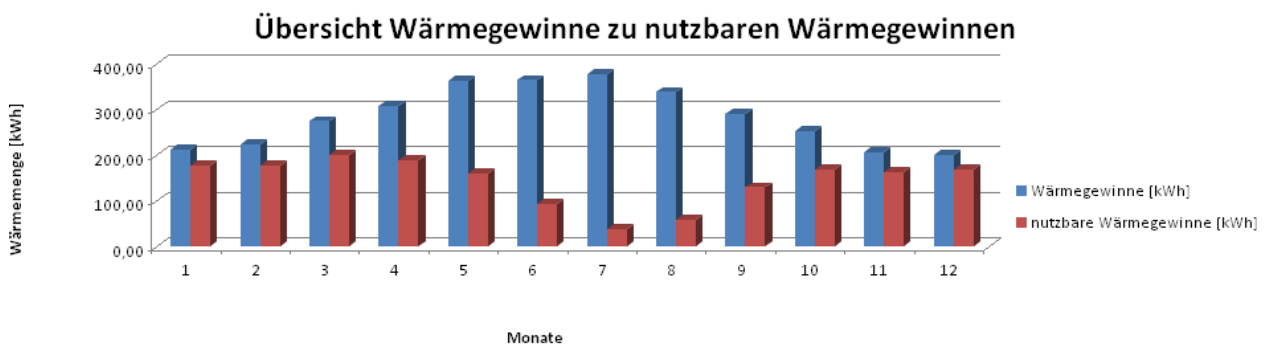


Abb.19.3: Wärmegewinne pro Monat

**Mit Tenne als Pufferraum:**

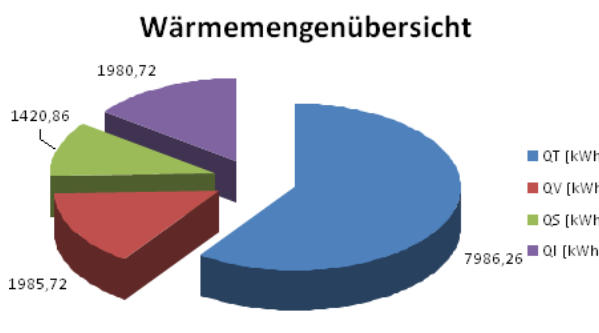


Abb.19.4: Wärmemengen Gewinn/Verlust Atelier

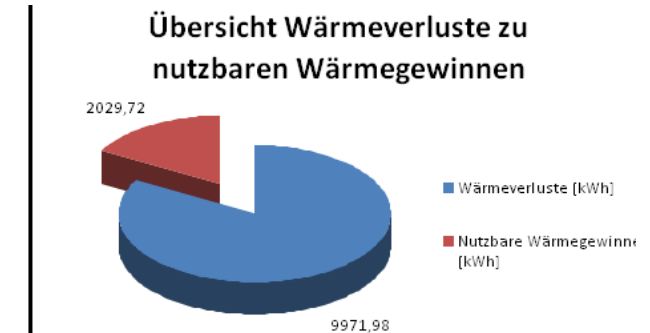


Abb.19.5: nutzbare Wärmegewinne Atelier

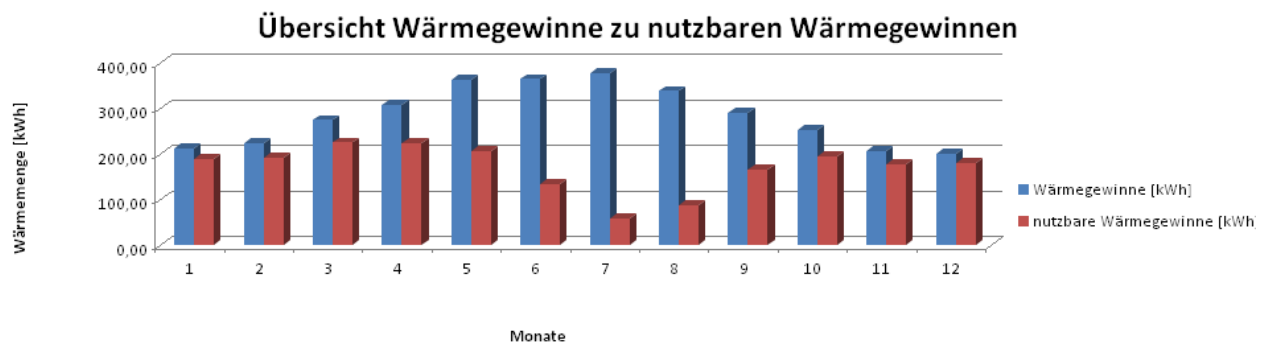


Abb.19.6: Wärmegewinne pro Monat

## Die Werte aus Tabelle Abb.17 in Textform:

### Die Einzelmaßnahmen im Überblick:

#### **Dämmung der Nordwand: 37 cm Stroh**

Die Dämmung der Nordwand mit 37 cm Stroh bewirkt eine Verbesserung des U-Wert von 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K, eine Verringerung um dem Faktor: 10,5. Dies bewirkt eine Verringerung der Transmissionswärmeverluste und des Q<sub>H</sub> von 7,4%.

#### **Austausch der Einscheibenfenster gegen Wärmeschutzverglasung**

Der U-Wert wird von 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,90 W/m<sup>2</sup>K gesenkt. Das hat eine Verringerung der Transmissionswärmeverluste von 8,1% zur Folge. Q<sub>H</sub> sinkt „nur“ um 7,9%. Die Ursache dafür ist der geringere g-Wert der neuen Fenster. Das senkt die solaren Gewinne.

#### **Komplette Sanierung der Außenwände**

Die Nordwand erhält eine Dämmung aus 37 cm Stroh. Die Ost- und Westwand wird mit 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte gedämmt. Damit wird eine durchgängige Fassade von Altbau und Atelier erreicht. Der U-Wert sinkt bei der Nordwand von 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K. Die Ost- und Westwand „nur“ auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K. Das verringert die Transmissionswärmeverluste und den Heizwärmebedarf (Q<sub>H</sub>) um 16,6%.

#### **Dämmung der obersten Geschossdecke mit 74 cm Stroh**

Der U-Wert sinkt von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K. Dadurch sinken die Transmissionswärmeverluste um 25,3% und der Heizwärmebedarf um 25,6%.

#### **Dämmung der obersten Geschossdecke mit 74 cm und der Nordwand mit 37 cm Stroh**

Der U-Wert der obersten Geschossdecke sinkt von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K. Der U-Wert der Nordwand sinkt von 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf **0,11 W/m<sup>2</sup>K**. Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 31,8% und der Heizwärmebedarf um 32%.

### Die Maßnahmenkombinationen im Überblick:

#### **Dämmung der obersten Geschossdecke mit 74 cm Stroh und Fenstertausch**

Der U-Wert der obersten Geschossdecke sinkt von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K. Der Fenstertausch hat eine Senkung des U-Wertes von 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K zur Folge. Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 33,4% und der Heizwärmebedarf um 33,5% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 44,6% und 44,5% (Tenne beheizt).

#### **Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Nordwand 37 cm Stroh und Fenstertausch**

Der U-Wert der obersten Geschossdecke sinkt von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K, der der Nordwand von 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K und der der Fenster von 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K. Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste und der Heizwärmebedarf um 39,9% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. **51,0%** (Tenne beheizt).

#### **Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Nordwand 37 cm Stroh, Ost-/Westwand 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte**

Senkung des U-Wertes von W/m<sup>2</sup>K 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordwand) und 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 45,6% und der Heizwärmebedarf um 45,7% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 56,3% und 56,4% (Tenne beheizt).

#### **Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Boden**

Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke) und 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K. Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 49,3%

und der Heizwärmebedarf um 49,7% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. **60,0%** und 60,3% (**Tenne beheizt**).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh, **Ost-/Westwand** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte und **Fenstertausch**

Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordwand), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand) und 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 52,8% und der Heizwärmebedarf um 52,7% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 63,7% und **63,5%** (**Tenne beheizt**).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh, **Boden**

Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordwand) und 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 54,8% und der Heizwärmebedarf um 55,0% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 65,8% und **65,9%** (**Tenne beheizt**).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Fenster, Boden**

Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster) und 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 56,5% und der Heizwärmebedarf um 56,7% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 67,5% und **67,5%** (**Tenne beheizt**).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh, **Fenster, Boden**

Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordwand), 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster) und 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 62,4 W/m<sup>2</sup>K und der Heizwärmebedarf um 62,4% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 73,6% und **73,4%** (**Tenne beheizt**).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh, **Ost-/Westwand** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte und **Boden**

Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordwand), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand) und 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 68,3% und der Heizwärmebedarf um 68,3% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 79,8% und **79,4%** (**Tenne beheizt**).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh, **Ost-/Westwand** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte, **Fenster und Boden**

Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordwand), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand), 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster) und 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 76,6% und der Heizwärmebedarf um 76,1% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 88,4% und **87,3%** (**Tenne beheizt**).

**Erst mit der Gesamtanierung erreicht man mit einem HWB<sub>BGF</sub> von 55,89 kWh/m<sup>2</sup>a und einem NEZ von 52,28 kWh/m<sup>2</sup>a eine Förderung.** Das gilt allerdings nur für den Fall, dass die Tenne beheizt wird. Wird die Tenne nur als Pufferraum verwendet, ist aufgrund des schlechten U-Wertes der Wand zum Pufferraum keine Förderung möglich (NEZ = 89,51 kWh/m<sup>2</sup>a). Die Heizlast beträgt 2,2 kW (Tenne beheizt) bzw. 3,6 kW (Tenne als Pufferraum).

### **Fazit:**

Die Sanierung des Ateliers bietet ein hohes Einsparungsmöglichkeiten aufgrund der schlechten Ausgangswerte. Die Heizlast wird durch die Gesamtsanierung von 13,1 kW auf 3,6 kW (Tenne als Pufferraum) bzw. 2,2 kW (Tenne beheizt) gesenkt. Der Heizwärmebedarf kann auf  $\frac{1}{4}$  reduziert werden (Tenne als Pufferraum). Wird die Tenne beheizt ergibt sich eine Reduktion um 87,3%, also fast auf  $\frac{1}{8}$  des Ausgangswertes.

Hier ist ganz klar eine Gesamtsanierung die beste Wahl.

Aus der Sicht des Ateliers sollte die Tenne beheizt werden. Alternativ ist eine sehr gute Dämmung der Wand zum Pufferraum durchzuführen, da sie mit Abstand die größten Verluste verursacht (mehr als  $\frac{1}{3}$  des Gesamtleitwertes).

Der **Heizwärmebedarf des Bestands** ( $Q_H = 33230$  kWh/a) entspricht 6923 kg Pellets bzw. 8050 kg mit einem Nutzungsgrad von 86%. Dafür sind **1851,48 €** bei 230 €/t + 30 € Lieferkosten zu bezahlen.

Der Heizwärmebedarf der Gesamtsanierung (Tenne als Pufferraum) ( $Q_H = 7942$  kWh/a) entspricht 1655 kg Pellets bzw. 1924 kg mit einem Nutzungsgrad von 86%. Dafür sind 442,50 € bei 230 €/t + 30 € Lieferkosten zu bezahlen. Das entspricht einer jährlichen Ersparnis von 1408,98 € (bei 230€/t).

Der **Heizwärmebedarf der Gesamtsanierung (Tenne beheizt)** ( $Q_H = 4212$  kWh/a) entspricht 878 kg Pellets bzw. 1020 kg mit einem Nutzungsgrad von 86%. Dafür sind 234,68 € bei 230 €/t + 30 € Lieferkosten zu bezahlen.

Das entspricht einer jährlichen **Ersparnis von 1616,80 €** (bei 230€/t). Ob nun die Tenne als Pufferraum wirkt oder als beheizte Fläche genutzt wird macht doch noch einen beträchtlichen Unterschied aus. Die Ersparnis 207,82 € (bei 230€/t).

### **Somit ergibt sich:**

Kosten für Atelier pro Jahr für Pellets: € 235,-

### 9.3. ANALYSE DER TENNE (VERBINDUNG WOHNTRAKT-ATELIER)

Als Durchfahrt konzipiert und zum Heueinlagern bzw. zum wieder Rausbefördern, steht hier der Wind und Regenschutz im Vordergrund, wie auch ein geschlossenes Erscheinungsbild des Gesamtgebäudes. Die Tore bestehen aus einer Holzrahmenkonstruktion mit einem Fixglaselement, welche auf Laufschiene verschoben werden können.

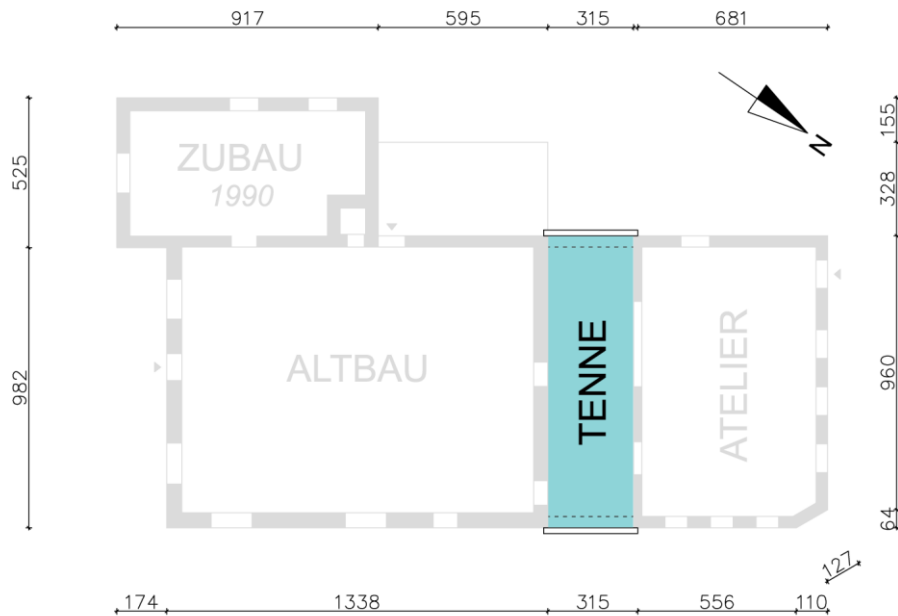


Abb.20: Schema Situation Tenne GR

Die Tenne, bildet das Verbindungsglied zwischen dem Wohntrakt und dem zukünftigen Atelier. Die zwei öffenbaren Tore, die das Durchfahren ermöglicht haben, wurden ohne besondere wärmetechnische Anforderungen konzipiert. Zur Diskussion sehen hier im Falle einer Sanierung, ob die Öffenbarkeit auch weiterhin möglich sein wird, hinsichtlich Umsetzbarkeit und finanziellem Rahmen. Die Tenne hat derzeit einen  $HWB_{BGF}$  von  $380,50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  ( $Q_H = 12465 \text{ kWh/a}$  entspricht  $2597 \text{ kg Pellets}$  bzw.  $3020 \text{ kg}$  mit einem Nutzungsgrad von  $86\%$  ( $694,51\text{€}$  bei  $230 \text{ €/t} + 30 \text{ € Lieferkosten}$ )). Für eine Fläche von  $32,76 \text{ m}^2$  wären beachtliche  $5,4 \text{ kW}$  Heizleistung nötig.  $14035 \text{ kWh}$  Transmissionswärmeverluste sind enorm. Die drei großen Schwachpunkte sind die Außenwände ( $U = 2,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), der Boden ( $U = 2,08 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) und die Fenster ( $U_W = 5,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Deutlich besser ist der U-Wert der Decke mit  $U=1,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ .



TENNE IST SITUATION:

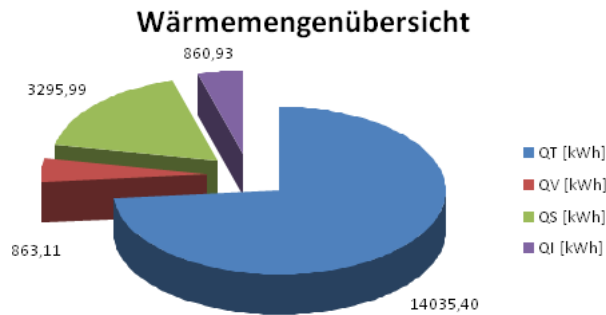


Abb.22.1: Wärmemengen Gewinn Verlust Tenne

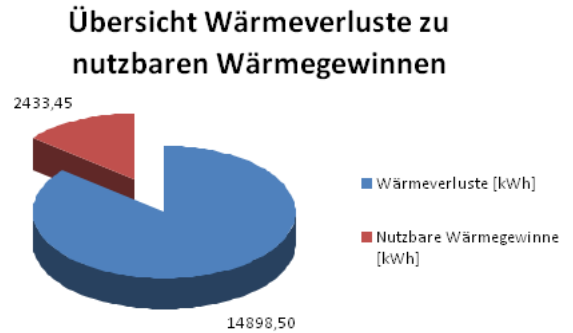


Abb.22.2: nutzbare Wärmegewinne Tenne

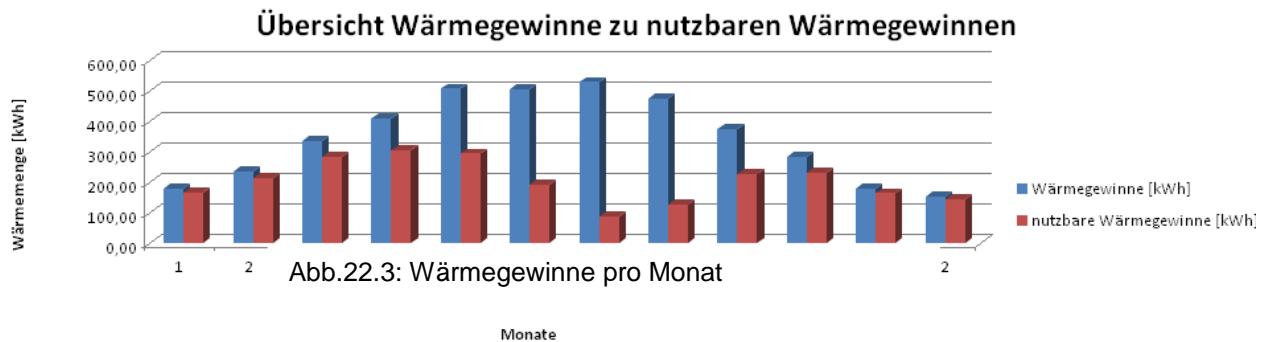


Abb.22.3: Wärmegewinne pro Monat

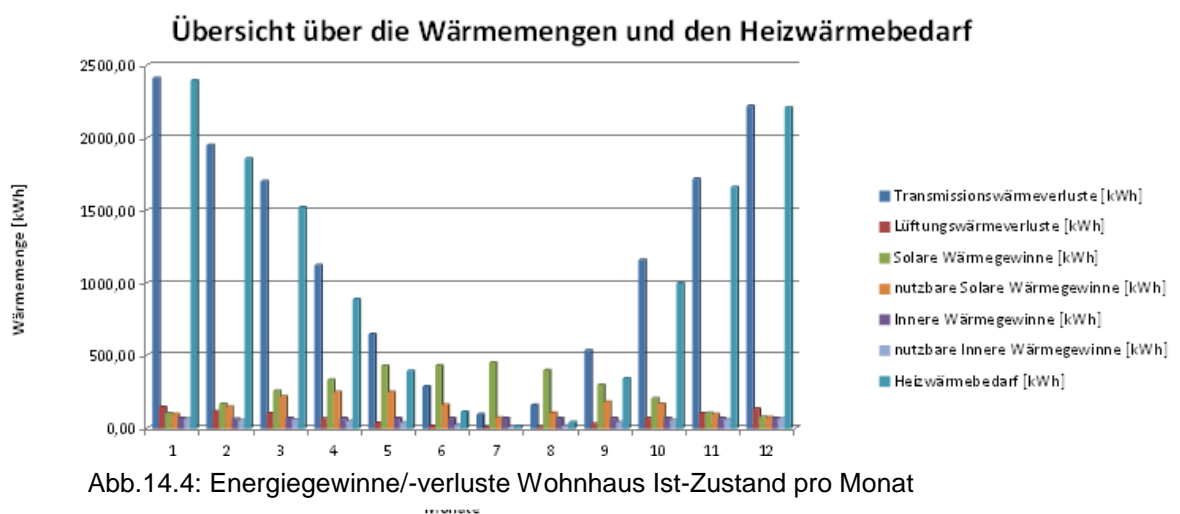


Abb.14.4: Energiegewinne/-verluste Wohnhaus Ist-Zustand pro Monat

Abb.22.4: Energiegewinne/-verluste Tenne Ist-Zustand pro Monat

**SANIERUNGSVARIANTEN DER TENNE:**

In Abb.21 werden die Berechnungsergebnisse der bestehenden Tenne angeführt. Die erste Zeile zeigt die Ausgangssituation. In weiterer Folge werden einzelne Verbesserungen, wie z.B. Boden dargestellt. OGD= oberste Geschosdecke.

**Sanierungsvarianten:**

Zuerst nur Einzelmaßnahmen:

Dateiname	Hinweise	kWh	Ein-		kW		Ein-							
			HWB <sub>BGF</sub>	Q <sub>H</sub>	spar.	Heizl.	NEZ	Komp.	Q <sub>T</sub>	spar. %	Q <sub>V</sub>	Q <sub>S</sub>	Q <sub>S</sub> nu.	Q <sub>I</sub>
Tenne_Bestand	Ausgangsbasis	380,50	12465	0,0	5,4	351,27	0,91	14035	0,0	863	3296	1853	861	580
Tenne_Boden	nur Boden	264,29	8658	30,5	4,0	243,99	0,91	10003	28,7	863	3296	1669	861	539
Tenne_Fenster	nur Fenster	270,54	8863	28,9	4,0	249,76	0,91	10096	28,1	863	2944	1544	861	552
Tenne_Fenster_Wand	Fenster, Wand	218,90	7171	42,5	3,3	202,08	0,91	8285	41,0	863	2944	1450	861	527
Tenne_obersteGD_San1	oberste Geschosdecke	327,90	10742	13,8	4,8	338,53	0,76	12220	12,9	863	3296	1778	861	563
Tenne_Wand	Wand	328,05	10747	13,8	4,8	302,85	0,91	12225	12,9	863	3296	1778	861	563

**Hier werden zwei oder mehrere Maßnahmen kombiniert:**

Tenne_gesamt	gesamte Sanierung	43,64	1430	88,5	1,0	45,06	0,76	1749	87,5	863	2944	835	861	347
Tenne_obersteGD_San1_Boden	OGD, Boden	212,88	6974	44,1	3,3	219,78	0,76	8187	41,7	863	3296	1563	861	514
Tenne_obersteGD_San1_Boden_Wand	OGD, Boden, Wand	141,27	4628	62,9	2,4	145,85	0,76	5600	60,1	863	3296	1370	861	466
Tenne_obersteGD_San1_Fenster	OGD, Fenster	218,75	7166	42,5	3,3	225,84	0,76	8280	41,0	863	2944	1450	861	527
Tenne_obersteGD_San1_Fenster_Boden	OGD, Fenster, Boden	112,57	3688	70,4	1,9	116,22	0,76	4446	68,3	863	2944	1171	861	450
Tenne_obersteGD_San1_Fenster_Wand	OGD, Fenster, Wand	146,15	4788	61,6	2,4	150,88	0,76	5682	59,5	863	2944	1277	861	480
Tenne_obersteGD_San1_Wand	ODG, Wand	251,26	8231	34,0	3,8	259,41	0,76	9545	32,0	863	3296	1644	861	533

Abb.21: Sanierungsvarianten Tenne mit Einzelmaßnahmen

**Die Werte aus Tabelle Abb.21 in Textform:****Die Einzelmaßnahmen im Überblick:****Oberste Geschosdecke:**

Dämmung mit 74 cm Stroh. Die Dämmung der obersten Geschosdecke bringt eine Verringerung der Transmissionswärmeverluste um 12,9% und des Heizwärmebedarfs von 13,8%.

Der U-Wert sinkt dabei von 1,06 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K.

**Dämmung der Außenwände:**

Der U-Wert wird von 2,29 W/m<sup>2</sup>K auf 0,20 W/m<sup>2</sup>K gesenkt. Das hat eine Verringerung der Transmissionswärmeverluste von 12,9% zur Folge. Der Heizwärmebedarf sinkt um 13,8%.

**Austausch der Einscheibenfenster:** gegen moderate Wärmeschutzverglasungen.

Der U-Wert sinkt von 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K. Das verringert die Transmissionswärmeverluste um 28,1% und den Heizwärmebedarf (Q<sub>H</sub>) um 28,9%.

**Dämmung des Bodens:**

Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K. Dadurch sinken die Transmissionswärmeverluste um 28,7% und der Heizwärmebedarf um 30,5%.

### **Dämmung der Außenwand und Fenstertausch:**

Der U-Wert der Außenwände sinkt von 2,29 W/m<sup>2</sup>K auf 0,20 W/m<sup>2</sup>K. Der U-Wert der Fenster sinkt von 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K. Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 41,0% und der Heizwärmebedarf um 42,5%.

### **Die Maßnahmenkombinationen im Überblick:**

#### **Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh und Dämmung der Außenwände**

Der U-Wert der obersten Geschossdecke sinkt von 1,06 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K.

Die Dämmung der Außenwände hat eine Senkung des U-Wertes von 2,29 W/m<sup>2</sup>K auf 0,2 W/m<sup>2</sup>K zur Folge.

Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 32,0% und der Heizwärmebedarf um 34,0%.

#### **Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh und Fenstertausch**

Der U-Wert sinkt von 1,06 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke) und von 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 41,0% und der Heizwärmebedarf um 42,5%.

#### **Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh und Boden**

Senkung des U-Wertes von 1,06 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke) und 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 41,7% und der Heizwärmebedarf um 44,1%.

#### **Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Fenster und Außenwände**

Senkung des U-Wertes von 1,06 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster) und 2,29 W/m<sup>2</sup>K auf 0,2 W/m<sup>2</sup>K (Außenwände). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 59,5% und der Heizwärmebedarf um 61,6%.

#### **Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Boden und Außenwände**

Senkung des U-Wertes von 1,06 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden) und 2,29 W/m<sup>2</sup>K auf 0,2 W/m<sup>2</sup>K (Außenwände). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 60,1 und der Heizwärmebedarf um 62,9%.

#### **Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Fenster, Boden**

Senkung des U-Wertes von 1,06 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster) und 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 68,3% und der Heizwärmebedarf um 70,4%.

#### **Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Fenster, Boden und Außenwände**

Senkung des U-Wertes von 1,06 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster) und 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden) und 2,29 W/m<sup>2</sup>K auf 0,2 W/m<sup>2</sup>K (Außenwände). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 87,5% und der Heizwärmebedarf um 88,5%.

**Erst mit der Gesamtanierung** erreicht man mit einem HWB<sub>BGF</sub> von 43,64 kWh/m<sup>2</sup>a und einem NEZ von 45,06 kWh/m<sup>2</sup>a eine **Förderung**. Die Heizlast sinkt auf 1 kW.

**Fazit:**

Die Sanierung der Tenne bietet auf Grund der schlechten Ausgangswerte ein sehr hohes Einsparungsmöglichkeiten. Die Heizlast wird durch die Gesamtsanierung von 5,4 kW auf 1,0 kW gesenkt. Der Heizwärmebedarf kann auf weniger als 1/8 reduziert werden. Die Transmissionswärmeverluste lassen sich auf 1/8 senken.

Hier ist ganz klar eine Gesamtsanierung die beste Wahl.

Der Heizwärmebedarf des Bestands ( $Q_H = 12465 \text{ kWh/a}$ ) entspricht 2597 kg Pellets bzw. 3020 kg mit einem Nutzungsgrad von 86%. Dafür sind 694,51 € bei 230 €/t + 30 € Lieferkosten zu bezahlen.

Der Heizwärmebedarf nach der Gesamtsanierung der Tenne ergibt ( $Q_H = 1430 \text{ kWh/a}$ ) entspricht 298 kg Pellets bzw. 346 kg mit einem Nutzungsgrad von 86%. Dafür sind 79,68 € bei 230 €/t + 30 € Lieferkosten zu bezahlen.

Das entspricht einer jährlichen Ersparnis von 614,83 € (bei 230€/t).

TENNE NACH SANIERUNG:

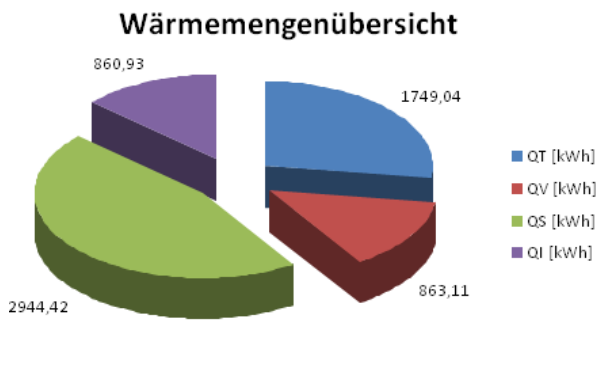


Abb.23.1: Wärmemengen Gewinn Verlust Tenne

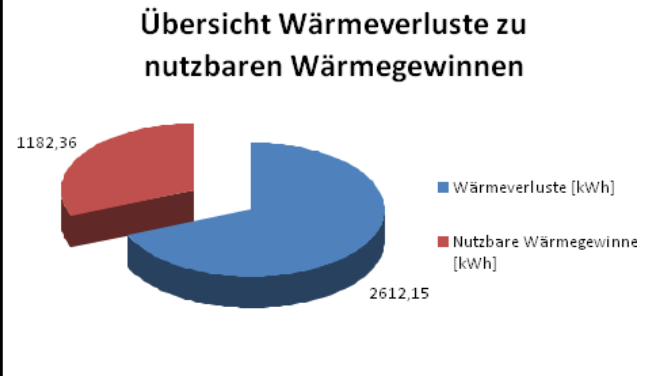


Abb.23.2: nutzbare Wärmegewinne Tenne

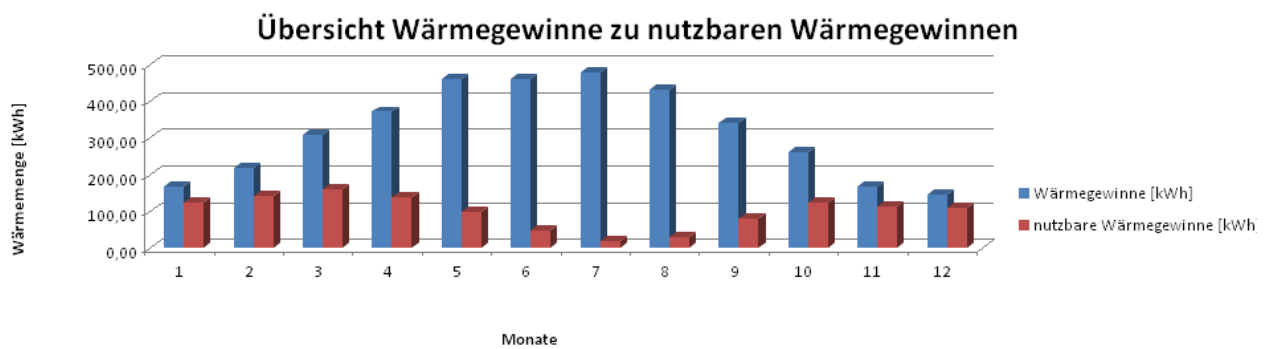


Abb.23.3: Wärmegewinne pro Monat

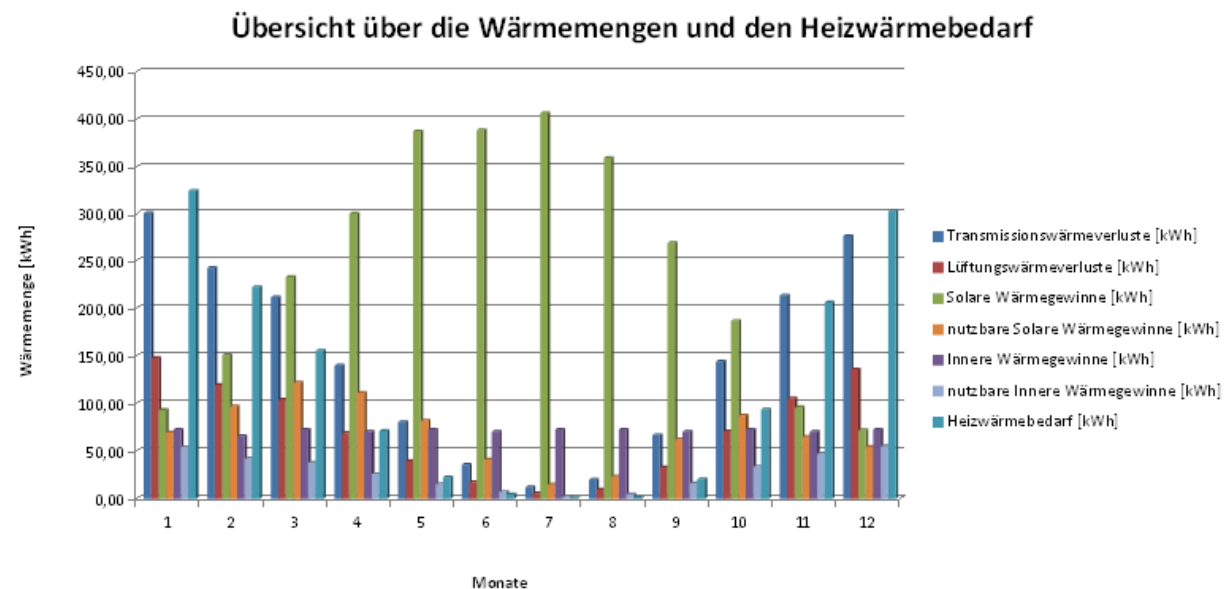


Abb.23.4: Energiegewinne/-verluste Tenne nach Sanierung

Die solaren Erträge im Sommer sind höher, als die Transmissionswärmeverluste im Winter. Es sind bereits die nutzbaren solaren Wärmegewinne in der Übergangszeit deutlich spürbar und können im April die Transmissionswärmeverluste beinahe ausgleichen. Für die Sommermonate sind jedoch Maßnahmen zu setzen, um eine Überhitzung zu verhindern.

**9.4. ANALYSE DES ALT-UND ZUBAU(1990) MIT-ATELIER****Derzeitige Situation:**

Als Ausgangssituation für die Analyse des Alt- und Zubaus(1990) mit Atelier wird der derzeitige Zustand herangezogen.

Bei der gesamthaften Betrachtung ergibt das einen  $HWB_{BGF}$  von 196,04 kWh/m<sup>2</sup>a ( $Q_H = 84358$  kWh/a entspricht 17575 kg Pellets bzw. 20436 kg mit einem Nutzungsgrad von 86% (4700,18€ bei 230 €/t + 30 € Lieferkosten)).

Für eine Fläche von 430,31 m<sup>2</sup> wären 35,6 kW Heizleistung nötig. 86241 kWh Transmissionswärmeverluste sind nur knapp unter dem Heizwärmebedarf. Dadurch wird klar erkenntlich, dass die nutzbaren solaren und inneren Gewinne die Lüftungswärmeverluste ziemlich genau ausgleichen.

Die U-Werte des Altbaus bewegen sich zwischen 0,7W/m<sup>2</sup>K und 1,02W/m<sup>2</sup>K (Außenwände), 1,06W/m<sup>2</sup>K und 2,03W/m<sup>2</sup>K (Decken), 0,28W/m<sup>2</sup>K (bereits saniert) und 2,08W/m<sup>2</sup>K (Boden) sowie 1,6W/m<sup>2</sup>K und 2,3 W/m<sup>2</sup>K (Fenster und Türen).

Die U-Werte des Zubaus bewegen sich zwischen 0,46W/m<sup>2</sup>K und 0,48W/m<sup>2</sup>K (Außenwände) sowie 1,6W/m<sup>2</sup>K und 1,7 W/m<sup>2</sup>K (Fenster und Türen). Der U-Wert der Decke (0,29W/m<sup>2</sup>K) ist fast identisch mit dem des Bodens (0,28W/m<sup>2</sup>K).

Die drei größten Wärmeleiter des Ateliers (vormals Stall) sind die Decke ( $U = 2,03$  W/m<sup>2</sup>K), der Boden ( $U = 2,08$  W/m<sup>2</sup>K) und die Fenster ( $U_W = 5,6$  W/m<sup>2</sup>K). Etwas besser sind die U-Werte der Außenwände, mit 1,16 W/m<sup>2</sup>K. Der U-Werte Wand zum Pufferraum 1,47 W/m<sup>2</sup>K.

**SANIERUNGSVARIANTEN DES ALTBAU-ZUBAU(1990) UND ATELIER:**

In Abb.24 werden die Berechnungsergebnisse des bestehenden Altbau-Zubau(1990) und Ateliers angeführt. Die erste Zeile zeigt die Ausgangssituation. In weiterer Folge werden einzelne Verbesserungen, wie z.B. Boden dargestellt. Die Farben der Böden sind in Abb.12 ersichtlich. Zuerst werden nur einzelne Maßnahmen gezeigt und in Folge Kombinationen. Dabei wird auch noch einmal unterschieden, ob es sich bei der Tenne um einen beheizten oder um einen Pufferraum handelt.

Sanierungsvarianten:		kWh	Ein-	kW	Ein-									
Dateiname	Hinweise	$HWB_{BGF}$	$Q_H$	spar. %	Heizl.	NEZ	Komp.	$Q_T$	spar. %	$Q_V$	$Q_S$	$Q_S$ nu.	$Q_i$	$Q_i$ nu.
Bestand	Ausgangssituation	196,04	84358	0,0	35,6	185,75	0,88	86241	0,0	11337	7548	4949	11309	8271
Bestand_Boden	nur Boden	160,50	69064	18,1	29,8	152,07	0,88	70409	18,4	11337	7548	4714	11309	7968
Bestand_Boden_alle_bestw_ausser_San1_BGRUEN	Boden, San1 BGRUEN	161,61	69542	17,6	30,0	153,13	0,88	70906	17,8	11337	7548	4722	11309	7979
Bestand_Boden_nur_BROT	Boden, nur BROT	170,67	73440	12,9	31,5	161,71	0,88	74951	13,1	11337	7548	4786	11309	8062
Bestand_Fassade_ausser_Zubau	Fassade, außer Zubau	167,98	73269	13,1	31,5	159,61	0,87	74709	13,4	11492	7548	4775	11463	8157
Bestand_Fenster	nur Fenster	184,94	79582	5,7	33,8	175,24	0,88	81285	5,7	11337	7487	4850	11309	8190
Bestand_obersteGD	nicht NORMGERECHT	138,11	59430	29,6	26,2	130,86	0,88	60362	30,0	11337	7548	4536	11309	7734
Bestand_obersteGD_San1	oberste Geschossdecke	146,57	63071	25,2	27,6	146,87	0,80	64168	25,6	11337	7548	4606	11309	7827
Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fassade_komplett	OGD, Atelier Fassade komp.	131,02	57150	32,3	25,3	131,44	0,80	57903	32,9	11492	7548	4480	11463	7765
Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fassade_Nord	OGD, Atelier Fassade Nord	141,27	61328	27,3	26,9	141,32	0,80	62302	27,8	11438	7548	4567	11409	7845
Bestand_obersteGD_San1_Ing_Alois	OGD, nach Ing. Alois	136,97	58941	30,1	26,0	137,26	0,80	59851	30,6	11337	7548	4526	11309	7721

**Hier werden zwei oder mehrere Maßnahmen kombiniert:**

MIT TENNE ALS PUFFER:		kWh	Ein-	kW	Ein-									
Dateiname	Hinweise	$HWB_{BGF}$	$Q_H$	spar. %	Heizl.	NEZ	Komp.	$Q_T$	spar. %	$Q_V$	$Q_S$	$Q_S$ nu.	$Q_i$	$Q_i$ nu.
Bestand_obersteGD_San1_alle_bestw_ausser_San1_BGRUEN	OGD, Boden San1 BGRUEN	115,42	49664	41,1	22,4	115,65	0,80	50098	41,9	11337	7548	4322	11309	7449
Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fassade_komplett_Boden_ges	OGD, At. Fas. ganz, Boden ges	99,41	43360	48,6	20,0	99,72	0,80	43334	49,8	11492	7548	4151	11463	7314
Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fassade_komplett_Fen_BGes	OGD, AtFg, Fen., Boden ges	88,99	38817	54,0	18,2	89,28	0,80	38418	55,5	11492	7378	3946	11463	7146
Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fassade_komplett_Fen_BROT	OGD, AtFg, Fen., BROT	97,61	42577	49,5	19,7	97,92	0,80	42439	50,8	11492	7378	4053	11463	7300
Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fassade_komplett_Fenster	OGD, Fass. ganz, Fenster	121,13	52835	37,4	23,7	121,51	0,80	53301	38,2	11492	7378	4304	11463	7654

# Energie- und Ressourceneinsparung durch Sanierung und Lehmziegelforschung

Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fasade_komplett_nur_BROT	OGD, Fass. ganz, BROT	107,90	47066	44,2	21,5	108,25	0,80	47272	45,2	11492	7548	4249	11463	7449
Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fasade_Nord_Boden_ges	OGD, AFNord, Boden ges	110,04	47770	43,4	21,7	110,08	0,80	48045	44,3	11438	7548	4270	11409	7443
Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fasade_Nord_Fenster	OGD, AFNord, Fenster	131,51	57094	32,3	25,3	131,57	0,80	57801	33,0	11438	7378	4398	11409	7747
Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fasade_Nord_Fenster_Boden_ges	OGD, AFNord, Fen., Bod. Ges	99,72	43293	48,7	20,0	99,76	0,80	43228	49,9	11438	7378	4076	11409	7298
Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fasade_Nord_Fenster_nur_BROT	OGD, AFNord, Fen., BROT	108,27	47002	44,3	21,4	108,31	0,80	47167	45,3	11438	7378	4171	11409	7432
Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fasade_Nord_nur_BROT	OGD, AFNord, BROT	118,44	51418	39,0	23,1	118,49	0,80	51901	39,8	11438	7548	4357	11409	7563
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Puffer	OGD, Fassade, außer Puffer	108,90	48924	42,0	22,2	110,74	0,78	49072	43,1	11836	7548	4276	11806	7708
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Puffer_Boden_ges	OGD, Fass. a. Puffer, Boden ges.	77,28	34718	58,8	16,7	78,59	0,78	33873	60,7	11836	7548	3870	11806	7122
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Puffer_Fenster	OGD, Fass. a. Puffer, Fenster	98,97	44461	47,3	20,5	100,64	0,78	44272	48,7	11836	7378	4085	11806	7562
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Puffer_Fenster_nur_BROT	OGD, F. a. Puff., Fen., BROT	75,48	33909	59,8	16,3	76,76	0,78	32941	61,8	11836	7378	3771	11806	7097
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Puffer_gesamt	Gesamtsanierung	66,94	30072	64,4	14,8	68,07	0,78	28759	66,7	11836	7378	3634	11806	6889
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Puffer_nur_BROT	OGD, Fass. a. Puffer, BROT	85,74	38516	54,3	18,2	87,18	0,78	37972	56,0	11836	7548	3992	11806	7301
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Zubau	OGD, Fass. a. Zubau	115,56	51262	39,2	23,1	116,92	0,79	51616	40,1	11687	7548	4340	11658	7702
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Zubau_Boden_ges	OGD, Fass. a. Zubau, Boden ges	83,78	37164	55,9	17,6	84,76	0,79	36596	57,6	11687	7548	3958	11658	7161
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Zubau_Fenster	OGD, Fass. a. Zubau, Fenster	105,59	46841	44,5	21,4	106,83	0,79	46874	45,6	11687	7378	4153	11658	7567
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Zubau_Fenster_nur_BROT	OGD, F. a. Zub., Fen., BROT	81,97	36362	56,9	17,3	82,94	0,79	35675	58,6	11687	7378	3860	11658	7140
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Zubau_gesamt	Gesamtsan., ausser Zubau	73,36	32544	61,4	15,8	74,23	0,79	31540	63,4	11687	7378	3733	11658	6951
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Zubau_nur_BROT	OGD, Fass. a. Zubau, BROT	92,29	40938	51,5	19,1	93,37	0,79	40649	52,9	11687	7548	4072	11658	7325
Bestand_obersteGD_San1_Fenster	OGD, Fenster	136,70	58824	30,3	25,9	136,98	0,80	59728	30,7	11337	7548	4523	11309	7718
Bestand_obersteGD_San1_Fenster_aller_Bestw_San1_BGRUEN	OGD, Fenster, San1 BGRUEN	104,98	45172	46,5	20,7	105,19	0,80	45339	47,4	11337	7548	4209	11309	7295
Bestand_obersteGD_San1_Fenster_nur_BROT	OGD, Fenster, BROT	113,51	48845	42,1	22,1	113,74	0,80	49231	42,9	11337	7548	4302	11309	7422
Bestand_obersteGD_San1_nur_BROT	OGD, BROT	123,81	53276	36,8	23,8	124,06	0,80	53905	37,5	11337	7548	4405	11309	7561
<b>T E N N E BEHEIZT:</b>														
Bestand_obersteGD_San1_alle_Bestw_ausser_San1_BGRUEN	OGD, Boden San1 BGRUEN	103,24	44424	47,3	20,4	108,23	0,74	44545	48,3	11337	7548	4189	11309	7268
Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fasade_komplett_Boden_ges	OGD, At. Fas. ganz, Boden ges	87,35	38099	54,8	18,0	91,61	0,74	37705	56,3	11492	7548	3998	11463	7100
Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fasade_komplett_Fen_BGes	OGD, AtFg, Fen., Boden ges	76,90	33542	60,2	16,1	80,65	0,74	32730	62,0	11492	7378	3778	11463	6902
Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fasade_komplett_Fen_BROT	OGD, AtFg, Fen., BROT	85,54	37311	55,8	17,6	89,71	0,74	36800	57,3	11492	7378	3900	11463	7080
Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fasade_komplett_Fenster	OGD, Fass. ganz, Fenster	109,12	47595	43,6	21,6	114,44	0,74	47769	44,6	11492	7378	4183	11463	7483
Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fasade_komplett_nur_BROT	OGD, Fass. ganz, BROT	95,87	41815	50,4	19,4	100,54	0,74	41685	51,7	11492	7548	4108	11463	7254
Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fasade_Nord_Boden_ges	OGD, AFNord, Boden ges	97,94	42520	49,6	19,7	102,45	0,74	42466	50,8	11438	7548	4131	11409	7252
Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fasade_Nord_Fenster	OGD, AFNord, Fenster	119,46	51863	38,5	23,3	124,96	0,74	52303	39,4	11438	7378	4286	11409	7592
Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fasade_Nord_Fenster_Boden_ges	OGD, AFNord, Fen., Bod. Ges	87,60	38028	54,9	17,9	91,63	0,74	37599	56,4	11438	7378	3925	11409	7083
Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fasade_Nord_Fenster_nur_BROT	OGD, AFNord, Fen., BROT	96,16	41747	50,5	19,4	100,59	0,74	41580	51,8	11438	7378	4033	11409	7238
Bestand_obersteGD_San1_Atelier_Fasade_Nord_nur_BROT	OGD, AFNord, BROT	106,37	46178	45,3	21,1	111,26	0,74	46358	46,2	11438	7548	4229	11409	7388
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Puffer	OGD, Fassade, außer Puffer	97,23	43680	48,2	20,2	103,30	0,72	43501	49,6	11836	7548	4141	11806	7516
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Puffer_Boden_ges	OGD, Fass. a. Puffer, Boden ges.	65,54	29445	65,1	14,6	69,63	0,72	28123	67,4	11836	7548	3678	11806	6836
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Puffer_Fenster	OGD, Fass. a. Puffer, Fenster	87,26	39202	53,5	18,4	92,71	0,72	38651	55,2	11836	7378	3939	11806	7347
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Puffer_Fenster_nur_BROT	OGD, F. a. Puff., Fen., BROT	63,73	28632	66,1	14,2	67,71	0,72	27178	68,5	11836	7378	3579	11806	6803
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Puffer_gesamt	Gesamtsanierung	55,20	24800	70,6	12,7	58,65	0,72	22935	73,4	11836	7378	3418	11806	6553
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Puffer_nur_BROT	OGD, Fass. a. Puffer, BROT	74,01	33247	60,6	16,1	78,63	0,72	32277	62,6	11836	7548	3819	11806	7047
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Zubau	OGD, Fass. a. Zubau	103,75	46023	45,4	21,1	109,70	0,73	46070	46,6	11687	7548	4211	11658	7522
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Zubau_Boden_ges	OGD, Fass. a. Zubau, Boden ges	71,90	31893	62,2	15,5	76,02	0,73	30884	64,2	11687	7548	3779	11658	6900
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Zubau_Fenster	OGD, Fass. a. Zubau, Fenster	93,75	41587	50,7	19,3	99,13	0,73	41283	52,1	11687	7378	4015	11658	7368
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Zubau_Fenster_nur_BROT	OGD, F. a. Zub., Fen., BROT	70,08	31086	63,1	15,2	74,10	0,73	29951	65,3	11687	7378	3680	11658	6872
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Zubau_gesamt	Gesamtsan., ausser Zubau	61,47	27266	67,7	13,7	64,99	0,73	25758	70,1	11687	7378	3532	11658	6647
Bestand_obersteGD_San1_Fassade_ausser_Zubau_nur_BROT	OGD, Fass. a. Zubau, BROT	80,42	35674	57,7	17,0	85,03	0,73	34988	59,4	11687	7548	3910	11658	7092
Bestand_obersteGD_San1_Fenster	OGD, Fenster	124,56	53601	36,5	23,9	130,58	0,74	54247	37,1	11337	7548	4413	11309	7571
Bestand_obersteGD_San1_Fenster_alle_Bestw_San1_BGRUEN	OGD, Fenster, San1 BGRUEN	92,77	39920	52,7	18,6	97,25	0,74	39739	53,9	11337	7548	4062	11309	7094
Bestand_obersteGD_San1_Fenster_nur_BROT	OGD, Fenster, BROT	101,33	43603	48,3	20,1	106,22	0,74	43670	49,4	11337	7548	4167	11309	7238
Bestand_obersteGD_San1_nur_BROT	OGD, BROT	111,65	48044	43,0	21,8	117,05	0,74	48384	43,9	11337	7548	4282	11309	7395
			kWh	Ein-	kW				Ein-					
Dateiname	Hinweise	HWB <sub>BSF</sub>	OH	spar.	Heizl.	NEZ	Komp.	QT	spar.	QV	QS	QS nu.	QI	QI nu.

Abb.24: Sanierungsvarianten Alt-und Zubau mit Atelier mit Einzelmaßnahmen und Kombinationen

**ALTBAU-ZUBAU(1990) MIT ATELIER IST-SITUATION:**

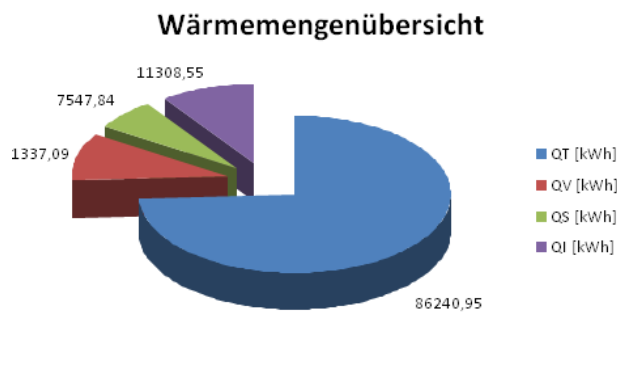


Abb.25.1: Wärmemengen Gewinn Verlust WH A

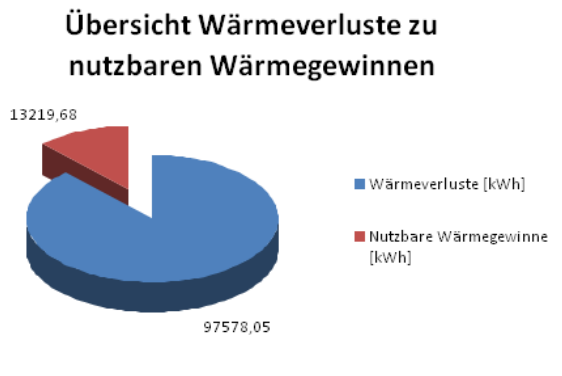


Abb.25.2: nutzbare Wärmegewinne Wohnhaus mit A

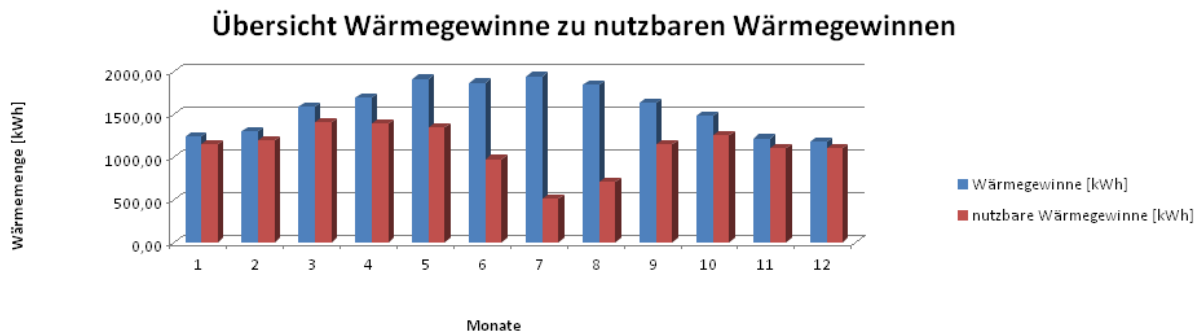


Abb.25.3: Wärmegewinne pro Monat

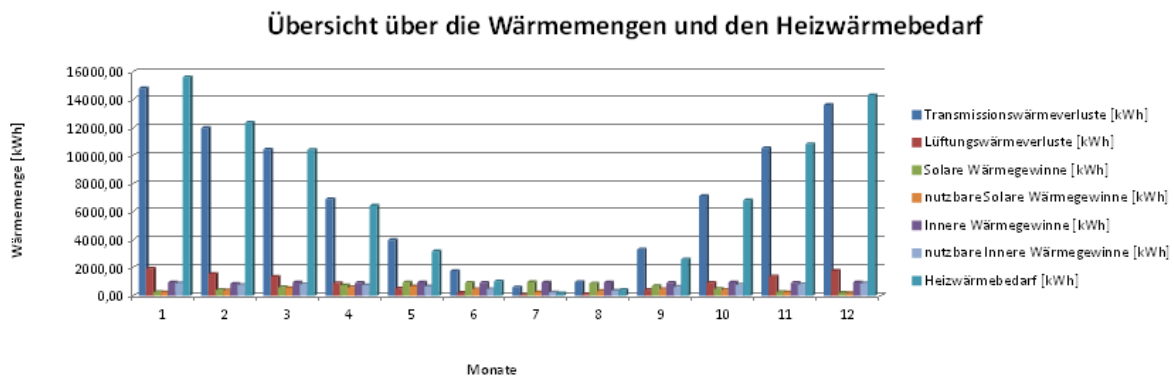


Abb.25.4: Energiegewinne/-verluste Wohnhaus mit Atelier pro Monat



## Die Werte aus Tabelle Abb.24 in Textform:

### Die Einzelmaßnahmen im Überblick:

#### Fenstertausch:

Der U-Wert wird von 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,90 W/m<sup>2</sup>K gesenkt. Dies verringert die Transmissionswärmeverluste um 5,7%. Der Heizwärmebedarf ( $Q_H$ ) sinkt um 5,7%. Die geringeren solaren Erträge (geringer g-Wert der neuen Fenster => geringere solare Gewinne) bewirken, dass der Heizbedarf im selben Ausmaß wie die Transmissionswärmeverluste verringert wird.

#### Bodensanierung (nur Boden rot)

Der U-Wert wird von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K gesenkt. Das hat eine Verringerung der Transmissionswärmeverluste um 13,1% zur Folge. Der Heizwärmebedarf ( $Q_H$ ) sinkt um 12,9%.

Sanierung der **Altbau-Außenwände** und der **Ost-/Westwand des Ateliers** mit 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte, **Dämmung der Nordwand** mit 37 cm Stroh. Der U-Wert sinkt von 0,7 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Wand im Erdgeschoss) bzw. von 1,02 W/m<sup>2</sup>K auf 0,21 W/m<sup>2</sup>K (Wand im Obergeschoss) ein. Um eine durchgängige Fassade von Altbau und Atelier zu erreichen, werden die Ost-/Westwand des Ateliers, wie der Altbau saniert. Das verringert die Transmissionswärmeverluste um 13,4% und den Heizwärmebedarf ( $Q_H$ ) um 13,1%.

#### Bodensanierung (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)

Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,44 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün). Das verringert die Transmissionswärmeverluste um 17,8% und den Heizwärmebedarf ( $Q_H$ ) um 17,6%.

#### Bodensanierung (alle Böden auf Bestwert, außer Zubau)

Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün). Dadurch sinken die Transmissionswärmeverluste um 18,4% und der Heizwärmebedarf um 18,1%.

Diese Variante ist nur theoretischer Natur, da die Komplettsanierung des grün markierten Bodens einen enormen Aufwand bedeuten würde.

#### Dämmung der obersten Geschossdecke mit 74 cm Stroh

Der U-Wert der obersten Geschossdecke sinkt von 1,06 W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K. Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 25,6% und der Heizwärmebedarf um 25,2%.

#### Dämmung der obersten Geschossdecke mit 74 cm und die Nordfassade des Ateliers mit 37 cm Stroh

Der U-Wert der obersten Geschossdecke sinkt von 1,06 W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K. Der U-Wert der Nordwand sinkt von 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K. Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 27,8% und der Heizwärmebedarf um 27,3%.

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Atelier - Nordwand** 37 cm Stroh, **Atelier - Ost-/Westwand** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte

Senkung des U-Wertes von 2,03W/m<sup>2</sup>K auf 0,06W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16W/m<sup>2</sup>K auf 0,11W/m<sup>2</sup>K (Nordwand) und 1,16W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 32,9% und der Heizwärmebedarf um 32,3%. (Stellt genauer betrachtet ebenfalls eine Maßnahmenkombination dar und wird aus diesem Grund weiter unten noch einmal aufgeführt)

### **Die Maßnahmenkombinationen im Überblick:**

**Dämmung der obersten Geschossdecke** mit 74 cm Stroh und **Fenstertausch**

Der U-Wert der obersten Geschossdecke sinkt von 1,06W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K.

Der Fenstertausch hat eine Senkung des U-Wertes von 1,6W/m<sup>2</sup>K bis 5,6W/m<sup>2</sup>K auf 0,9W/m<sup>2</sup>K zur Folge.

Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 30,7% und der Heizwärmebedarf um 30,3% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 37,1% und 36,5% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh und **Fenstertausch**

Senkung des U-Wertes von 1,06W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03W/m<sup>2</sup>K auf 0,06W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16W/m<sup>2</sup>K auf 0,11W/m<sup>2</sup>K (Nordwand) und von 1,6W/m<sup>2</sup>K bis 5,6W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 33,0% und der Heizwärmebedarf um 32,3% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 39,4% und 38,5% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh und **Boden rot**

Senkung des U-Wertes von 1,06W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03W/m<sup>2</sup>K auf 0,06W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke) und von 2,08W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 37,5% und der Heizwärmebedarf um 36,8% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 43,9 und 43,0% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, Nordwand 37 cm Stroh, Ost-/Westwand 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte und Fenstertausch

Senkung des U-Wertes von 1,06W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03W/m<sup>2</sup>K auf 0,06W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16W/m<sup>2</sup>K auf 0,11W/m<sup>2</sup>K (Nordwand), 1,16W/m<sup>2</sup>K auf 0,22W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand) und von 1,6W/m<sup>2</sup>K bis 5,6W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 38,2% und der Heizwärmebedarf um 37,4% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 44,6% und 43,6% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh, **Boden rot**

Senkung des U-Wertes von 1,06W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03W/m<sup>2</sup>K auf 0,06W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16W/m<sup>2</sup>K auf 0,11W/m<sup>2</sup>K (Nordwand) und 2,08W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 39,8% und der Heizwärmebedarf um 39,0% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 46,2% und 45,3% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh, **Ost-/Westwand** 10 cm sowie **Altbau – Fassade** Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte

Senkung des U-Wertes von 1,06W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03W/m<sup>2</sup>K auf 0,06W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16W/m<sup>2</sup>K auf 0,11W/m<sup>2</sup>K (Nordwand), 1,16W/m<sup>2</sup>K auf 0,22W/m<sup>2</sup>K (Ost-

/Westwand) und  $0,7\text{W/m}^2\text{K}$  bzw.  $1,02\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,19\text{W/m}^2\text{K}$  bzw.  $0,21\text{W/m}^2\text{K}$  (Fassade Altbau EG bzw. OG). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 40,1% und der Heizwärmebedarf um 39,2% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 46,6% und 45,4% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh und Bodensanierung (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)**

Senkung des U-Wertes von  $1,06\text{W/m}^2\text{K}$  bzw.  $2,03\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,06\text{W/m}^2\text{K}$  (oberste Geschossdecke). Der U-Wert sinkt von  $2,08\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,19\text{W/m}^2\text{K}$  (Boden rot), von  $0,67\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,19\text{W/m}^2\text{K}$  (Boden gelb) und von  $1,62\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,44\text{W/m}^2\text{K}$  (Boden grün). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 41,9 und der Heizwärmebedarf um 41,1% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 48,3% und 47,3% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Nordwand 37 cm Stroh, Ost-/Westwand 10 cm sowie Altbau – Fassade und Zubau Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte**

Senkung des U-Wertes von  $1,06\text{W/m}^2\text{K}$  bzw.  $2,03\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,06\text{W/m}^2\text{K}$  (oberste Geschossdecke),  $1,16\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,11\text{W/m}^2\text{K}$  (Nordwand),  $1,16\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,22\text{W/m}^2\text{K}$  (Ost-/Westwand),  $0,7\text{W/m}^2\text{K}$  bzw.  $1,02\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,19\text{W/m}^2\text{K}$  bzw.  $0,21\text{W/m}^2\text{K}$  (Fassade Altbau EG bzw. OG) und  $0,48\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,17\text{W/m}^2\text{K}$  (Außenwand Zubau). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 43,1% und der Heizwärmebedarf um 42,0% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 49,6% und 48,2% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Fenster und Boden rot**

Senkung des U-Wertes von  $1,06\text{W/m}^2\text{K}$  bzw.  $2,03\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,06\text{W/m}^2\text{K}$  (oberste Geschossdecke),  $1,6\text{W/m}^2\text{K}$  bis  $5,6\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,9\text{W/m}^2\text{K}$  (Fenster) und  $2,08\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,19\text{W/m}^2\text{K}$  (Boden rot). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 42,9% und der Heizwärmebedarf um 42,1% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 49,4% und 48,3% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Nordwand 37 cm Stroh und Boden (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)**

Senkung des U-Wertes von  $1,06\text{W/m}^2\text{K}$  bzw.  $2,03\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,06\text{W/m}^2\text{K}$  (oberste Geschossdecke) und  $1,16\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,11\text{W/m}^2\text{K}$  (Nordwand). Der U-Wert sinkt von  $2,08\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,19\text{W/m}^2\text{K}$  (Boden rot), von  $0,67\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,19\text{W/m}^2\text{K}$  (Boden gelb) und von  $1,62\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,44\text{W/m}^2\text{K}$  (Boden grün).

Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 44,3% und der Heizwärmebedarf um 43,4% (Tenne als Pufferraum) bzw. 50,8% und 49,6% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Nordwand 37 cm Stroh, Ost-/Westwand 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte und Boden rot**

Senkung des U-Wertes von  $1,06\text{W/m}^2\text{K}$  bzw.  $2,03\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,06\text{W/m}^2\text{K}$  (oberste Geschossdecke),  $1,16\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,11\text{W/m}^2\text{K}$  (Nordwand),  $1,16\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,22\text{W/m}^2\text{K}$  (Ost-/Westwand) und von  $2,08\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,19\text{W/m}^2\text{K}$  (Boden rot). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 45,2% und der Heizwärmebedarf um 44,2% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 51,7% und 50,4% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Nordwand 37 cm Stroh, Fenster und Boden rot**

Senkung des U-Wertes von  $1,06\text{W/m}^2\text{K}$  bzw.  $2,03\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,06\text{W/m}^2\text{K}$  (oberste Geschossdecke),  $1,16\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,11\text{W/m}^2\text{K}$  (Nordwand),  $1,6\text{W/m}^2\text{K}$  bis  $5,6\text{W/m}^2\text{K}$  auf

0,9W/m<sup>2</sup>K (Fenster) und 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 45,3% und der Heizwärmebedarf um 44,3% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 51,8% und 50,5% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh, **Ost-/Westwand** 10 cm sowie **Altbau – Fassade** Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte und **Fenster**

Senkung des U-Wertes von 1,06W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03W/m<sup>2</sup>K auf 0,06W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16W/m<sup>2</sup>K auf 0,11W/m<sup>2</sup>K (Nordwand), 1,16W/m<sup>2</sup>K auf 0,22W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand), 0,7W/m<sup>2</sup>K bzw. 1,02W/m<sup>2</sup>K auf 0,19W/m<sup>2</sup>K bzw. 0,21W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG bzw. OG) und 1,6W/m<sup>2</sup>K bis 5,6W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 45,6% und der Heizwärmebedarf um 44,5% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 52,1% und 50,7% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Fenster und Boden (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)**

Senkung des U-Wertes von 1,06W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03W/m<sup>2</sup>K auf 0,06W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke) und 1,6W/m<sup>2</sup>K bis 5,6W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster). Der U-Wert sinkt von 2,08W/m<sup>2</sup>K auf 0,19W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67W/m<sup>2</sup>K auf 0,19W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62W/m<sup>2</sup>K auf 0,44 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün).

Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 47,4% und der Heizwärmebedarf um 46,5% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 53,9% und 52,7% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh, **Ost-/Westwand** 10 cm sowie **Altbau – Fassade und Zubau** Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte und **Fenster**

Senkung des U-Wertes von 1,06W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03W/m<sup>2</sup>K auf 0,06W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16W/m<sup>2</sup>K auf 0,11W/m<sup>2</sup>K (Nordwand), 1,16W/m<sup>2</sup>K auf 0,22W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand), 0,7W/m<sup>2</sup>K bzw. 1,02W/m<sup>2</sup>K auf 0,19W/m<sup>2</sup>K bzw. 0,21W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG bzw. OG), 0,48W/m<sup>2</sup>K auf 0,17W/m<sup>2</sup>K (Außenwand Zubau) und 1,6W/m<sup>2</sup>K bis 5,6W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 48,7% und der Heizwärmebedarf um 47,3% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 55,2% und 53,5% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh, **Ost-/Westwand** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte und **Boden (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)**

Senkung des U-Wertes von 1,06 W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordwand), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand). Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,44 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün).

Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 49,8% und der Heizwärmebedarf um 48,6% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 56,3% und 54,8% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh, **Fenster und Boden (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)**

Senkung des U-Wertes von 1,06W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03W/m<sup>2</sup>K auf 0,06W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16W/m<sup>2</sup>K auf 0,11W/m<sup>2</sup>K (Nordwand) und 1,6W/m<sup>2</sup>K bis 5,6W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster). Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,44 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün). Dadurch

verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 49,9% und der Heizwärmebedarf um 48,7% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 56,4% und 54,9% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh, **Ost-/Westwand** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte, **Fenster und Boden (nur Boden rot)**  
Senkung des U-Wertes von 1,06 W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordwand), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand), 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster) und von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 50,8% und der Heizwärmebedarf um 49,5% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 57,3% und 55,8% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh, **Ost-/Westwand** sowie **Altbau – Fassade** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte und **Boden rot**  
Senkung des U-Wertes von 1,06 W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordwand), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand), 0,7 W/m<sup>2</sup>K bzw. 1,02 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K bzw. 0,21 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG bzw. OG) und von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 52,9% und der Heizwärmebedarf um 51,5% mit Tenne als Pufferraum) bzw. 59,4% und 57,7% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh, **Ost-/Westwand** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte, **Fenster und Boden (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)**  
Senkung des U-Wertes von 1,06 W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordwand), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand) und von 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster). Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,44 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 55,5% und der Heizwärmebedarf um 54,0% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 62,0% und 60,2% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh, **Ost-/Westwand** sowie **Altbau – Fassade und Zubau** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte und **Boden rot**  
Senkung des U-Wertes von 1,06 W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordwand), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand), 0,7 W/m<sup>2</sup>K bzw. 1,02 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K bzw. 0,21 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG bzw. OG), 0,48 W/m<sup>2</sup>K auf 0,17 W/m<sup>2</sup>K (Außenwand Zubau) und von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 56,0% und der Heizwärmebedarf um 54,3% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 62,6% und 60,6% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh, **Ost-/Westwand** sowie **Altbau – Fassade** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte und **Boden (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)**  
Senkung des U-Wertes von 1,06 W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordwand), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand) und 0,7 W/m<sup>2</sup>K bzw. 1,02 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K bzw. 0,21 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG bzw. OG). Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,44 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün). Dadurch

verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 57,6% und der Heizwärmebedarf um 55,9% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 64,2% und 62,2% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh, **Ost-/Westwand** sowie **Altbau – Fassade** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte, **Fenster und Boden rot**  
Senkung des U-Wertes von 1,06 W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordwand), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand), 0,7 W/m<sup>2</sup>K bzw. 1,02 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K bzw. 0,21 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG bzw. OG), 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster) und von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 58,6% und der Heizwärmebedarf um 56,9% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 65,3% und 63,1% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh, **Ost-/Westwand** sowie **Altbau – Fassade und Zubau** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte und **Boden (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)**  
Senkung des U-Wertes von 1,06 W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordwand), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand), 0,7 W/m<sup>2</sup>K bzw. 1,02 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K bzw. 0,21 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG bzw. OG), 0,48 W/m<sup>2</sup>K auf 0,17 W/m<sup>2</sup>K (Außenwand Zubau). Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,44 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 60,7% und der Heizwärmebedarf um 58,8% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 67,4% und 65,1% (Tenne beheizt).

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh, **Ost-/Westwand** sowie **Altbau – Fassade und Zubau** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte, **Fenster und Boden rot**  
Senkung des U-Wertes von 1,06 W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordwand), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand), 0,7 W/m<sup>2</sup>K bzw. 1,02 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K bzw. 0,21 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG bzw. OG), 0,48 W/m<sup>2</sup>K auf 0,17 W/m<sup>2</sup>K (Außenwand Zubau), 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster) und von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 61,8% und der Heizwärmebedarf um 59,8% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 68,5% und 66,1% (Tenne beheizt).

#### **Gesamtsanierung (außer Zubau):**

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh, **Ost-/Westwand** sowie **Altbau – Fassade** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte, **Fenster und Boden (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)**  
Senkung des U-Wertes von 1,06 W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,1 W/m<sup>2</sup>K (Nordwand), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand), 0,7 W/m<sup>2</sup>K bzw. 1,02 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K bzw. 0,21 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG bzw. OG) und 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster). Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,44 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 63,4% und der Heizwärmebedarf um 61,4% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 70,1% und 67,7% (Tenne beheizt).

**Gesamtsanierung (außer Pufferräume):**

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordwand** 37 cm Stroh, **Ost-/Westwand** sowie **Altbau – Fassade und Zubau** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte, **Fenster und Boden (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)**

Senkung des U-Wertes von 1,06 W/m<sup>2</sup>K bzw. 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordwand), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand), 0,7 W/m<sup>2</sup>K bzw. 1,02 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K bzw. 0,21 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG bzw. OG), 0,48 W/m<sup>2</sup>K auf 0,17 W/m<sup>2</sup>K (Außenwand Zubau) und 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster). Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,44 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 66,7% und der Heizwärmebedarf um 64,4% (mit Tenne als Pufferraum) bzw. 73,4% und 70,6% (Tenne beheizt).

## Fazit:

Bei dieser Betrachtungsweise bestehen beim Atelier die größten Energieverluste. Die Einsparungsmöglichkeiten sind hier enorm.

Die Sanierung der obersten Geschossdecke mit 74 cm Stroh bildet die Grundlage aller weiteren Maßnahmen. Hier ist der Kosten-/Nutzen-Faktor am besten, vor allem da viel in Eigenregie gemacht werden kann. Da die Nordfassade des Ateliers einen Schutz gegen Schlagregen erhalten soll, scheint eine Strohdämmung mit 37 cm und Hinterlüftung eine gute Wahl.

Auch im Altbau besteht Sanierungsbedarf. Der Zubau kann mit einem U-Wert von  $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$  von Sanierungsmaßnahmen ausgespart bleiben.

Die Außenwände des Ateliers sind ebenfalls zu dämmen. Für kurze Benutzungsintervalle wäre eine Innendämmung möglich. Dadurch wäre nicht die gesamte Speichermasse aufzuheizen. Die Fassade des Ateliers kann durchaus deutlich vor der Sanierung des Altbaus durchgeführt werden.

Die Sanierung der Fassade des Altbaus und gegebenenfalls des Zubaus kann anschließend jederzeit durchgeführt werden.

**Um eine Förderung zu erreichen, ist eine Gesamtanierung erforderlich.** Einzig der Zubau braucht hier nicht verändert zu werden.

Als letzte Verbesserungsmöglichkeit bleibt die Dämmung der Wände Richtung Pufferräume. Wände des Ateliers und des Altbaus würden hier doch noch einiges bringen.

Erfolgt die **Gesamtanierung ohne** der Einbindung des **Zubaus**, so beträgt der  $\text{HWB}_{\text{BGF}} = 73,36 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ .

Die Transmissionswärmeverluste sinken auf knapp mehr als  $1/3$ . Der **NEZ** beträgt  $74,23 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ .

Die **Heizlast** reduziert sich auf **15,8 kW**.

Erfolgt die **Gesamtanierung mit** der Einbindung des **Zubaus**, so beträgt der  $\text{HWB}_{\text{BGF}} = 66,94 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ .

Die Transmissionswärmeverluste sinken auf genau  $1/3$ .

Der **NEZ** liegt bei  $68,07 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Die Heizlast reduziert sich auf **14,8 kW**.

Der Heizwärmebedarf des Bestands ( $Q_H = 84358 \text{ kWh/a}$ ) entspricht  $17575 \text{ kg}$  Pellets bzw.  $20436 \text{ kg}$  mit einem Nutzungsgrad von  $86\%$ . Dafür sind  $4700,18 \text{ €}$  bei  $230 \text{ €/t} + 30 \text{ €}$  Lieferkosten zu bezahlen.

Der Heizwärmebedarf der Gesamtanierung außer dem Zubau ( $Q_H = 32544 \text{ kWh/a}$ ) entspricht  $6780 \text{ kg}$  Pellets bzw.  $7884 \text{ kg}$  mit einem Nutzungsgrad von  $86\%$ . Dafür sind  $1813,26 \text{ €}$  bei  $230 \text{ €/t} + 30 \text{ €}$  Lieferkosten zu bezahlen. Das entspricht einer jährlichen Ersparnis von  $2886,92 \text{ €}$  (bei  $230 \text{ €/t}$ ).

Der Heizwärmebedarf der Gesamtanierung mit dem Zubau ( $Q_H = 30072 \text{ kWh/a}$ ) entspricht  $6265 \text{ kg}$  Pellets bzw.  $7285 \text{ kg}$  mit einem Nutzungsgrad von  $86\%$ . Dafür sind  $1675,52 \text{ €}$  bei  $230 \text{ €/t} + 30 \text{ €}$  Lieferkosten zu bezahlen. Das entspricht einer jährlichen Ersparnis von  $3024,66 \text{ €}$  (bei  $230 \text{ €/t}$ ). Bezogen auf die Sanierung ohne dem Zubau beträgt die Ersparnis  $137,74 \text{ €}$  (bei  $230 \text{ €/t}$ ).



**ALTBAU-ZUBAU(1990) MIT ATELIER GESAMTSANIERUNG AUSSER PUFFERRÄUME:**

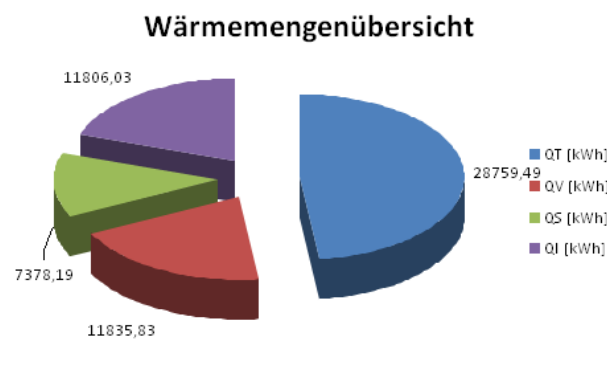


Abb.26.1: Wärmemengen Gewinn Verlust gesamt

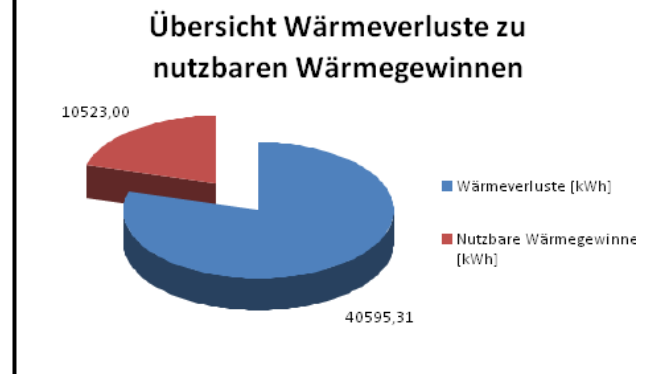


Abb.26.2: nutzbare Wärmegewinne gesamt

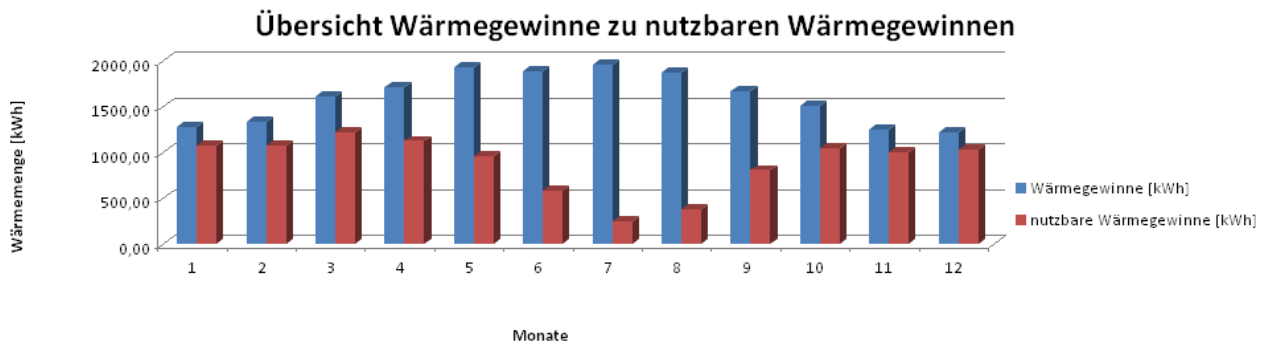


Abb.26.3: Wärmegewinne pro Monat

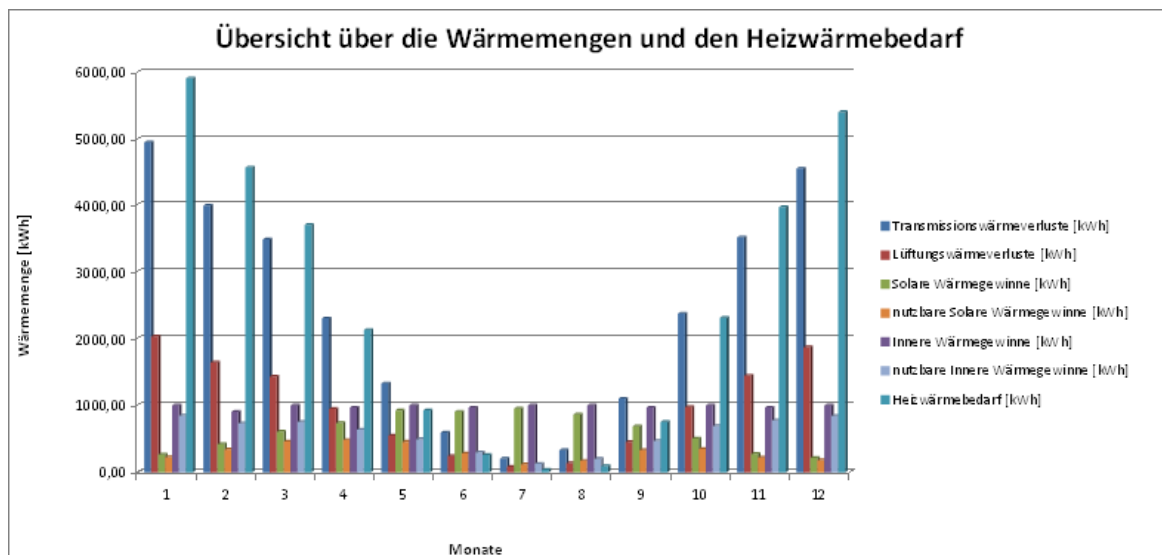


Abb.26.4: Energiegewinne/-verluste Gesamtsanierung ohne Tenne und ohne Pufferraum pro Monat

## 9.5. ANALYSE DES GESAMTGEBÄUDES

Derzeitige Situation:

Die Ausgangssituation der Analyse beschreibt den aktuellen Stand des Gesamtgebäudes.

Einzelne Gebäudeteile, wie Alt- und Zubau, Tenne (Durchfahrt) und Atelier (bisher Stall) weisen sehr unterschiedliche Dämmqualitäten auf.

Als Ausgangslage wird hier ein  $HWB_{BGF}$  von  $199,36 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  errechnet.

( $Q_H = 92320 \text{ kWh/a}$  entspricht  $19233 \text{ kg Pellets}$  bzw.  $22364 \text{ kg}$  mit einem Nutzungsgrad von  $86\%$  ( $5143,80 \text{ €}$  bei  $230 \text{ €/t} + 30 \text{ € Lieferkosten}$ )).

Für die **Fläche** von  **$463,07 \text{ m}^2$**  wären beachtliche  **$39,4 \text{ kW Heizleistung}$**  nötig.

Transmissionswärmeverluste von  $95667 \text{ kWh}$  sind in diesem Fall schon sehr hoch. Die größten Energieverluste bestehen vor allem bei der Tenne und dem Atelier.

Die U-Werte des Altbaus bewegen sich zwischen  $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  und  $1,02 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Außenwände),  $1,06 \text{ W/m}^2\text{K}$  und  $2,03 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Decken),  $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$  (bereits saniert) und  $2,08 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Boden) sowie  $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$  und  $2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Fenster und Türen).

Die U-Werte des Zubaus bewegen sich zwischen  $0,46 \text{ W/m}^2\text{K}$  und  $0,48 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Außenwände) sowie  $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$  und  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Fenster und Türen). Der U-Wert der Decke ( $0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) ist fast identisch mit dem des Bodens ( $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).

Die U-Werte der Tenne bewegen sich von  $1,06 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Decke) über  $2,08 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Boden) und  $2,29 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Außenwände) bis zu  $5,6 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Fenster).

Die U-Werte des Ateliers bewegen sich von  $1,16 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Außenwände) über  $1,47 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Wand zum Pufferraum Tenne) sowie  $2,03 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Decke) und  $2,08 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Boden) bis zu  $5,6 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Fenster).

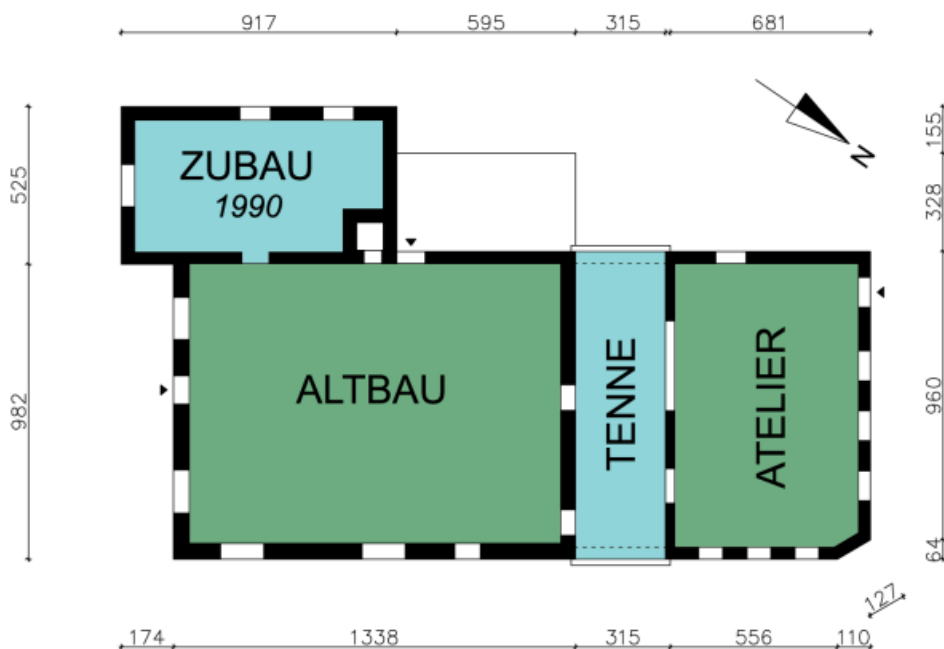


Abb.27: Schema Situation gesamt EG\_GR:  
Wohntrakt, Tenne, Atelier

**ALTBAU-ZUBAU MIT ATELIER UND TENNE IST-SITUATION:**

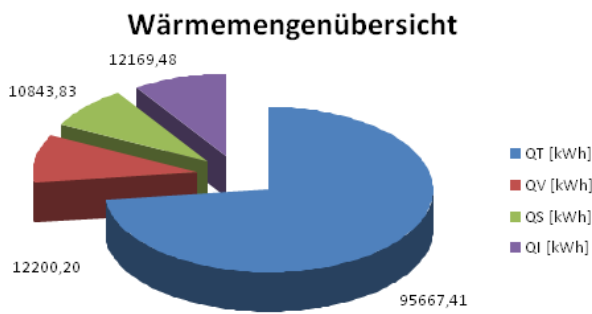


Abb.28.1: Wärmemengen Gewinn Verlust gesamt

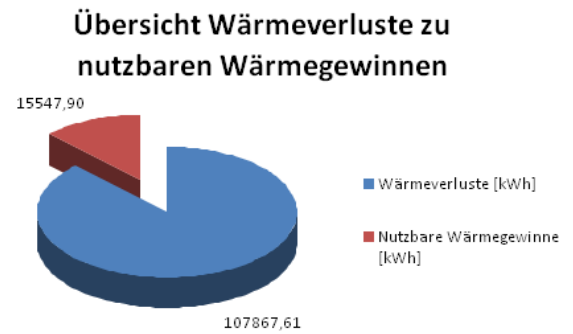


Abb.28.2: nutzbare Wärmegewinne gesamt

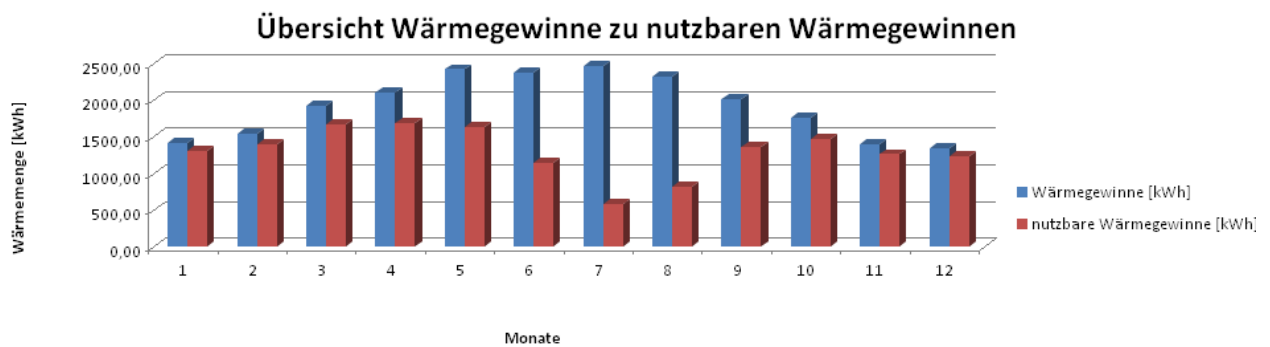


Abb.28.3: Wärmegewinne pro Monat

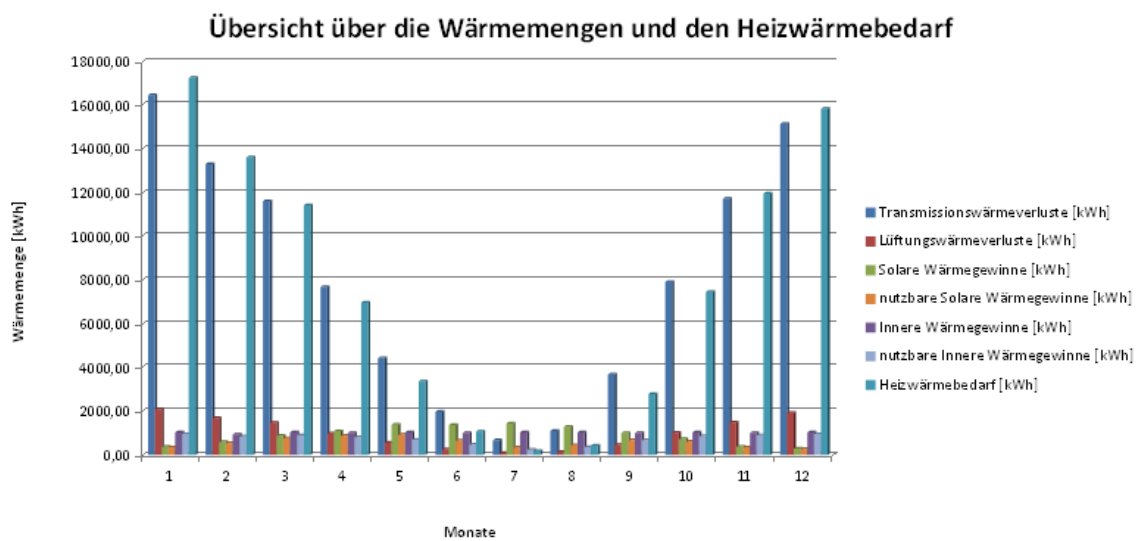


Abb.28.4: Energiegewinne/-verluste Gesamt Ist-Zustand pro Monat

## Die Werte aus Tabelle in Textform:

### Die Einzelmaßnahmen im Überblick:

#### Fenstertausch:

Der Austausch fast aller Fenster (außer im Zubau) bewirkt, dass der U-Wert der Fenster von  $1,6\text{W/m}^2\text{K}$  bis  $5,6\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,9\text{W/m}^2\text{K}$  sinkt.

Dies bringt eine Verringerung der Transmissionswärmeverluste und des Heizwärmebedarfs von 10,6%.

#### Bodensanierung (nur Boden rot)

Der U-Wert wird von  $2,08\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,19\text{W/m}^2\text{K}$  gesenkt. Das bringt eine Verringerung der Transmissionswärmeverluste und des Heizwärmebedarfs um 16,0%.

#### Bodensanierung (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)

Der U-Wert sinkt von  $2,08\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,19\text{W/m}^2\text{K}$  (Boden rot), von  $0,67\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,19\text{W/m}^2\text{K}$  (Boden gelb) und von  $1,62\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,44\text{W/m}^2\text{K}$  (Boden grün). Das verringert die Transmissionswärmeverluste um 20,3% und den Heizwärmebedarf ( $Q_H$ ) um 20,2%.

#### Bodensanierung (alle Böden auf Bestwert, außer Zubau)

Der U-Wert sinkt von  $2,08\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,19\text{W/m}^2\text{K}$  (Boden rot), von  $0,67\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,19\text{W/m}^2\text{K}$  (Boden gelb) und von  $1,62\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,19\text{W/m}^2\text{K}$  (Boden grün).

Dadurch sinken die Transmissionswärmeverluste um 20,8% und der Heizwärmebedarf um 20,7%.

Diese Variante ist nur theoretischer Natur, da die Komplettsanierung des grün markierten Bodens einen enormen Aufwand bedeuten würde.

#### Dämmung der obersten Geschossdecke mit 74 cm Stroh

Der U-Wert der obersten Geschossdecke sinkt von  $2,03\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,06\text{W/m}^2\text{K}$ . Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 26,9% und der Heizwärmebedarf um 26,7%.

#### Dämmung der obersten Geschossdecke mit 74 cm und die Nordfassade des Ateliers mit 37 cm Stroh

Der U-Wert der obersten Geschossdecke sinkt von  $2,03\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,06\text{W/m}^2\text{K}$ . Der U-Wert der Nordwand sinkt von  $1,16\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,11\text{W/m}^2\text{K}$ . Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 28,7% und der Heizwärmebedarf um 28,5%.

#### Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Nordfassade des Ateliers 37 cm Stroh, Atelier – Ost-/Westwand 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte

Senkung des U-Wertes von  $2,03\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,06\text{W/m}^2\text{K}$  (oberste Geschossdecke),  $1,16\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,11\text{W/m}^2\text{K}$  (Nordwand) und  $1,16\text{W/m}^2\text{K}$  auf  $0,22\text{W/m}^2\text{K}$  (Ost-/Westwand). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 33,2% und der Heizwärmebedarf um 32,9%. (ist streng genommen schon eine Maßnahmenkombination und wird deswegen weiter unten noch einmal aufgeführt)

## Die Maßnahmenkombinationen im Überblick:

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordfassade des Ateliers** 37 cm Stroh, **Atelier – Ost-/Westwand** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte

Senkung des U-Wertes von 2,03W/m<sup>2</sup>K auf 0,06W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16W/m<sup>2</sup>K auf 0,11W/m<sup>2</sup>K (Nordwand) und 1,16W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 33,2% und der Heizwärmebedarf um 32,9%.

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh und **Fenstertausch** (außer Zubau)

Der U-Wert der obersten Geschossdecke sinkt von 2,03W/m<sup>2</sup>K auf 0,06W/m<sup>2</sup>K und der der Fenster von 1,6W/m<sup>2</sup>K bis 5,6W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K.

Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 36,8% und der Heizwärmebedarf um 36,3%.

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh und **Boden (nur Boden rot)**

Senkung des U-Wertes von 2,03W/m<sup>2</sup>K auf 0,06W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke) und 2,08W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot). Dadurch verringern sich die

Transmissionswärmeverluste um 41,2% und der Heizwärmebedarf um 40,7%.

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordfassade des Ateliers** 37 cm Stroh,

**Ost-/Westwand** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte und **Fenstertausch**

Senkung des U-Wertes von 2,03W/m<sup>2</sup>K auf 0,06W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16W/m<sup>2</sup>K auf 0,11W/m<sup>2</sup>K (Nordseite), 1,16W/m<sup>2</sup>K auf 0,22W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand) und von 1,6W/m<sup>2</sup>K bis 5,6W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 41,7 und der Heizwärmebedarf um 41,0%.

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordfassade des Ateliers** 37 cm Stroh,

**Ost-/Westwand** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte, **Außenwände Tenne**

und **Fenstertausch** Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordseite), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand), 2,29 W/m<sup>2</sup>K auf 0,2 W/m<sup>2</sup>K (Außenwände Tenne) und von 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 44,3% und der Heizwärmebedarf um 43,5%.

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh und **Bodensanierung (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)**

Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke). Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,44 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 45,1% und der Heizwärmebedarf um 44,6%.

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordfassade des Ateliers** 37 cm Stroh, **Ost-/Westwand** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte und **Boden (nur Boden rot)**

Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordseite), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand) und von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 48,0% und der Heizwärmebedarf um 47,3%.

**Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Fenster und Boden (nur Boden rot)**

Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster) und von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 51,9% und der Heizwärmebedarf um 50,9%.

**Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Nordfassade des Ateliers 37 cm Stroh, Ost-/Westwand 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte und Boden (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)** Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordseite) und 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand). Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,44 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 52,1% und der Heizwärmebedarf um 51,3%.

**Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Fenster und Boden (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)** Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke) und 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster). Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,44 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 56,0% und der Heizwärmebedarf um 54,9%.

**Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Nordfassade des Ateliers 37 cm Stroh, Ost-/Westwand 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte, Fenster und Boden (nur Boden rot)** Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordwand), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand), 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster) und von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 57,1% und der Heizwärmebedarf um 55,9%.

**Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Nordfassade des Ateliers 37 cm Stroh, Fenster und Boden (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)** Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordwand) und 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster). Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,44 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 58,2% und der Heizwärmebedarf um 57,0%.

**Oberste Geschossdecke 74 cm Stroh, Nordfassade des Ateliers 37 cm Stroh, Ost-/Westwand 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte, Fenster, Außenwände Tenne und Boden (nur Boden rot)** Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordseite), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand), 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster), 2,29 W/m<sup>2</sup>K auf 0,2 W/m<sup>2</sup>K (Außenwände Tenne) und von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 59,9% und der Heizwärmebedarf um 58,5%.

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordfassade des Ateliers** 37 cm Stroh, **Ost-/Westwand** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte, **Fenster und Boden (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)**

Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordseite), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand) und 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster). Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,44 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 61,3% und der Heizwärmebedarf um 59,9%.

**Gesamtsanierung (außer Zubau):**

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordfassade des Ateliers** 37 cm Stroh, **Ost-/Westwand** sowie **Altbau – Fassade** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte, **Fenster und Boden (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)**

Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordseite), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand), 0,7 W/m<sup>2</sup>K bzw. 1,02 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K bzw. 0,21 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG bzw. OG) und 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster). Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,44 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 72,8% und der Heizwärmebedarf um 70,6%.

**Gesamtsanierung (außer Pufferräume):**

**Oberste Geschossdecke** 74 cm Stroh, **Nordfassade des Ateliers** 37 cm Stroh, **Ost-/Westwand** sowie **Altbau – Fassade und Zubau** 10 cm Holzweichfaser und 6 cm Holzputzträgerplatte, **Fenster und Boden (Boden rot und gelb komplett, Boden grün auf Sanierungsstufe 1)**

Senkung des U-Wertes von 2,03 W/m<sup>2</sup>K auf 0,06 W/m<sup>2</sup>K (oberste Geschossdecke), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,11 W/m<sup>2</sup>K (Nordseite), 1,16 W/m<sup>2</sup>K auf 0,22 W/m<sup>2</sup>K (Ost-/Westwand), 0,7 W/m<sup>2</sup>K bzw. 1,02 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K bzw. 0,21 W/m<sup>2</sup>K (Fassade Altbau EG bzw. OG), 0,48 W/m<sup>2</sup>K auf 0,17 W/m<sup>2</sup>K (Außenwand Zubau) und 1,6 W/m<sup>2</sup>K bis 5,6 W/m<sup>2</sup>K auf 0,9 W/m<sup>2</sup>K (Fenster). Der U-Wert sinkt von 2,08 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden rot), von 0,67 W/m<sup>2</sup>K auf 0,19 W/m<sup>2</sup>K (Boden gelb) und von 1,62 W/m<sup>2</sup>K auf 0,44 W/m<sup>2</sup>K (Boden grün). Dadurch verringern sich die Transmissionswärmeverluste um 76,2% und der Heizwärmebedarf um 73,6%.

## Fazit:

Die wichtigsten Sanierungsbereiche liegen bei der Tenne und dem Atelier. Schlechte Ausgangswerte liefern viele Einsparungsmöglichkeiten.

Die Sanierung der obersten Geschossdecke mit 74 cm Stroh bildet die Grundlage aller weiteren Maßnahmen. Da die Nordfassade des Ateliers einen Schutz gegen Schlagregen erhalten soll, scheint eine Strohdämmung mit 37 cm mit Hinterlüftung eine gute Wahl.

Ein effektiver Bodenaufbau ist im Bereich des Ateliers unbedingt erforderlich.

Auch im Altbau besteht Sanierungsbedarf.

Im Atelier ist der Fenstertausch zwingend notwendig, wegen einer starken Tauwasserbildung und einem Schimmelbefall.

Die Fassade des Ateliers kann durchaus deutlich vor der Sanierung des Altbaus durchgeführt werden. Hier sollte auch gleich die Dämmung des erdanliegenden Bereichs mit eingebunden werden.

Die Tenne ist hier ein entscheidender Faktor in Bezug auf die Kompaktheit des Gebäudes. Man erhält sozusagen einen beheizten Innenraum, wenn man **nur** die Decke, Boden und zwei Außenwände erneuert / saniert.

Die Fassaden des Ateliers und der Tenne können durchaus deutlich vor der Sanierung des Altbaus durchgeführt werden.

Die Sanierung der Fassade des Altbaus und gegebenenfalls des Zubaus kann anschließend jederzeit durchgeführt werden. Hier sollte auch gleich die Dämmung des erdanliegenden Bereichs mit eingebunden werden (auf geeignete Dämmungen z.B.: Schaumglas ist zu achten).

**Um eine Förderung zu erreichen, ist eine Gesamtsanierung erforderlich.** Einzig der Zubau braucht hier nicht verändert zu werden. Da der U-Wert der Außenwand des Zubaus dann allerdings mit 0,48 W/m<sup>2</sup>K mehr als doppelt so hoch wie bei den restlichen Außenwänden ist, sollte auch die Verbesserung in diesem Bereich in Erwägung gezogen werden.

Als weitere Verbesserungsmöglichkeit bleibt die Dämmung der Wände Richtung Pufferräume, vor allem die des Altbaus und des Ateliers.

Erfolgt die **Gesamtsanierung ohne** der Einbindung des **Zubaus**, so beträgt der **HWB<sub>BGF</sub> = 57,05 kWh/m<sup>2</sup>a**. Die Transmissionswärmeverluste sinken auf knapp mehr als ¼.

Der **NEZ** beträgt **60,08 kWh/m<sup>2</sup>a**.

Der Heizwärmebedarf der Gesamtsanierung außer dem Zubau ( $Q_H = 27176$  kWh/a) entspricht 5662 kg Pellets bzw. 6583 kg mit einem Nutzungsgrad von 86%. Dafür sind 1514,17 € bei 230 €/t + 30 € Lieferkosten zu bezahlen. Das entspricht einer jährlichen Ersparnis von 3629,63 € (bei 230€/t).

Die **Heizlast** reduziert sich auf **14,1 kW**.

Bei **Einbindung des Zubaus** beträgt der **HWB<sub>BGF</sub> = 50,58 kWh/m<sup>2</sup>a**.

Die Transmissionswärmeverluste sinken auf knapp weniger als ¼.

Der **NEZ** liegt bei **53,51 kWh/m<sup>2</sup>a**. Die **Heizlast** reduziert sich auf **12,9 kW**.

Der Heizwärmebedarf des Bestands ( $Q_H = 92320$  kWh/a) entspricht 19233 kg Pellets bzw. 22364 kg mit einem Nutzungsgrad von 86%. Dafür sind 5143,80 € bei 230 €/t + 30 € Lieferkosten zu bezahlen.

Der Heizwärmebedarf der Gesamtsanierung mit dem Zubau ( $Q_H = 24381$  kWh/a) entspricht 5079 kg Pellets bzw. 5906 kg mit einem Nutzungsgrad von 86%. Dafür sind 1358,44 € bei 230 €/t



Energie- und Ressourceneinsparung durch Sanierung und Lehmziegelforschung  
+ 30 € Lieferkosten zu bezahlen. Das entspricht einer jährlichen Ersparnis von  
3785,36 € (bei 230€/t).

---

**Bezogen auf die Sanierung ohne dem Zubau** beträgt die **Ersparnis 155,73 €** (bei 230€/t).

Alle zuvor genannten Varianten zeigen ganz klar auf, wo hier die wichtigen Schritte zu setzen sind.

Wichtiges Augenmerk sei aber darauf gerichtet, dass diese Überlegungen eigentlich nur im besten Fall einen **HWB<sub>BGF</sub> = 50,58 kWh/m<sup>2</sup>a** zum Ergebnis haben.

Die Erreichung der Fördergrenzen ist anzustreben.

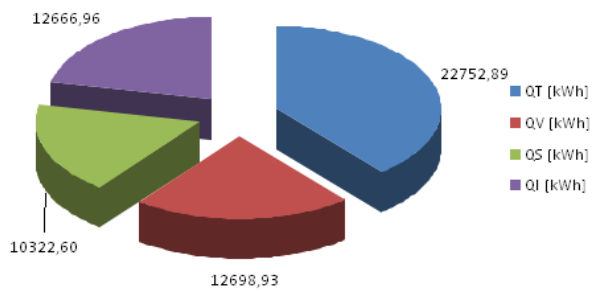
### **Die Schlussfolgerung der vorangegangenen Berechnungen:**

Diese Analyse bietet eine gute und wichtige Entwurfsgrundlage, zeigt aber ganz klar die Schwächen in der Althausanierung auf.

Eine allumfassende gute thermische Hülle ist, wenn man den Standard von Niedrig(st)energiehäusern bzw. von Passivhäusern erreichen will, absolut notwendig.

**ALTBAU-ZUBAU MIT ATELIER UND TENNE GESAMTSANIERUNG AUSSER PUFFERRÄUME:**

**Wärmemengenübersicht**



**Übersicht Wärmeverluste zu nutzbaren Wärmegewinnen**

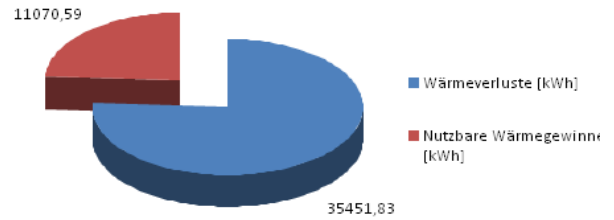


Abb.29.1: Wärmemengen Gewinn Verlust Wohnhaus

Abb.29.2: nutzbare Wärmegewinne Wohnhaus

**Übersicht Wärmegewinne zu nutzbaren Wärmegewinnen**

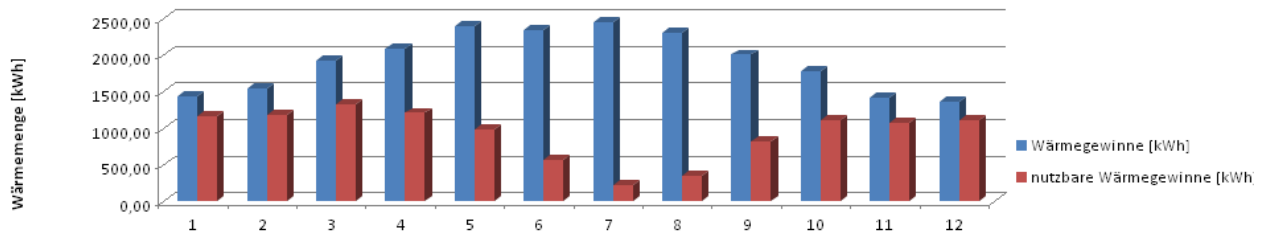


Abb.29.3: Wärmegewinne pro Monat

**Übersicht über die Wärmemengen und den Heizwärmebedarf**

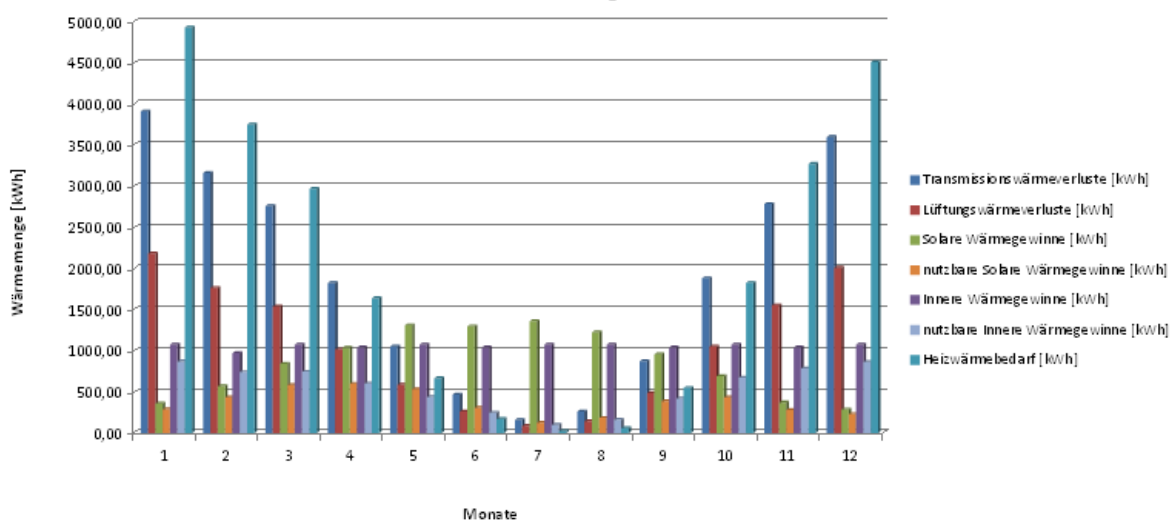


Abb.29.4: Energiegewinne/-verluste Gesamtsanierung mit Tenne ohne Pufferräume pro Monat

## 10. LEHM - EIN ALTER NATURBAUSTOFF

Lehm ist ein Baustoff mit vielen guten Eigenschaften. Lehm reguliert hervorragend die Luftfeuchte und ist diffusionsfähig, konserviert Holz und verhindert Schimmelbildung. Durch seine hohe Dichte hat er eine gute Wärmespeicherfähigkeit und ist ein guter Feuerschutz. Der Lehm, ist grundsätzlich biologisch, bindet Schadstoffe und ist auch hautfreundlich. Dies ist sofort bei der Verarbeitung bemerkbar. Zudem bietet er einen Schutz gegen Elektromog.

Lehm ist weltweit fast überall verfügbar und kann vollständig recycelt werden.

Feuchteregulierung:

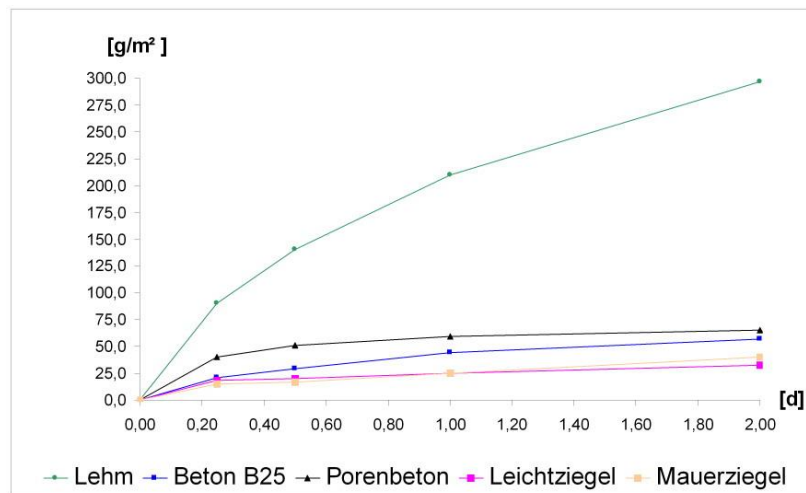


Abb.30: Feuchteaufnahme verschiedener Baustoffe über die Zeit

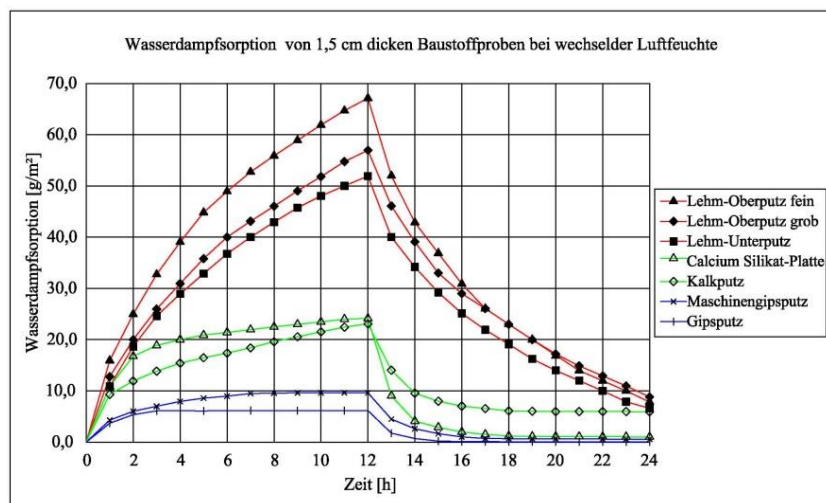


Abb.31: Wasserdampfsorption bei wechselnder Luftfeuchte

Durch neue Verarbeitungsmethoden und neuen Verarbeitungsrichtlinien ist bei diesem hervorragenden Baustoff eine Renaissance zu erwarten. Der vielseitige Einsatz dieses Werkstoffs wird hoffentlich auch in Zukunft immer stärker sichtbar sein.

Aufgrund ständiger Forschung und Weiterentwicklung wird der vielseitige Einsatz gefördert und ermöglicht.

Spezielle Mischungen sorgen für unterschiedliche Werkstoffeigenschaften, die für den Anwender von großer Bedeutung sind.

## 10.1. FORSCHUNGSPROJEKT LEHMZIEGEL

Ziel dieser Forschungsarbeit ist die Entwicklung eines Lehmziegels, der einer möglichst hohen Belastung standhält. Hinzu kommen ökologische und ökonomische Gesichtspunkte, die für den Einsatz dieses Werkstoffs von großer Bedeutung sind.

## 10.2. VERSUCHSABLAUF

Einzelne Mischungen werden hergestellt, wobei auf die Kontinuität der Herangehensweise Bedacht genommen wird.

Allen voran gilt die so genannte Null-Probe als Maß für die weiteren Mischungen.

### 10.2.1. AUFBEREITUNG

Das Rohmaterial bzw. der Lehm (Ton) wird von der Halde in Säcke gefüllt.

Im Labor wird die gesamte Menge für die nachfolgenden Versuche homogenisiert. Mit Hilfe des Siebrundbeschickers wird das Ausgangsmaterial durch kreuzweises Einfüllen aus den einzelnen Säcken und durch Wiederholen dieses Vorgangs weitestgehend in ausreichend Gleichmäßigkeit gebracht.

Einen weiteren Vorteil bringt der Einsatz des Siebrundbeschickers, durch die Zerkleinerung der groben Bestandteile, da diese bei den relativ kleinen Lehm-Ziegeln zu unnötigen Störungen führen würden.



Abb.32: Siebrundbeschicker



Abb.33: Siebrundbeschicker

Diese nun relativ homogene Masse wird in Säcken abgefüllt und luftdicht verschlossen. Für die nun folgenden Mischungen „Lehm mit Zuschlagsstoffen“ können hier im Laufe einiger Monate das Basismaterial entnommen und die jeweiligen Stoffe eingemischt werden.

### 10.2.2. GRUNDMATERIAL

Grundsätzlich bilden drei unterschiedliche Tone aus zwei Gruben bzw. Orten die Basis der folgenden Untersuchungen. Einer der Tone ist aus Hennersdorf mit der Kurzbezeichnung HD und die anderen zwei aus Göllersdorf mit der Kurzbezeichnung GD.

### 10.2.3. NULLPROBEN

Der Vergleich der einzelnen Ausgangsbasen soll nicht nur als Grundwert für die Bewertung der verschiedenen Mischungen, sondern auch als Referenz für weitere Tone und Lehmgruben dienen.

Die Nullprobe HD wurde in erster Linie, für die Bewertung der vorangegangenen Untersuchungen der Diplomarbeit von Herrn Trojan, hergestellt. Sein Verfahren unterscheidet sich ganz entscheidend im Vergleich mit meiner Methode: Der Lehm wurde dort von Hand eingeformt und die Prüfkörper haben eine völlig andere Geometrie.

Die Nullprobe GD hingegen dient tatsächlich zum Vergleich mit den folgenden Mischungen.

In Göllersdorf gibt es zwei unterschiedliche Tone in unterschiedlichen Schichthöhen. Der blaue Ton mit höherem Tonanteil (siehe Sieblinie) und der gelbe Ton mit höherem Sandanteil (siehe Sieblinie) kommen etwa zu gleichen Teilen vor. Dadurch wird auch ein Mischungsverhältnis von 1:1 bei sehr vielen Mischungen verwendet.

Der Vollständigkeit halber werden aber auch die einzelnen Tone geprüft.

### 10.2.4. HERSTELLUNG DER PROBEKÖRPER

Das homogenisierte Material kommt in eine Wanne (Einwaage meistens 10kg) und wird dort mit dem nötigen Anmachwasser versetzt.

Das grobe Durchmischen erfolgt per Hand, wobei die Pfefferkorn- Prüfung zusätzlich zur Handprobe ständig mitläuft, um auch messbare Werte zu liefern. In der Regel wurde ein Pfefferkorn- Wert von 25mm angestrebt.



Abb.34: Pfefferkorn- Prüfung

Durch das sogenannte Mauken für etwa 24h, werden einzelne Ton-Plättchen aufgeschlossen und die Feuchtigkeit in der Mischung gleichmäßiger verteilt. Der Vorteil dieses Prozederes liegt vor allem in der besseren Verarbeitbarkeit und der daraus entstehenden höheren Qualität des Lehmziegels.

Die fertige Lehm-Mischung kommt nun in die Strangpresse. Abgesehen vom Maßstab entspricht sie in etwa dem der großen Pressen. Mit mehrstufigem Verdichtungs-Zylinder mit Gegenschneide und einer Vakuumkammer wird nun der Lehm durch verschiedene Formen gepresst z.B.: Ziegelform, Dilatometer, Stäbchen und Rundform.

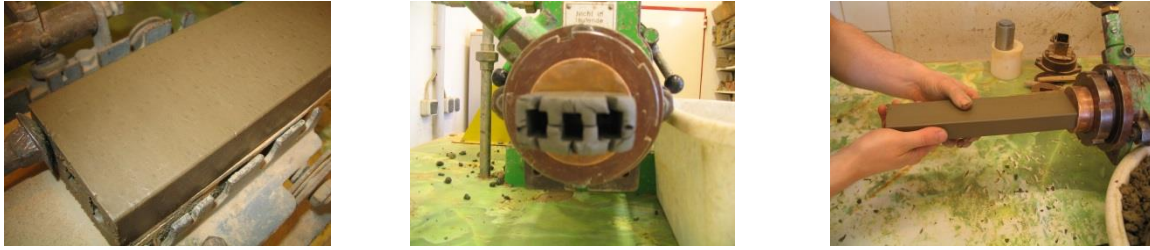


Abb.35-37: Strangpressung des Lehmziegels

Der Ziegelstrang wird in Längen geschnitten und auf Gipsplatten gelagert, um den Lehmziegeln Feuchtigkeit zu entziehen. Des Weiteren werden die Lehmziegel in einen Trockenschrank gegeben und werden nach gewissen Schemen getrocknet. Hier muss besonders Rücksicht auf den Phasen-Wechsel genommen werden, um keine Schäden im Gefüge hervorzurufen. Von absolut trocken wird gesprochen, wenn auf über 110°C erhöht wird. Gelagert wird hingegen bei 70°C bzw. im Glasgefäß mit Silika-Gel.



Abb.38-39: Lagerung der Lehmziegel

Die getrockneten Lehmziegel werden nun in eine Schleifvorrichtung eingespannt und planparallel geschliffen. Natürlich kann hier nur trocken geschliffen werden und mit geringerem Vorschub bzw. mit niedrigeren Zustellwerten behutsamer vorgegangen werden, als dies bei gebrannten Ziegeln der Fall wäre.

Im Anschluss kommen die Lehmziegel wieder in den Trockenschrank und warten auf die Prüfung.



Abb.40: Schleifvorrichtung mit Lehmziegeln

### 10.2.5. DRUCKPRÜFUNG

Die fertigen Prüfkörper werden abgewogen, vermessen und in der Prüfmaschine abgedrückt. Hier handelt es sich um eine zerstörende Prüfung mit dem Ergebnis der höchsten Drucklast vor dem Bruch.

Eine Serie von jeweils 6 Prüfkörpern pro Charge wird als ausreichend erachtet und auch so durchgeführt.

Wichtig für die Qualität der Tests ist eine gleichbleibende Herangehensweise. Hier muss besonders darauf geachtet werden, dass der Druckstempel mit gleichbleibender Geschwindigkeit auf den Prüfkörper aufdrückt und im gleichen Umfang die Drucklaststeigerung vornimmt.

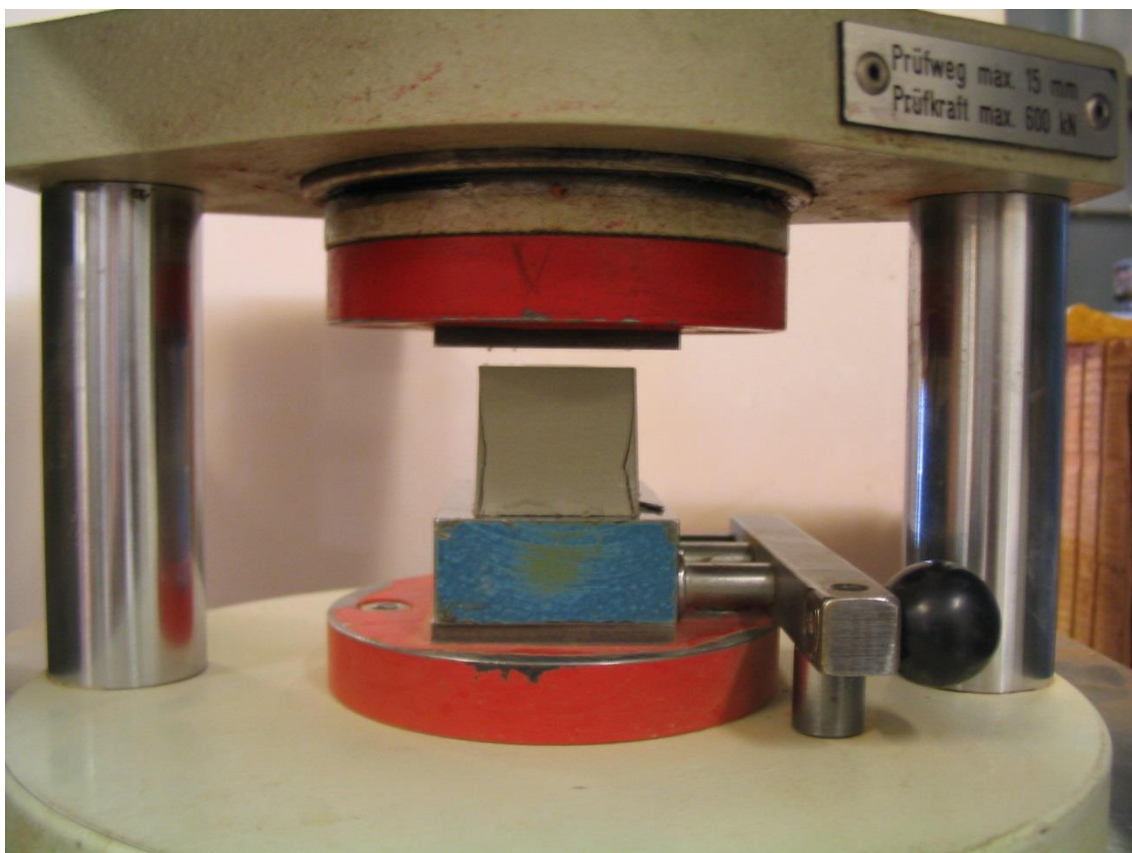


Abb.41: Druckprüfung am Lehmziegel

Für die Gebrauchssicherheit ist jedoch auch bzw. vor allem die Druckfestigkeit im feuchten Zustand von Bedeutung.

Auf die Feuchtigkeit und der Philosophie dazu wird später Bezug genommen. Bei meinen Versuchen ist in erster Linie der vollständig getrocknete Prüfkörper dem über 17-24h im Feuchten gelagerten Prüfkörper gegenübergestellt.

Hinzu kommt eine Druckprüfung bei einer Lagerung von einer Woche. Diese Art von Befeuchtung wird zwar in der Praxis nicht in Frage kommen, jedoch dienen diese Werte als Diskussionsgrundlage, da hier von einer vollständigen Sättigung ausgegangen wird.

### 10.2.6. FEUCHTLAGERN

Das Feuchtlagern wird auf folgende Art und Weise durchgeführt. Die Prüfkörper werden im Vorfeld nummeriert und im trockenen Zustand abgewogen. Des Weiteren werden diese in einen Behälter gelagert, dessen Boden mit 2-5 cm Wasser bedeckt ist. Um die Lehmziegel vor direktem Wasser zu schützen und zu gewährleisten, dass die Feuchtigkeit nur über die Luft aufgenommen wird, befindet sich ein Metallrost einige Zentimeter über dem Wasserspiegel. Mit einem Deckel verschlossen, sollte sich eine rel. Luftfeuchtigkeit von 100% einstellen und den Prüfkörper ausreichend befeuchten.



Abb.42-43: Feuchtlagern des Lehmziegels

### 10.2.7. GEOMETRIE DES ZERSTÖRTEN LEHMZIEGELS

Der trockene Lehmziegel bildet ähnlich wie der gebrannte einen schönen Druckkegel aus. Beim feuchten Lehmziegel geschieht dies ebenfalls, jedoch nach vorangegangener Verformung. Dadurch entstehen auch mehrere Risse und die Ränder platzen ab.

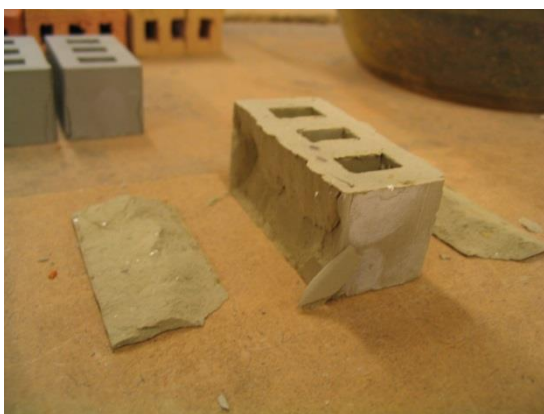


Abb.44-45: Druckkegelausbildung des Lehmziegels nach Druckversuch



## 10.3. PRÜFERGEBNISSE

### 10.3.1. TON AUS HENNERSDORF HD

Material:  
05/118/3 Ton aus Hennersdorf HD  
Null-HD

Grubenfeuchte: 17% Wassergehalt

Zugfestigkeit:  
Nach Vakuumverpressung: 0,09N/mm<sup>2</sup>

Druckspannung:

Bruch:  
Trocken: netto **14,79N/mm<sup>2</sup>** Feucht: netto **5,95N/mm<sup>2</sup>** nach 20 h  
H<sub>2</sub>O-Gehalt: 2,89%

Dichte:  
 $\rho[\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}] = \mathbf{1,864}$

Wärmeleitfähigkeit:  
 $\lambda[\text{W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}] = \mathbf{0,674}$

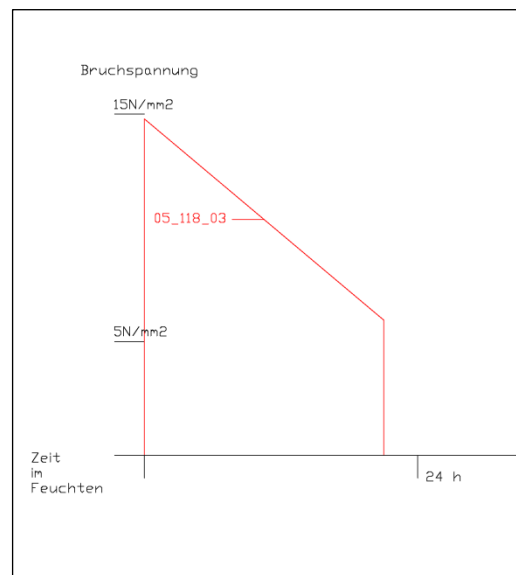


Abb.46: Ton aus Hennersdorf HD Bruchspannung

Der Ton – Lehm aus Hennersdorf gilt als sehr hochwertig, da er einen sehr hohen Tonanteil besitzt. Es kommt zu keinen Schwindrissen. Er hat eine gute Trocken-Druck-Festigkeit und auch sehr gute Werte im feuchten Zustand. Die Verarbeitung ist sehr gut. Es besteht jedoch ein etwas unangenehmer Geruch des Tones.

### 10.3.2. LEHM AUS GÖLLERSDORF

Material:

**05/118/10** M=1:1 von 05/118/1 GD blau und 05/118/2 GD gelb  
Null-GD Lehm aus Göllersdorf wegen natürlichem Vorkommen 1:1

Grubenfeuchte: 16,2% Wassergehalt

Zugfestigkeit:

Nach Vakuumverpressung: 0,1N/mm<sup>2</sup>

Druckspannung:

Bruch:

Trocken: netto **15,06N/mm<sup>2</sup>** Feucht: netto **3,91N/mm<sup>2</sup>** nach 18,5h

H<sub>2</sub>O-Gehalt: 7,18%

Dichte: Feucht: netto **4,76N/mm<sup>2</sup>** nach 21 h

$\rho$  [g.cm<sup>-3</sup>]= **1,946** H<sub>2</sub>O-Gehalt: 3,53%

Wärmeleitfähigkeit:



Abb.47: Lehm aus Göllersdorf gelb und blau

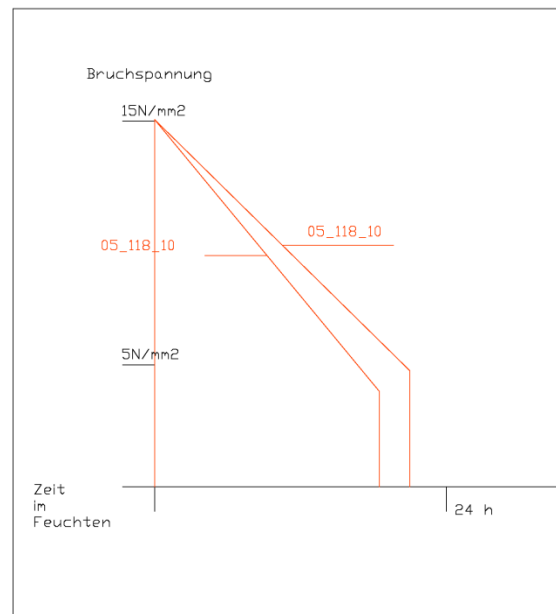


Abb.48: Lehm aus Göllersdorf Bruchspannung

Der Ton – Lehm aus Göllersdorf kommt in zwei Schichten vor, in einer gelben Schicht und einer blauen Schicht. Die 1:1 Mischung lässt sich gut verarbeiten und riecht sehr neutral. Es entsteht ein leicht grünlicher Ton, der rein aus ästhetischen Gründen wesentlich besser ist, als der rein blaue Ton. Die Trocken-Druckfestigkeit ist sehr hoch, hingegen scheint die Feucht-Druckfestigkeit mit dem HD-Lehm nicht mithalten zu können.

### 10.3.3. GÖLLERSDORF GD BLAU

Material:

**05/118/1**

Göllersdorf GD blau

Grubenfeuchte: 17,3% Wassergehalt

Zugfestigkeit:

Nach Vakuumverpressung: 0,1N/mm<sup>2</sup>

Druckspannung:

Bruch:

Trocken: netto 14,86N/mm<sup>2</sup> Feucht: netto 3,83N/mm<sup>2</sup> nach 19h

H<sub>2</sub>O-Gehalt: 7,18%

Dichte:

$\rho[\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]=1,9$

Wärmeleitfähigkeit:

$\lambda[\text{W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}]=0,7$



Abb.49: Lehm aus Göllersdorf GD gelb und blau

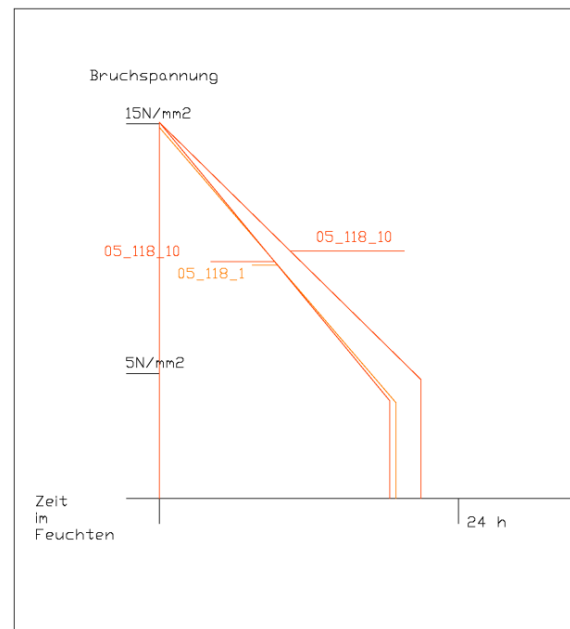


Abb.50: GD blau Bruchspannung

Der Ton-Lehm Göllersdorf ist gut zu verarbeiten. Die Trocken-Druckfestigkeit ist sehr hoch. Die Feuchte-Druckfestigkeit ist eher gering. Ein geringer Siebrückstand von 25g > 63µm bei einer Trockeneinwaage von 150g lassen auf einen hohen Tonanteil schließen.

### 10.3.4. GÖLLERSDORF GD GELB

Material:

**05/118/2**

Göllersdorf GD gelb

Grubenfeuchte: 15,2% Wassergehalt

Zugfestigkeit:

Nach Vakuumverpressung: 0,1N/mm<sup>2</sup>

Druckspannung:

Bruch:

Trocken: netto k.A

Feucht: netto **5,85N/mm<sup>2</sup>** nach 19h

H<sub>2</sub>O-Gehalt: 7,18%

Dichte:

$\rho$ [g.cm<sup>-3</sup>]=**1,9**

Wärmeleitfähigkeit:

$\chi\lambda$ [W.K<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>]= **0,7**



Abb.51: Lehm aus Göllersdorf GD gelb Siebstufenrückstände



Abb.52: Siebrückstandsermittlung

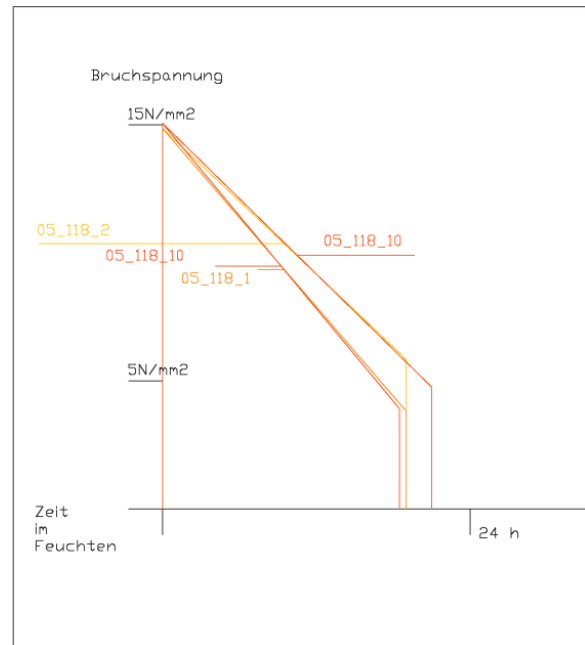


Abb.53: GD gelb Bruchspannung

Der Ton-Lehm aus Göllersdorf ist gut zu verarbeiten. Die Feuchte-Druckfestigkeit ist sehr gut und durch kaum eine Mischung zu überbieten.

Ein höherer Siebrückstand von 37g > 63µm bei einer Trockeneinwaage von 150g bedeutet einen höheren Sandanteil.

Durch seine gelbe Farbe ist er für den Einsatz als Sichtziegel sicher einer der Favoriten.

### 10.3.5. LEHM AUS GÖLLERSDORF GD (PFEFFERKORN-25)

Material:

**05/118/30** M=1:1 von 05/118/1 GD blau und 05/118/2 GD gelb  
Null-GD-25,5

Grubenfeuchte: 16,2% Wassergehalt

Zugfestigkeit:

Nach Vakuumverpressung: 0,12N/mm<sup>2</sup>

Druckspannung:

Bruch:

Trocken: netto **12,84N/mm<sup>2</sup>** Feucht: netto **3,39N/mm<sup>2</sup>** nach 7 d  
H<sub>2</sub>O-Gehalt: 3,69%

Dichte:

$\rho[\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]=1,9$

Wärmeleitfähigkeit:

$\chi\lambda[\text{W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}]=0,7$



Abb.54: Prüfkörper nach Pfefferkornprüfung

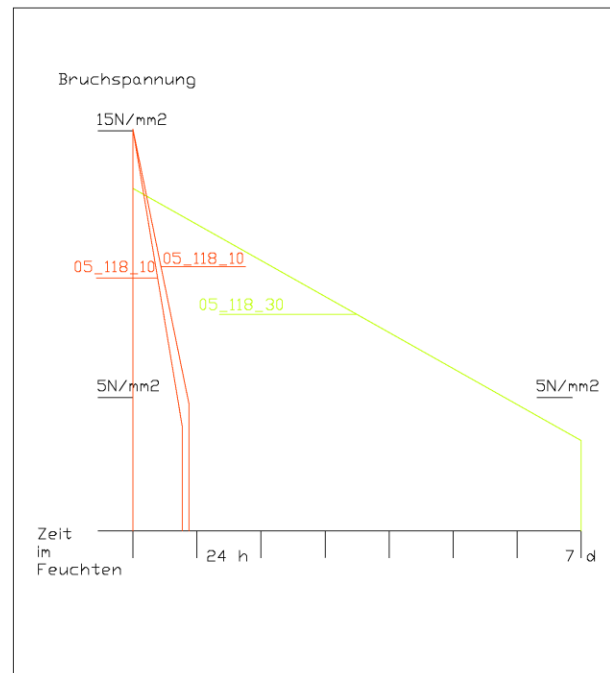


Abb.55: GD Pfefferkorn (-25) Bruchspannung

Es handelt sich hier um die gleiche Zusammensetzung wie bei **05/118/10**, jedoch neu hergestellt und mit einem besonderen Augenmerk auf den Pfefferkorn-Wert. Dieser liegt bei dieser Mischung (per Hand eingestampft) bei 25,5mm. Wesentlich niedriger scheint hier die Trocken-Druckfestigkeit zu sein. Es ist jedoch kaum ein Unterschied im feuchten Zustand zu erkennen, wenn man die Dauer der Feuchte-Lagerung berücksichtigt.

### 10.3.6. LEHM AUS GÖLLERSDORF GD PFEFFERKORN(-20)

Material:

**05/118/31** M=1:1 von 05/118/1 GD blau und 05/118/2 GD gelb  
Null-GD-20,7

Grubenfeuchte: 16,2% Wassergehalt

Zugfestigkeit:

Nach Vakuumverpressung: 0,08N/mm<sup>2</sup>

Druckspannung:

Bruch:

Trocken: netto **12,49N/mm<sup>2</sup>** Feucht: netto **3,77N/mm<sup>2</sup>** nach x d  
H<sub>2</sub>O-Gehalt: 3,09%

Dichte:

$\rho[\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]=1,9$

Wärmeleitfähigkeit:

$\lambda[\text{W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}]=0,7$

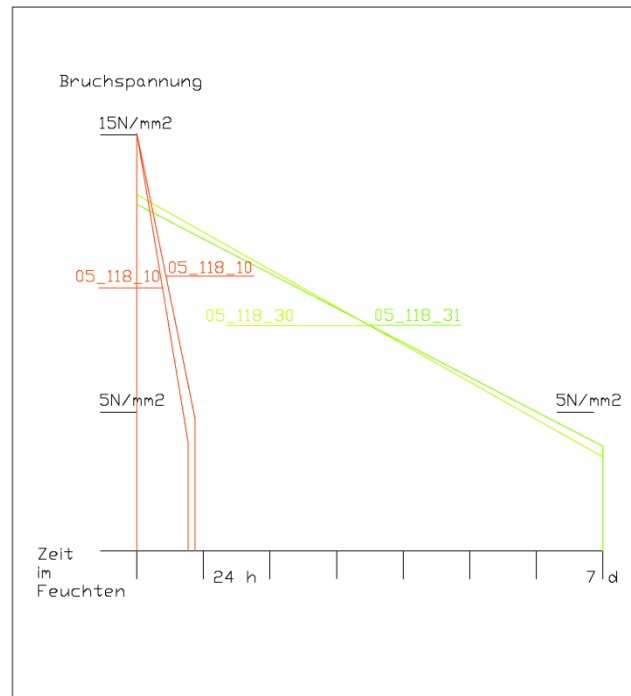


Abb.56: GD Pfefferkorn (-20) Bruchspannung

Es handelt sich hier um die gleiche Zusammensetzung wie bei **05/118/10**, jedoch neu hergestellt und mit einem besonderen Augenmerk auf den Pfefferkorn-Wert. Dieser liegt bei dieser Mischung (per Hand eingestampft) bei 20,7mm, also sehr viel weicher und mit etwas höherem Wassergehalt als bei der **05/118/30**. Beinahe gleiche Trocken-Druckfestigkeit und kaum ein Unterschied im feuchten Zustand.

### 10.3.7. LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT GLASFASER

Material:

**05/118/17** M=1:1 von 05/118/1 GD blau und 05/118/2 GD gelb  
GD-Glasfaser + 0,28% Glasfasern

Grubenfeuchte: 16,2% Wassergehalt

Zugfestigkeit:

Nach Vakuumverpressung: k.A.

Druckspannung:

Bruch:

Trocken: netto k.A. Feucht: netto **2,33N/mm<sup>2</sup>** nach 7 d

H<sub>2</sub>O-Gehalt: 5,79%

Dichte:

$\rho[\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]=1,932$

Wärmeleitfähigkeit:

$\lambda[\text{W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}]=0,666$

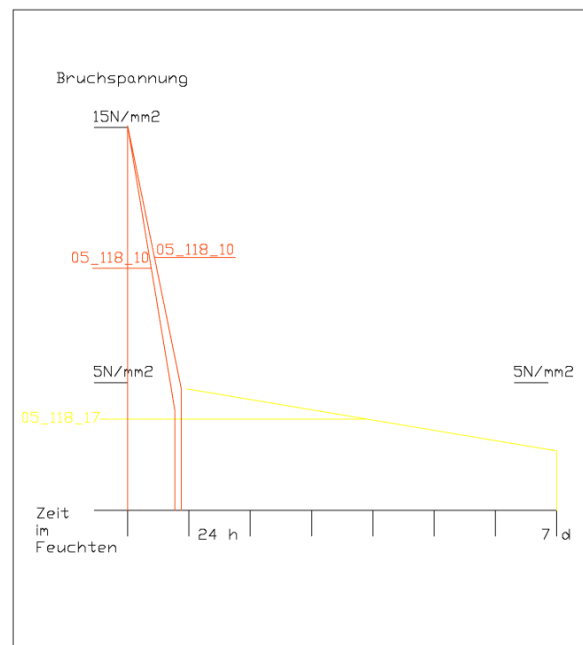


Abb.57: GD mit Glasfaser Bruchspannung

Glasfasern, in 2 cm lange Stücke geschnitten, sollen das Gefüge stärken. Ein wesentliches Problem stellt das anschließende Prozedere nach dem Einbringen der Glasfasern dar. Die zwei Zentimeter als Ausgangslänge sind im fertigen Lehmziegel max. 0,3-0,5 cm lang und hier kann man nicht mehr von einer Faser sprechen, vor allem wenn dessen Durchmesser einer Stecknadel gleicht und nicht dem eines Haares. Des Weiteren ist der Energieaufwand für die Herstellung dieser Glasfasern sehr hoch. Was die Ökobilanz betrifft, würde der Einsatz dieses Zuschlagsstoffes in keinem Fall einen Sinn ergeben.

### 10.3.8. LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT HOLZKOHLE 0,5%

Material:

**05/118/35** M=1:1 von 05/118/1 GD blau und 05/118/2 GD gelb  
GD-Kohle0,5%+0,5% Holzkohle

Grubenfeuchte:16,2% Wassergehalt

Zugfestigkeit:

Nach Vakuumverpressung: 0,13N/mm<sup>2</sup>

Druckspannung:

Bruch:

Trocken: netto **13,28N/mm<sup>2</sup>** Feucht: netto **4,16N/mm<sup>2</sup>** nach 12 d

H<sub>2</sub>O-Gehalt: 2,91%

Dichte:

$\rho[\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}] = \mathbf{1,980}$

Wärmeleitfähigkeit:

$\lambda [\text{W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}] = \mathbf{0,739}$

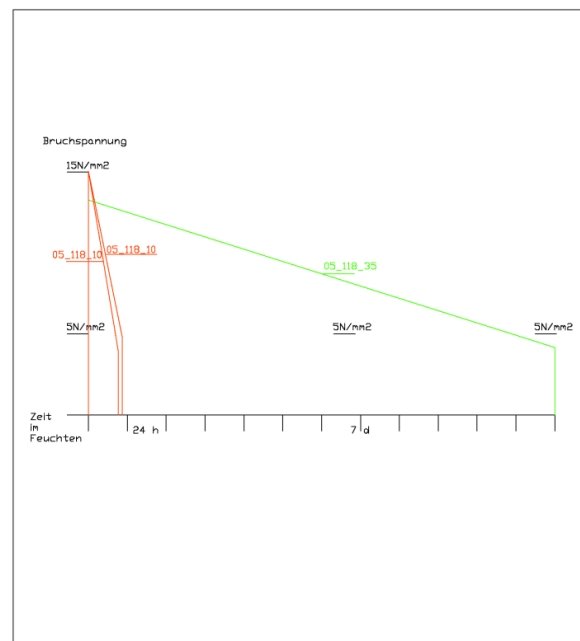


Abb.58: GD mit Holzkohle 0,5% Bruchspannung

Für die Farbgebung scheint diese Mischung sehr interessant zu sein. Es werden zwar nicht die höchsten Trocken-Druckfestigkeitswerte erreicht, jedoch kann diese Mischung durchaus mit dem Grundmaterial im feuchten Zustand mithalten, vor allem nach 12 Tagen. Besonders gering ist hier auch die Feuchtigkeitsaufnahme von nur 2,91% innerhalb dieser langen Zeit.



### 10.3.9. LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT HOLZKOHLE 1%

Material:

**05/118/36** M=1:1 von 05/118/1 GD blau und 05/118/2 GD gelb  
GD-Kohle1% +1% Holzkohle

Grubenfeuchte:16,2% Wassergehalt

Zugfestigkeit:

Nach Vakuumverpressung: 0,12N/mm<sup>2</sup>

Druckspannung:

Bruch:

Trocken: netto **12,16N/mm<sup>2</sup>** Feucht: netto **4,14N/mm<sup>2</sup>** nach 12 d

H<sub>2</sub>O-Gehalt: 2,86%

Dichte:

$\rho$  [g.cm<sup>-3</sup>]= **1,988**

Wärmeleitfähigkeit:

$\lambda$  [W.K<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>]=**0,787**

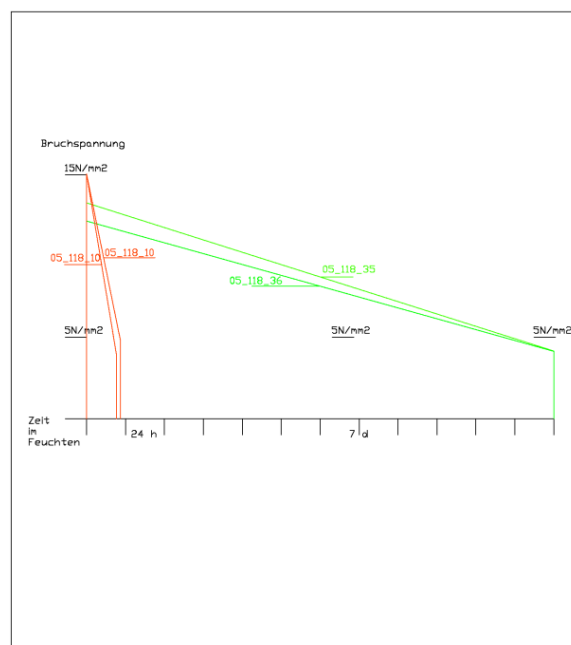


Abb.59: GD mit Holzkohle 1% Bruchspannung

Ähnliche Werte wie bei **05/118/35**GD-Kohle 0,5% sind hier das Ergebnis, wobei mit 1% Kohle die Grenze zur Leistungssteigerung sicher schon überschritten ist. Auch die Farbgebung benötigt nicht so einen hohen Anteil an Kohle.

Hergestellt wird der Zuschlagsstoff aus Holzkohle. Kohlestücke werden in einer Exzentrerschwingmühle in relativ feine Teilchen gemahlen. Beim Einstreuen dieses Pulvers beginnt sich der Lehm sehr rasch zu schwärzen.

### 10.3.10. LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT ZIEGELMEHL

Material:

**05/118/50** M=1:1 von 05/118/1 GD blau und 05/118/2 GD gelb  
GD-TMehl20%+20% Tennis-Mehl aus Werk HD Körnung: 0-3,15mm

Grubenfeuchte:16,2% Wassergehalt

Zugfestigkeit:

Nach Vakuumverpressung: 0,08N/mm<sup>2</sup>

Druckspannung:

Bruch:

Trocken: netto **14,29N/mm<sup>2</sup>** Feucht: netto **4,30N/mm<sup>2</sup>** nach 17,5 h  
H<sub>2</sub>O-Gehalt: 2,64%

Dichte:

$\rho$  [g.cm<sup>-3</sup>]= **1,9**

Wärmeleitfähigkeit:

$\lambda$  [W.K<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>]=**0,7**



Abb.60: Ziegelmehl aussiebung 0-3,15mm

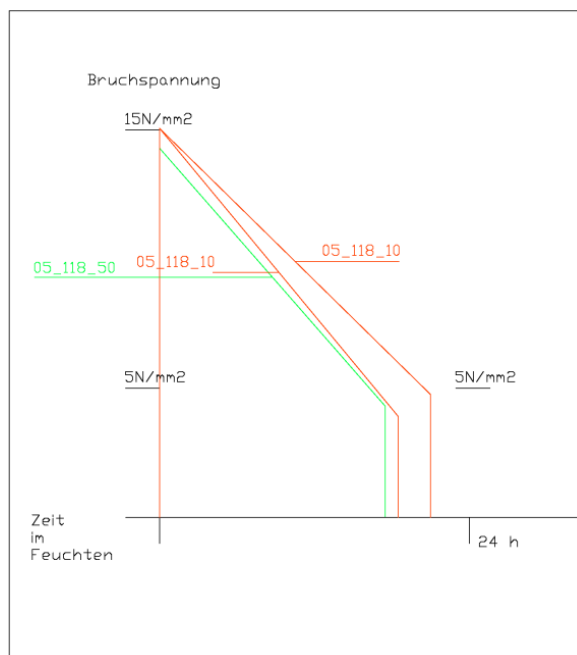


Abb.61: GD mit Ziegelmehl Bruchspannung

T-Mehl ist ein Wiederverwertungsprodukt aus der Ziegelindustrie und ist daher eine gute Ergänzung, wenn es entscheidende Vorteile bringt. Trocken-Druckfestigkeit ist gut, auch die Feuchte-Druckfestigkeit ist im Vergleich mit dem Ausgangsmaterial **05/118/10** im mittleren Bereich. Beim Einmischen von T-Mehl ist ein „Scheppern“ zu hören, das mit der zunehmenden Menge des Zuschlagsstoffes immer lauter wird. Die einzelnen Körner haften nicht richtig im Grundmaterial und fallen immer wieder aus dem Verband. Es ist schwierig eine homogene Mischung mit einem hohen Prozentsatz zu erzeugen.

### 10.3.11. LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT ZIEGELSPLITT 15%

Material:

**05/118/55** M=1:1 von 05/118/1 GD blau und 05/118/2 GD gelb  
GD-Z-Splitt15% +15% Ziegelsplitt, selbst hergestellt Körnung: 1-3,15mm

Grubenfeuchte:16,2% Wassergehalt

Zugfestigkeit:

Nach Vakuumverpressung: 0,15N/mm<sup>2</sup>

Druckspannung:

Bruch:

Trocken: netto **14,07N/mm<sup>2</sup>** Feucht: netto **4,67N/mm<sup>2</sup>** nach 20 h

H<sub>2</sub>O-Gehalt: 2,57%

Dichte:

$\rho$  [g.cm<sup>-3</sup>]= **1,911**

Wärmeleitfähigkeit:

$\lambda$  [W.K<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>]=**0,677**



Abb.62: Aussieben vom Feinanteil



Abb.63: Ziegelsplitt Körnung 1-3,15mm

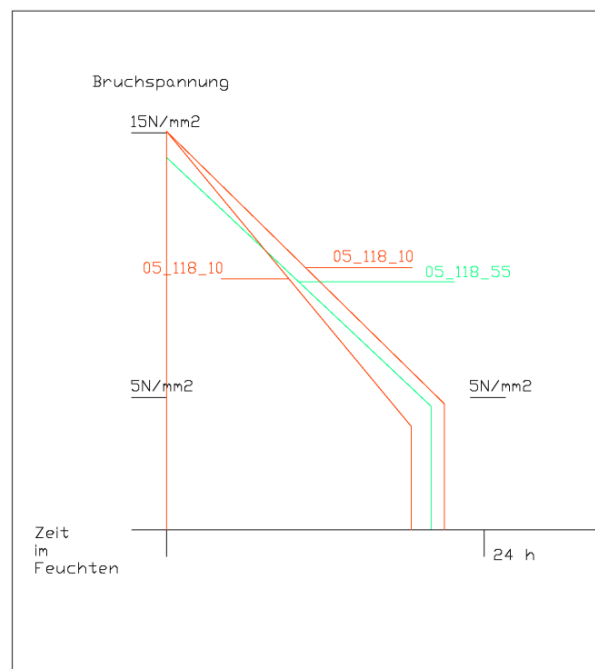


Abb.64: GD mit Ziegelsplitt 15% Bruchspannung

Ziegelsplitt eignet sich meines Achtens besser für die Beimengung, da der Feinanteil (Staub) nur bei wirklich fetten Lehmen ein Abmagern bewirkt und im Fall von **05/118/50** nur die Klebeleistung des Tons herabsetzt. Des Weiteren ist zu bemerken, dass der etwas niedrigere Prozentsatz des Zuschlagstoffes und das Fehlen des Feinanteils im trockenem Zustand beinahe gleiche Werte erzielt, hingegen im feuchten Zustand eine leichte Verbesserung schafft.

### 10.3.12. LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT ZIEGELSPLITT 7,5%

Material:

**05/118/56** M=1:1 von 05/118/1 GD blau und 05/118/2 GD gelb  
GD-Z-Splitt 7,5% +7,5% Ziegelsplitt, selbst hergestellt Körnung: 1-3,15mm

Grubenfeuchte:16,2% Wassergehalt

Zugfestigkeit:

Nach Vakuumverpressung: 0,15N/mm<sup>2</sup>

Druckspannung:

Bruch:

Trocken: netto **15,90N/mm<sup>2</sup>** Feucht: netto **5,73N/mm<sup>2</sup>** nach 20 h

H<sub>2</sub>O-Gehalt: 2,54%

Dichte:

$\rho$  [g.cm<sup>-3</sup>]= **1,914**

Wärmeleitfähigkeit:

$\lambda$  [W.K<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>]=**0,732**



Abb.65: Modelllehmziegel mit Ziegelsplitt

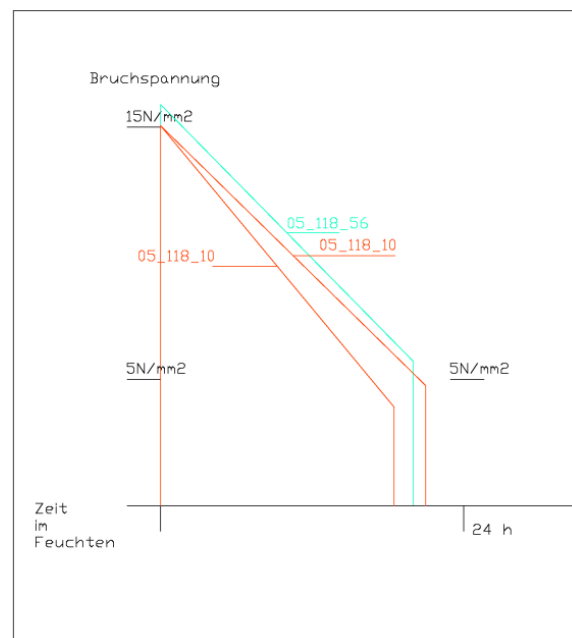


Abb.66: GD mit Ziegelsplitt 7,5% Bruchspannung

Verringert man die Zuschlagsmenge von Ziegelsplitt um die Hälfte auf 7,5%, so erhöht sich die Trocken-Druckfestigkeit enorm, sowie auch die Feucht-Druckfestigkeit. Ziegelsplitt wurde speziell für diese Mischung aus Ziegelbruchstücken in einem Backenbrecher hergestellt und ausgesiebt. Dieser Splitt ist scharfkantiger als der des T-Mehls, welches in einem Kegelbrecher erzeugt wurde. Wie weit die Geometrie des Splitts oder das Fehlen des Feinanteils oder einfach nur die zugegebene Menge den ausschlaggebenden Punkt gibt, kann hier nicht vorbehaltlos beantwortet werden und bedarf weiterer Untersuchungen.

### 10.3.13. LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT ASCHE 0,5%

Material:

**05/118/60** M=1:1 von 05/118/1 GD blau und 05/118/2 GD gelb  
GD-Asche0,5%+0,5% Asche, aus Holzverbrennung

Grubenfeuchte:16,2% Wassergehalt

Zugfestigkeit:

Nach Vakuumverpressung: 0,12N/mm<sup>2</sup>

Druckspannung:

Bruch:

Trocken: netto k.A.

Feucht: netto **2,39N/mm<sup>2</sup>** nach 7 d

H<sub>2</sub>O-Gehalt: 5,51%

Dichte:

$\rho$  [g.cm<sup>-3</sup>]= **1,930**

Wärmeleitfähigkeit:

$\lambda$  [W.K<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>]=**0,701**

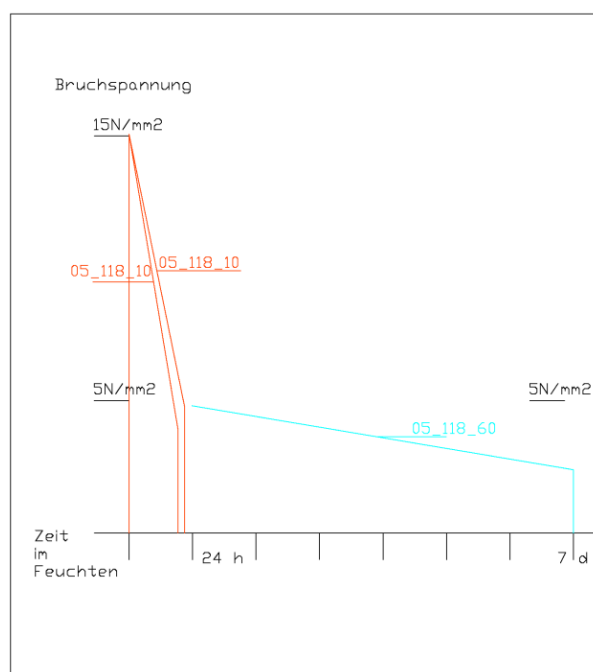


Abb.67: GD mit Asche 0,5% Bruchspannung

Holzasche mit einzelnen unvollständig verbrannten Kohleresten, wie sie aus dem Hausbrand entsteht, wird gesiebt und beigemischt.

Durch die Salze in der Asche wird das Wasser besonders gut aufgenommen, das erklärt auch den hohen H<sub>2</sub>O – Wert.

Je mehr Wasser nun im Lehm-Ziegel ist, desto geringer fällt hier die Festigkeit aus.

### 10.3.14. LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT ASCHE 1%

Material:

**05/118/61** M=1:1 von 05/118/1 GD blau und 05/118/2 GD gelb  
GD-Asche1% +1% Asche, aus Holzverbrennung

Grubenfeuchte:16,2% Wassergehalt

Zugfestigkeit:

Nach Vakuumverpressung: 0,11N/mm<sup>2</sup>

Druckspannung:

Bruch:

Trocken: netto k.A. Feucht: netto **2,42N/mm<sup>2</sup>** nach 7 d

H<sub>2</sub>O-Gehalt: 5,92%

Dichte:

$\rho$  [g.cm<sup>-3</sup>]= **1,915**

Wärmeleitfähigkeit:

$\lambda$  [W.K<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>]=**0,655**

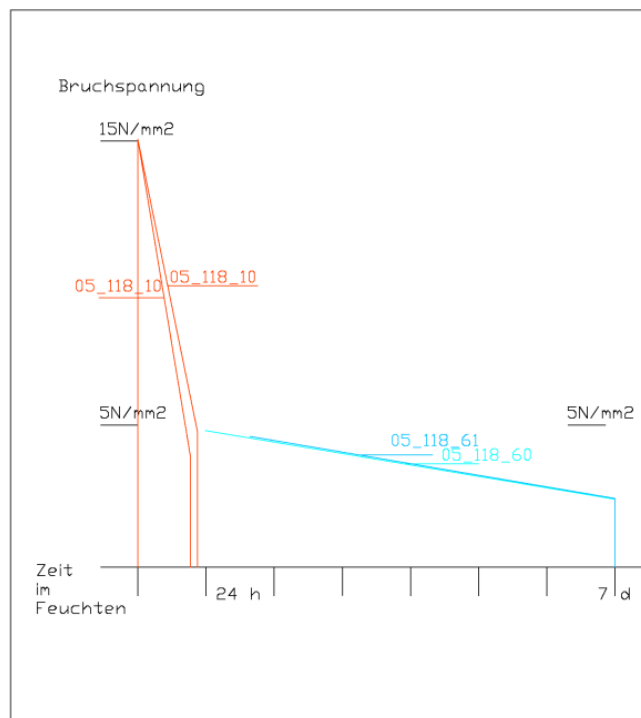


Abb.68: GD mit Asche 1% Bruchspannung

Ob der Gehalt an Asche 0,5% oder 1% beträgt, macht keinen Unterschied. Beide Male werden schlechte Ergebnisse erzielt.

### 10.3.15. LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT HANF 0,3%

Material:

**05/118/70** M=1:1 von 05/118/1 GD blau und 05/118/2 GD gelb  
GD-Hanf 0,3% +0,3% Hanf, mühsam eingemischt

Grubenfeuchte: 16,2% Wassergehalt

Zugfestigkeit:

Nach Vakuumverpressung: 0,15N/mm<sup>2</sup>

Druckspannung:

Bruch:

Trocken: netto **16,00N/mm<sup>2</sup>** Feucht: netto **5,18N/mm<sup>2</sup>** nach 18 h  
H<sub>2</sub>O-Gehalt: 2,92%

Dichte:

$\rho$  [g.cm<sup>-3</sup>]= **1,9**

Wärmeleitfähigkeit:

$\lambda$  [W.K<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>]=**0,7**

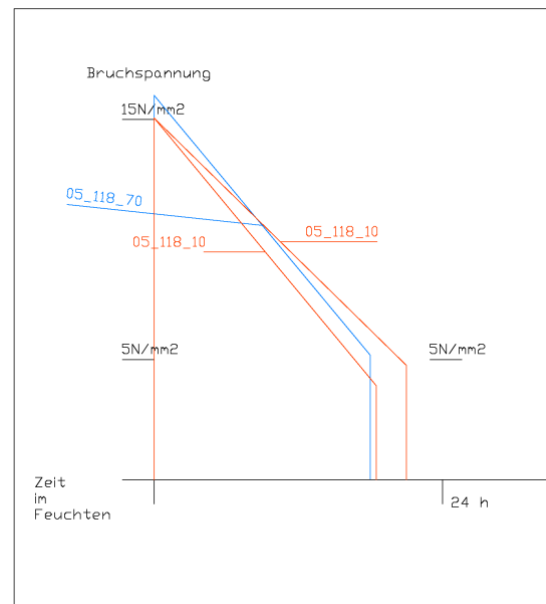


Abb.69: GD mit Hanf 0,3% Bruchspannung

Ein zukunftssträchtiger Werkstoff scheint der Hanf zu sein. Damit werden beinahe die höchsten Werte meiner Untersuchungen erzielt, eine echte Bewehrung, die sich im Trockenen wie auch im Feuchten bei Druckbeanspruchung positiv auswirkt. Die einzige Hürde, die es zu überwinden gilt, ist das Einbringen des Hanfs in den Lehm. Es gibt bereits Lehmputze mit Hanf-Anteil, also gibt es auch ein brauchbares Verfahren dafür. Wieweit dies für die Ziegelproduktion relevant ist, müsste noch näher betrachtet werden. Ein eher günstiger und guter Zuschlagsstoff ist es auf jeden Fall.

### 10.3.16. LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT R-FASER 0,3%

Material:

**05/118/80** M=1:1 von 05/118/1 GD blau und 05/118/2 GD gelb  
GD-R-Faser0,3%+0,3% R-Faser, mühsam eingemischt

Grubenfeuchte:16,2% Wassergehalt

Zugfestigkeit:

Nach Vakuumverpressung: 0,11N/mm<sup>2</sup>

Druckspannung:

Bruch:

Trocken: netto **16,68N/mm<sup>2</sup>** Feucht: netto **4,85N/mm<sup>2</sup>** nach 17,5 h

H<sub>2</sub>O-Gehalt: 2,94%

Dichte:

$\rho$  [g.cm<sup>-3</sup>]= **1,9**

Wärmeleitfähigkeit:

$\lambda$  [W.K<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>]=**0,7**

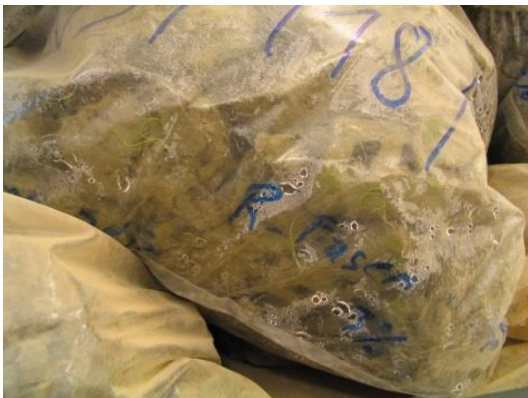


Abb.70: Lehm-R-Fasermischung

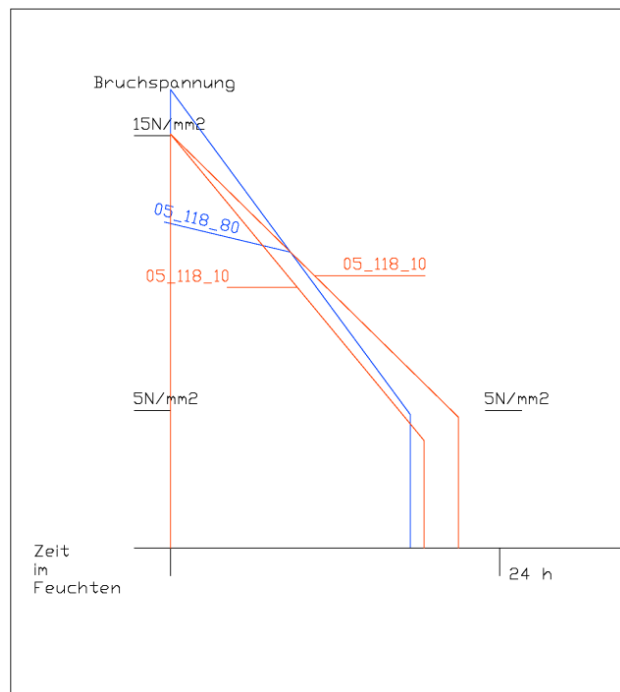


Abb.71: GD mit R-Faser 0,3% Bruchspannung

Gut, aber nicht so gut wie der Hanf, ist die R-Faser. Sie erzielt zwar im trockenen Zustand sehr gute Ergebnisse, erreicht aber im feuchten Zustand nicht die Werte vom Hanf. Hinzu kommt, dass das Einbringen der R-Faser auch schwierig ist, wenn nicht noch schwieriger als beim Hanf. Unter Umständen ist es auch möglich, dass die Samen, die sich an den R-Fasern befinden, zu keimen beginnen, wenn sie lange genug sehr feucht lagern.



### 10.3.17. LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT SÄGESPÄNEN 0,5%

Material:

**05/118/90** M=1:1 von 05/118/1 GD blau und 05/118/2 GD gelb

GD-Sägesp. 0,5% +0,5% Sägespäne, speziell gesiebt, rel. einfach eingemischt

Grubenfeuchte:16,2% Wassergehalt

Zugfestigkeit:

Nach Vakuumverpressung: 0,15N/mm<sup>2</sup>

Druckspannung:

Bruch:

Trocken: netto **16,68N/mm<sup>2</sup>** Feucht: netto **6,16N/mm<sup>2</sup>** nach 20 h

H<sub>2</sub>O-Gehalt: 2,65%

Dichte:

$\rho$  [g.cm<sup>-3</sup>]= **1,9**

Wärmeleitfähigkeit:

$\lambda$  [W.K<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>]=**0,7**

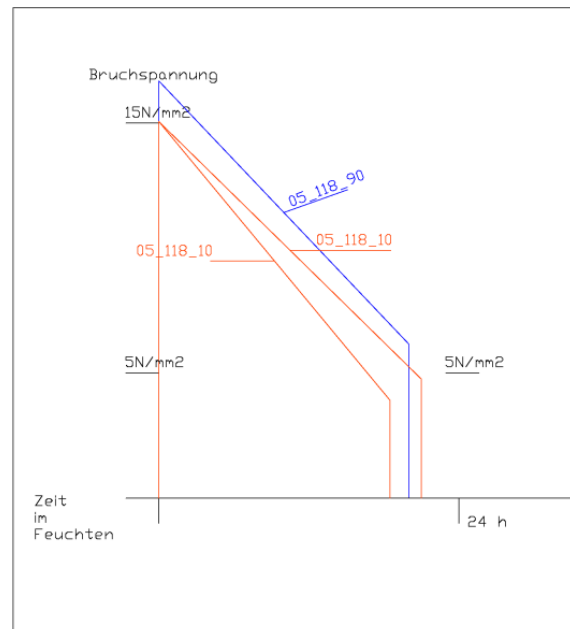


Abb.72: GD mit Sägespänen 0,5% Bruchspannung

Den BESTEN Wert, der aus meiner Untersuchung hervorgeht, erreicht die Mischung **05/118/90** mit 0,5% Spezial-Sägespänen. Sie wurden speziell ausgesucht und ausgesiebt, nämlich relativ lange schlanke Holzspäne. Mit einem geeignetem Holzbearbeitungsgerät speziell abgestimmt, um als Abfall 1-1,5 cm lange und im Querschnitt 0,3-1mm zu produzieren, sollte der Produktion nichts mehr im Wege stehen.

Weitere Untersuchungen könnten jedoch zeigen, dass diese Wunschgeometrie meinerseits gar nicht notwendig ist und ein konventioneller Einsatz von Sägespänen einen ähnlichen Erfolg bewirkt.

### 10.3.18. LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT SÄGESPÄNEN 1%

Material:

**05/118/91** M=1:1 von 05/118/1 GD blau und 05/118/2 GD gelb  
GD-Sägesp.1%+1% Sägespäne, speziell gesiebt, rel. einfach eingemischt

Grubenfeuchte:16,2% Wassergehalt

Zugfestigkeit:

Nach Vakuumverpressung: 0,15N/mm<sup>2</sup>

Druckspannung:

Bruch:

Trocken: netto **16,37N/mm<sup>2</sup>** Feucht: netto **6,02N/mm<sup>2</sup>** nach 20 h

H<sub>2</sub>O-Gehalt: 2,99%

Dichte:

$\rho$  [g.cm<sup>-3</sup>]= **1,955**

Wärmeleitfähigkeit:

$\lambda$  [W.K<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>]=**0,759**

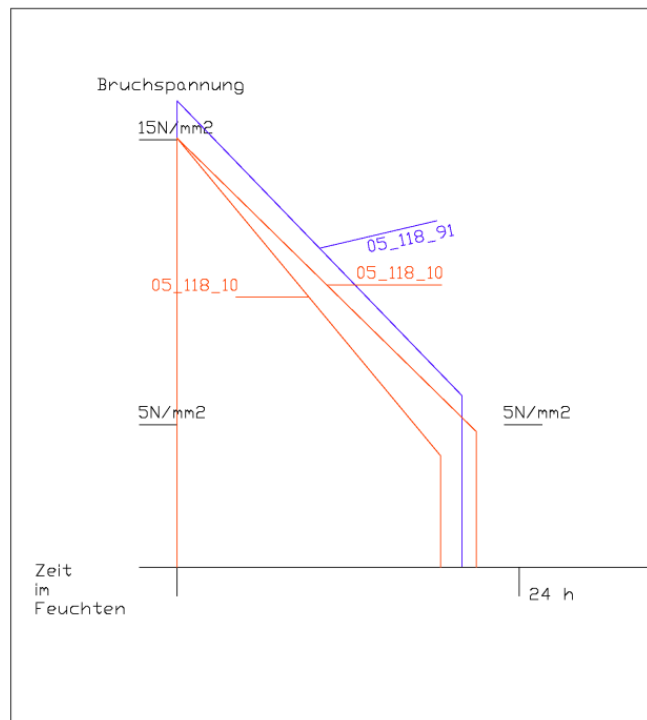


Abb.73: Modelllehmziegel Lehm mit Sägespäne

Abb.74: GD mit Sägespänen 1% Bruchspannung

Mit 1% Spezial-Sägespänen ist ebenfalls ein sehr gutes Ergebnis zu erzielen. Es ist jedoch bereits die Maximal- Leistungsgrenze überschritten.

Da Ressourcen zu schonen sind und alles, was nicht zu mehr Erfolg führt, auszusparen ist, ist die 0,5% Mischung zu bevorzugen. Wo nun tatsächlich der höchste Wert zu erreichen ist, könnten weitere Untersuchungen aufzeigen.

### 10.3.19. LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT GLASSCHAUMGRANULAT

Material:

**05/118/120** M=1:1 von 05/118/1 GD blau und 05/118/2 GD gelb

GD-Glasgr. 0,47%0,47+% Glasgranulat, einfach eingemischt, Körnung: 1-3,15mm

Grubenfeuchte:16,2% Wassergehalt

Zugfestigkeit:

Nach Vakuumverpressung: k.A.

Druckspannung:

Bruch:

Trocken: netto k.A. Feucht: netto **3,47N/cm<sup>2</sup>**nach 6 d

H<sub>2</sub>O-Gehalt: 4,56%

Dichte:

$\rho$  [g.cm<sup>-3</sup>]= **2,032**

Wärmeleitfähigkeit:

$\lambda$  [W.K<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>]=**0,961**

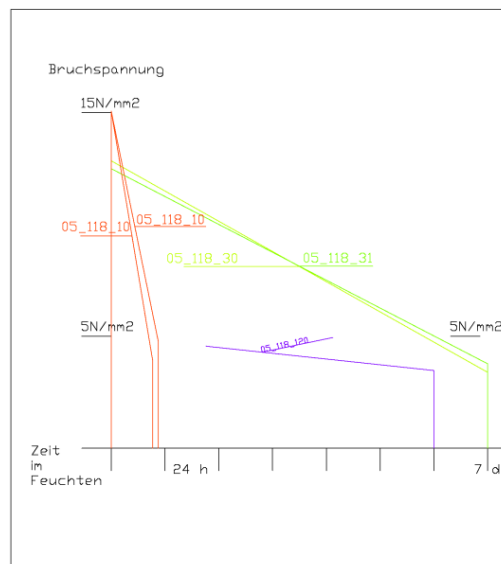


Abb.76: GD mit Glasschaumgranulat Bruchspannung

Abb.75 u. 75.1: Glasschaumgranulat mit verschiedenen Körnungen

Glasgranulat ist ein sehr intelligentes Baumaterial, jedoch für den Einsatz im Lehm-Ziegel gänzlich ungeeignet. Alleine der Energieaufwand zum Herstellen des Ausgangsstoffes würde reichen, um nicht in die engere Wahl zu gelangen. Des Weiteren sind für den Einsatz in der Lehm-Ziegelherstellung ein paar Arbeitsgänge notwendig. Das 4-6 cm große Korn muss, um überhaupt durch die Presse zu kommen, auf 4mm zerkleinert werden. Nach Aussieben von Korngrößen über 1mm bleibt ein verwertbarer Anteil von 20% des Ausgangsmaterials übrig und der Rest müsste in einem weiteren Kreislauf zu Granulat verarbeitet werden.

### 10.3.20. LEHM AUS GÖLLERSDORF GD MIT KASEIN 2%

Material:

**05/118/130** M=1:1 von 05/118/1 GD blau und 05/118/2 GD gelb  
GD-Kasein2 % +2% Kasein, trocken eingemischt

Grubenfeuchte: 16,2% Wassergehalt

Zugfestigkeit:

Nach Vakuumverpressung: k.A.

Druckspannung:

Bruch:

Trocken: netto k.A. Feucht: netto **4,15N/cm<sup>2</sup>** nach 6 d

H<sub>2</sub>O-Gehalt: 4,54%

Dichte:

$\rho$  [g.cm<sup>-3</sup>]= **1,973**

Wärmeleitfähigkeit:

$\lambda$  [W.K<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>]=**0,865**



Abb.77: Drachenzähne

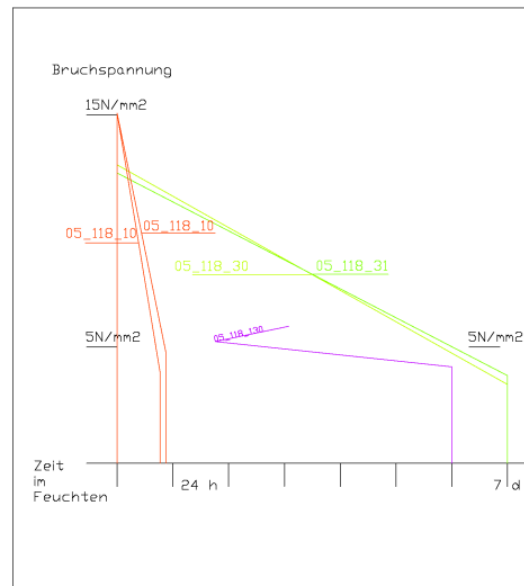


Abb.78: GD mit Kasein 2% Bruchspannung

Durch das Einmischen von Kasein in den Lehm verändert sich die Konsistenz des Grundmaterials sehr stark. Die Mischung steift ziemlich stark an, selbst wenn man etwas Wasser hinzufügt. Dadurch können bei der Verpressung besonders leicht Schwierigkeiten auftreten. Sogenannte Drachenzähne oder andere unvorteilhafte Ausformungen könnten sich ausbilden. Durch die Wärmeentwicklung in der Presse kann es zum sehr starken Ansteifen des Lehms und des Lehm-Ziegel-Strangs kommen. Dieser würde geteilt aus dem Formstück heraus kommen.

Bei der richtigen Wassermenge ist die Verarbeitbarkeit jedoch sehr gut und stellt keinerlei Probleme dar. Solange das verpresste Material nicht vollständig getrocknet ist, entsteht ein starker Käsegeruch. Vorsicht ist auch bei der Lagerung geboten, da es bei ausreichender Feuchtigkeit zu Schimmelbildung kommen kann. Um ein noch besseres Ergebnis zu erzielen, müsste der Kaseingehalt erhöht werden.

## 10.4. ZUSAMMENFASSUNG DER VERSUCHSERGEBNISSE

### Fazit:

Hinsichtlich der Druckfestigkeit von den bisher auf Langzeit (feucht) getesteten Mischungen sind **Kohle 0,5%, 1% und Kasein 2%** mit Werten um 4,15N/mm<sup>2</sup> am besten.

Im Bereich von bis zu 24h [Lagerung (feucht)] erreichten **GD-gelb, Ziegelsplitt 7,5%, Hanffaser 0,3%, Sägespäne 0,5% und 1%** Werte über 5,00N/mm<sup>2</sup>.

Die höchsten Werte im trockenen Zustand mit über 15N/mm<sup>2</sup> erzielten **GD1-2 (gelb+blau), Ziegelsplitt 7,5%, Hanffaser 0,3%, R-Faser 0,3%, Sägespäne 0,5% und Sägespäne 1%**

Im Langzeitbereich müssten noch einige Tests durchgeführt werden, um einen besseren Vergleich mit den 24h-Besten zu bekommen.

Für den 24h Bereich könnten folgende Untersuchungen sehr hilfreich sein:

Kontrolle, ob GD-gelb tatsächlich wesentlich besser abschneidet als GD1-2 bzw. GD-blau.  
Untersuchen, ob Ziegelsplitt mit 7,5% und weniger noch eine Leistungssteigerung bringt.  
Testen, wie niedrig der Sägespäne Prozentsatz sein kann, um hohe Werte zu erzielen.

Holz und Lehm haben eine besondere Affinität zueinander und sind daher besonders zu berücksichtigen.

Durch die unterschiedliche Ausgleichsfeuchte von Lehm und Holz kommt es zu einer guten Kombination, denn der Lehm schützt und das Holz stützt bzw. wirkt als Zugbewehrung.

Da das Einmischen von Körnern und Ähnlichem viel einfacher ist als das von Faserstoffen, ist vielleicht der Holzspan ein Kompromiss aus beiden.

## 10.5. DANK AN LEHMPROJEKT

Für die Zukunft wünsche ich dem Lehm-Ziegel alles Gute und viel Erfolg!

Dank an alle, die dieses Projekt unterstützt haben und weiterhin unterstützen werden.

Im Besonderen: meinem Professor, Univ.-Prof. Arch. Dipl. Ing. Dr. Martin Treberspurg  
der Wienerberger AG  
dem Labor unter der Leitung von Herrn Indra  
und natürlich der Kontaktperson und Schnittstelle zwischen  
Universität und Wienerberger: Herrn DI Dr. Gottfried Stimmeder.

## 11. LEHM-ZIEGEL IN SEINER ANWENDUNG

### 11.1. ANWENDUNGSRICHTLINIEN

Ein wichtiger Punkt für die Dauerhaftigkeit eines Gebäudes ist der Widerstand gegen sämtliche Umwelteinflüsse wie Wind, Wetter, Frost und Feuer.

Ein besonderes Augenmerk liegt hier bei der Beachtung des Wassers. Wasser kann in allen drei Aggregatzuständen zu Schäden an einem Gebäude führen. Damit dies nicht der Fall ist, sind einige Dinge zu beachten.

Ein schwerer Lehmziegel wie er hier untersucht wurde, hat aufgrund seiner hohen Dichte und seiner Geometrie einen sehr geringen Wärmedurchgangswiderstand. Deshalb ist es erforderlich, eine mehrschalige Außenwand zu errichten. Durch das Anbringen einer Außendämmung wird die Oberflächentemperatur der Innenwände auf ein so hohes Maß gebracht, dass es selbst in kritischen Ecken zu keiner Kondensatbildung kommt. Sollte aus welchen Gründen auch immer doch noch Feuchtigkeit auftreten, würde der Lehm diese Feuchte im Mauerwerk durch seine gute Kapillarwirkung an einen Ort mit niedrigerer Feuchte transportieren, sodass es in der Regel zu keiner Schimmelbildung kommen kann.



Abb.79: Ecksituation Lehmziegelmauerwerk mit Wärmedämmung (Steinwolle), Sockel mit XPS-Platten

Wasser in flüssiger Form sollte im Normalfall in einem sich in Betrieb befindlichen Gebäude nur in den dafür geeigneten Vorrichtungen befinden. Sollte es jedoch zu einem Wasserrohrbruch kommen, muss sichergestellt sein, dass das Wasser, welches über den Boden bzw. in den Bodenaufbau laufen könnte, keinen größeren Schaden an der Tragstruktur verursachen kann.

Werden am Rohboden die ersten zwei Reihen gebrannte Ziegelreihen mit den entsprechenden Horizontalsperren angesetzt, bekommt der Lehmziegel sozusagen „trockene Füße“.



Abb. 80: zwei Reihen gebrannter Ziegel, Horizontalsperre und darüber liegender Lehmziegel

Versuche an einer stehenden Wand haben gezeigt, dass wenn das Wasser vertikal abfließen kann, wie bei einem Steigrohrbruch, nur sehr geringe lokal eingegrenzte Schäden entstehen.



Abb.81: Betondecke mit Horizontalsperre Anstrich, erste Reihen gebrannter Ziegel, angesetzt

Während der Bauphase ist darauf zu achten dass es zu keiner unnötigen Durchfeuchtung der Lehmziegeln oder der bereits gemauerten Lehmwände kommt. Es ist darauf zu achten, dass diese vor negativen Einflüssen durch Wasser und Frost, geschützt werden.



Abb.82: Betonkranz, darunter Lehmziegel

Wird ein Deckenkranz betoniert, stellt dies in der Regel kein Problem für den Lehmziegel dar. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die nachfolgenden Wassergaben zum Anfeuchten der Geschoßdecken nicht über die Kante einen weiteren Wassereintrag verursachen. Besser wäre es, eine Folie einzusetzen um das auftretende Wasser bei Regen weit über die Gebäudekante hinaus abzuleiten.



Abb.83: Betonkranz und Lehmziegel,  
dazwischen bituminöse Horizontalsperre



Abb.84: Detail: Fertigelemente Decke  
auf Lehmziegelwand

Abgesehen von ein paar Dingen, die zu berücksichtigen sind, kann hier ähnlich wie mit dem gebrannten Ziegel ein Bauwerk errichtet werden.





Abb.85: Fensterlaibung fertig für Fenstereinbau



Abb.86: Fensterlaibung mit Fenstereinbau

Die Anschlüsse der Lehmziegelwand mit der obersten Geschoßdecke werden mittels Glattstrich und geeignetem Klebestreifen dampfdicht verklebt.



Abb.87: Deckenanschluss: Lehmziegelwand an OSB-Platten mit Abdichtklebestreifen

## 11.2. ANWENDUNG DER LEHMZIEGEL



Abb.88: Rohbau Lehmziegelhaus



Abb.89: Rohbau Lehmziegelhaus



Abb.90: Rohbau Lehmziegelhaus



Abb.91: Rohbau Lehmziegelhaus

## 12. PROJEKTENTWURF

### Entwurfskonzept:

Das derzeit bestehende Gebäude soll nach Möglichkeit und soweit es geht erhalten bleiben. Es erfolgen kleinere Eingriffe, wo es für die Belichtung und für den Ablauf der zukünftigen Anforderungen notwendig ist.

So werden der ehemalige Stall und die Tenne zu einem Atelier mit Empfangsbereich umgestaltet. Ein zusätzlicher Anbau wird benötigt, um einerseits mehr Platz zu schaffen und andererseits eine direkte Erschließung in das OG zu erhalten.

Der über zwei Geschoße gehende Gebäudeteil hat durch die Raumhöhe mehr Möglichkeiten für spezielle Arbeiten. Es können dadurch hohe Gebilde und Skulpturen entwickelt und umgesetzt werden. Um mit der Höhe besser spielen zu können gibt es eine kleine Galerie. Von dort kann man zusätzlich einen Blick Richtung NNW genießen, da sich in der Nähe Rothirsche in einem Gehege aufhalten. Die große Glasfront an der WSW-Fassade öffnet sich ins Grüne.

Für eine gute Gebrauchstauglichkeit sorgt ein Glasvordach mit halbtransparenten Glas-Glas-PV-Modulen. Dieses liefert Strom und bietet Schutz vor Sonne und Regen. Unterhalb dieser Anlage werden Tröge platziert, damit verschiedene Pflanzen an den von oben abgespannten Seilen hinaufwachsen können. Je nach Jahreszeit und Sonnenstand bietet das frische Grün einen sich verändernden Sonnenschutz. Im Winter herrscht freie Sicht. Zum Sommer hin soll alles zuwachsen und im Herbst, wenn die Blätter abfallen, können die Sonnenstrahlen wieder tief in das Rauminnere eindringen.

Ein Teil der alten Außenmauer wird entfernt um eine bessere Belichtung der Arbeitsplätze zu erreichen.

Die Teeküche, die WCs und die Garderobe werden im Altbau untergebracht. Für diese Bereiche sind Durchbrüche und neue Trennwände erforderlich.

Der Wohntrakt selbst erhält eine neue Fassade mit einer Dämmstärke von 30 cm. Die Fenster sollen nach Außen versetzt werden.

Die oberste Geschoßdecke vom Bestand erhält eine zweilagige Strohdämmung. Der neue Anbau bekommt nur eine Lage Stroh über einer CLT-Decke. Die Wände an der WNW-Fassade bestehen im unteren Bereich aus Lehmziegeln mit einem Sockel aus gebrannten Ziegeln mit zwei Feuchtigkeitssperren sowie einer Feuchtigkeitssperre unterhalb des Betonkranzes auf einer Höhe von 3,50 m. Darüber werden CLT-Elemente bis zur Decke hochgeführt. Alle Elemente werden luftdicht an einander gefügt. Eine Strohdämmung mit einer hinterlüfteten Fassade sorgt für den nötigen Wärmeschutz.

12.1. LAGEPLAN

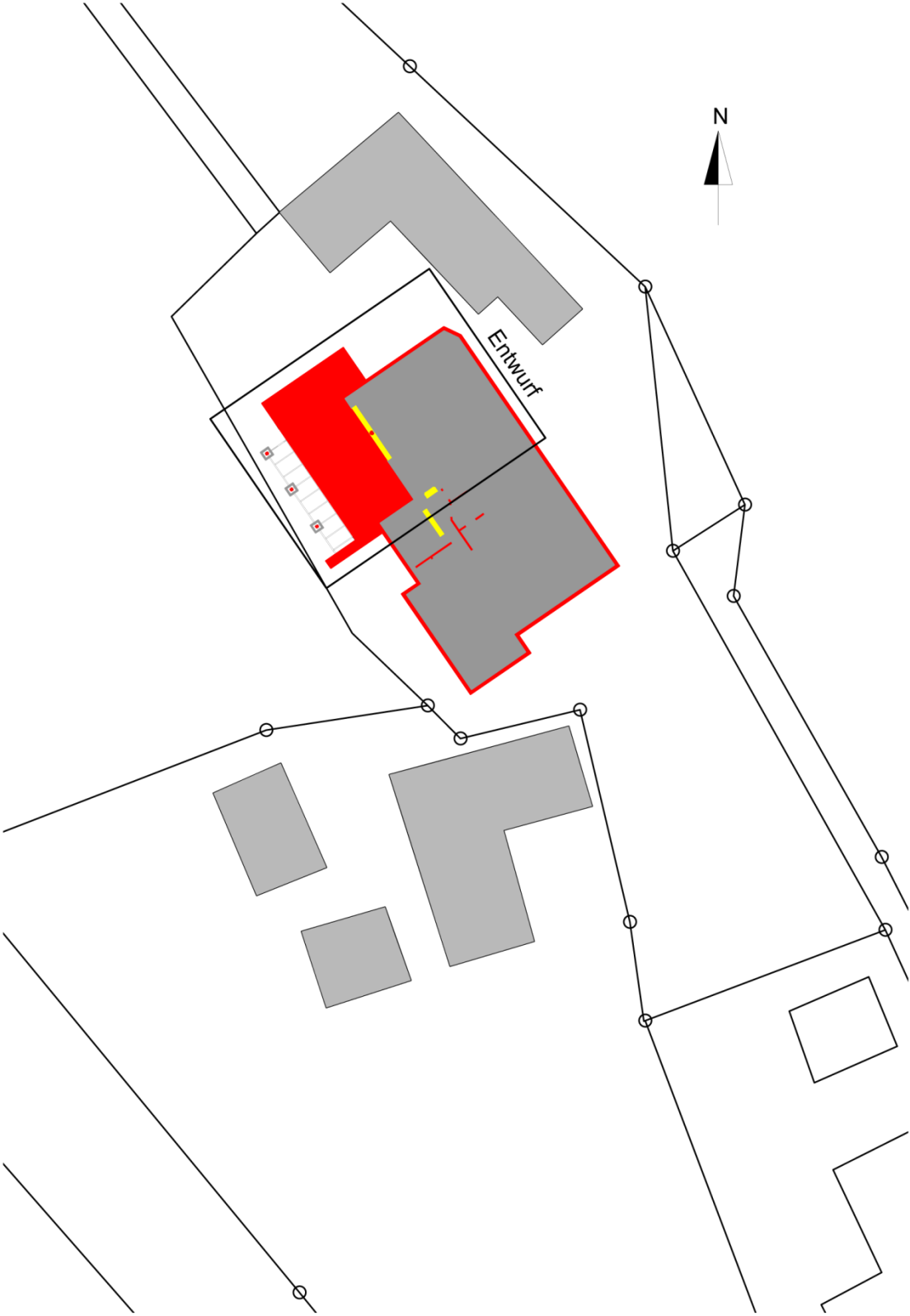


Abb.103: Lageplan

12.2. GRUNDRISS Entwurf und Bestand M=1:200

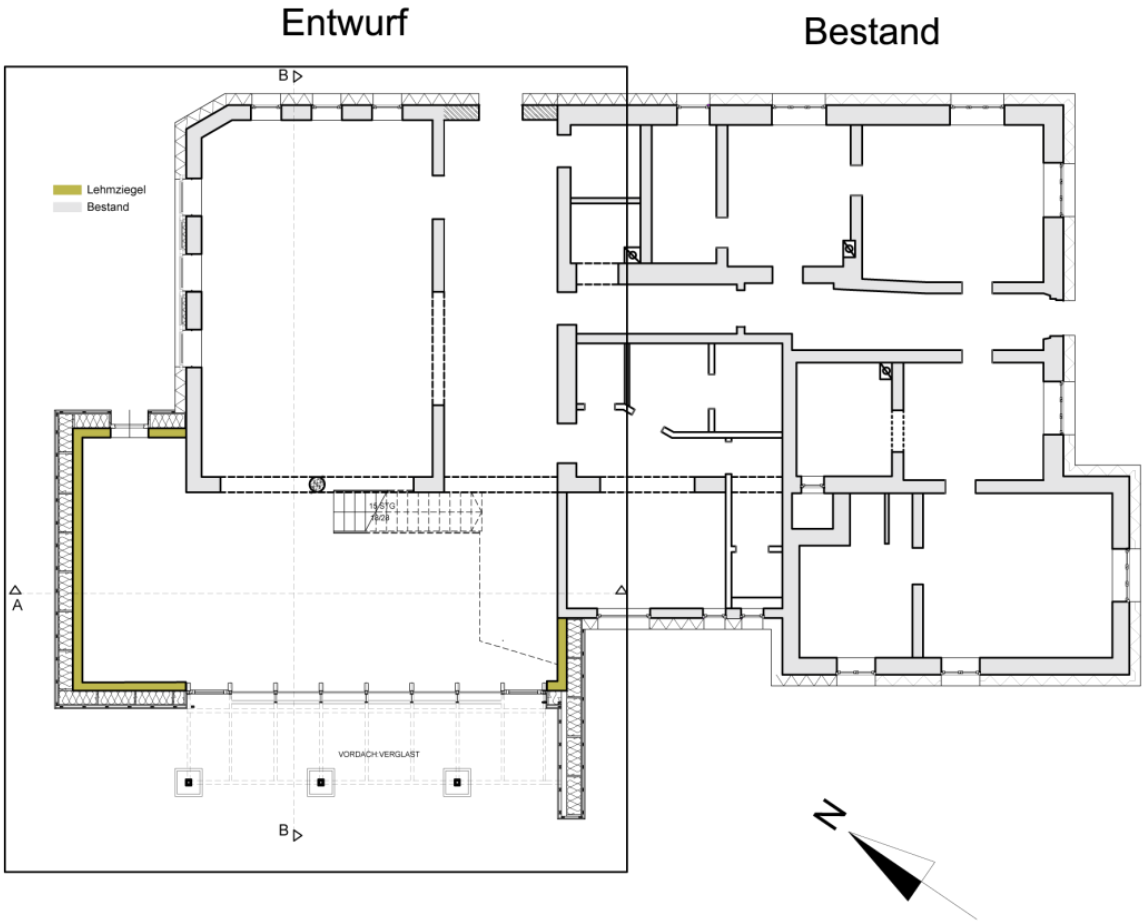


Abb.104: Grundriss M=1:200

12.3. GRUNDRISS Entwurf M=1:100

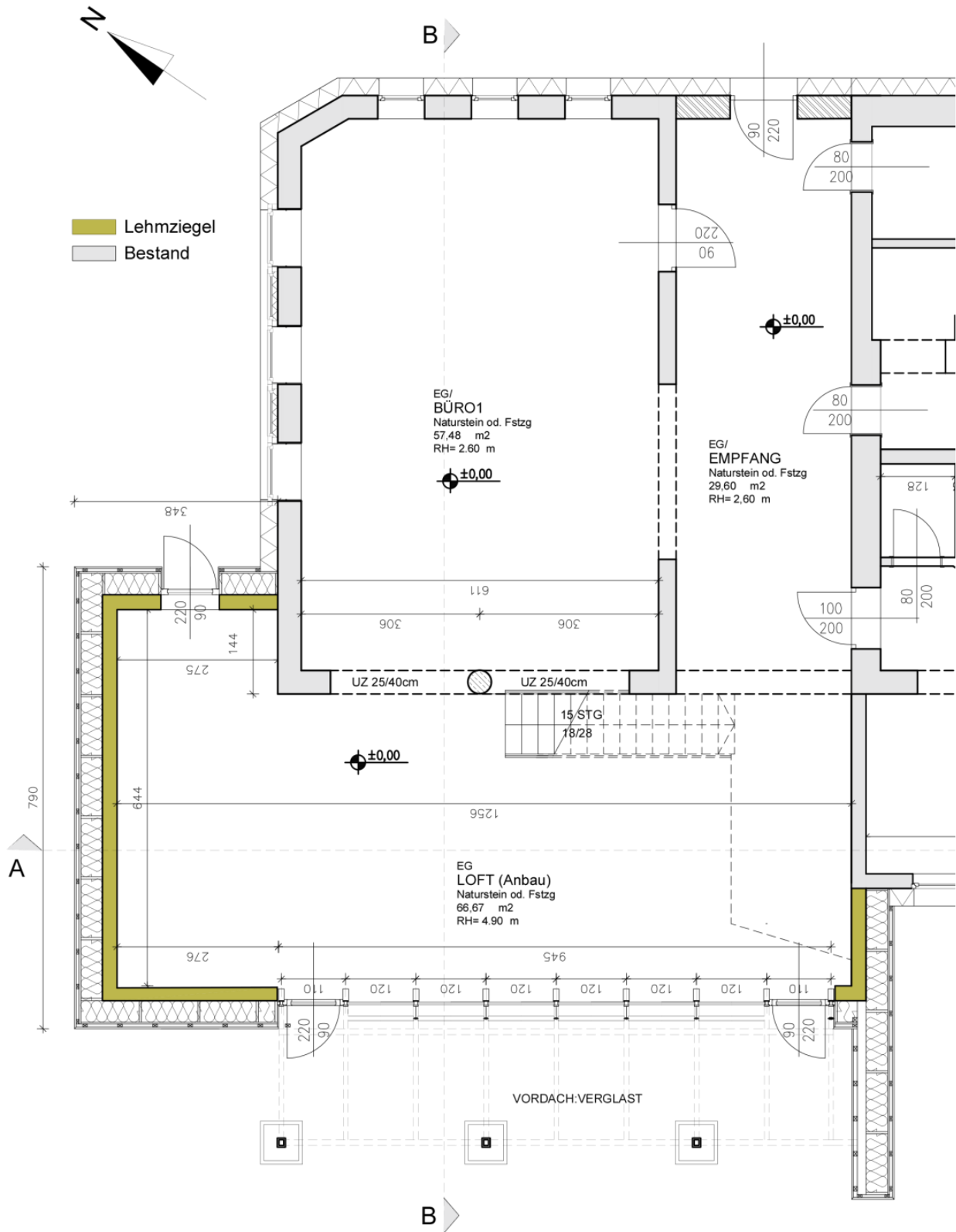


Abb.105:Grundriss M=1:100

12.4. SCHNITT A-A

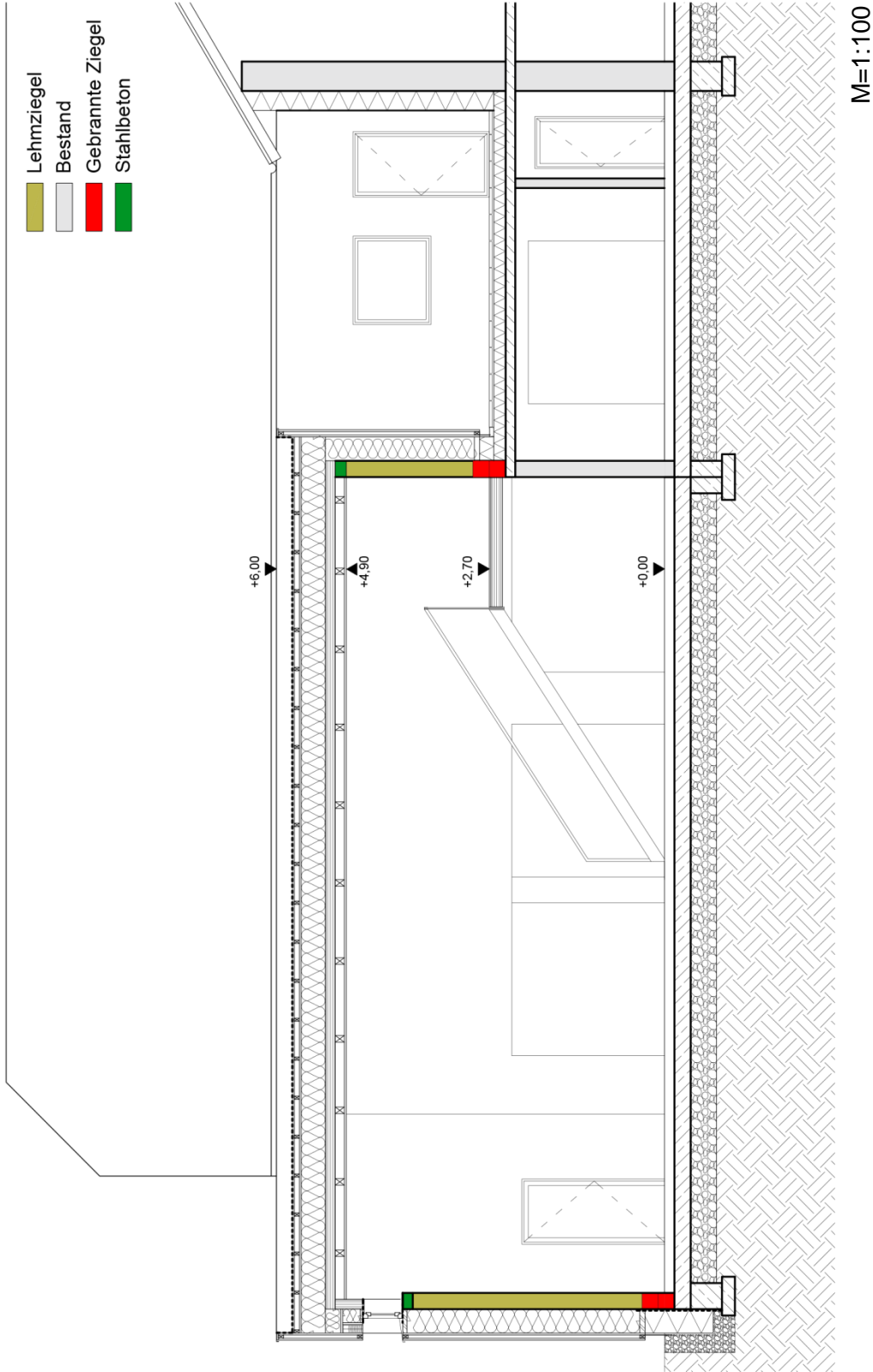


Abb.106: Schnitt A-A



12.5. SCHNITT B-B

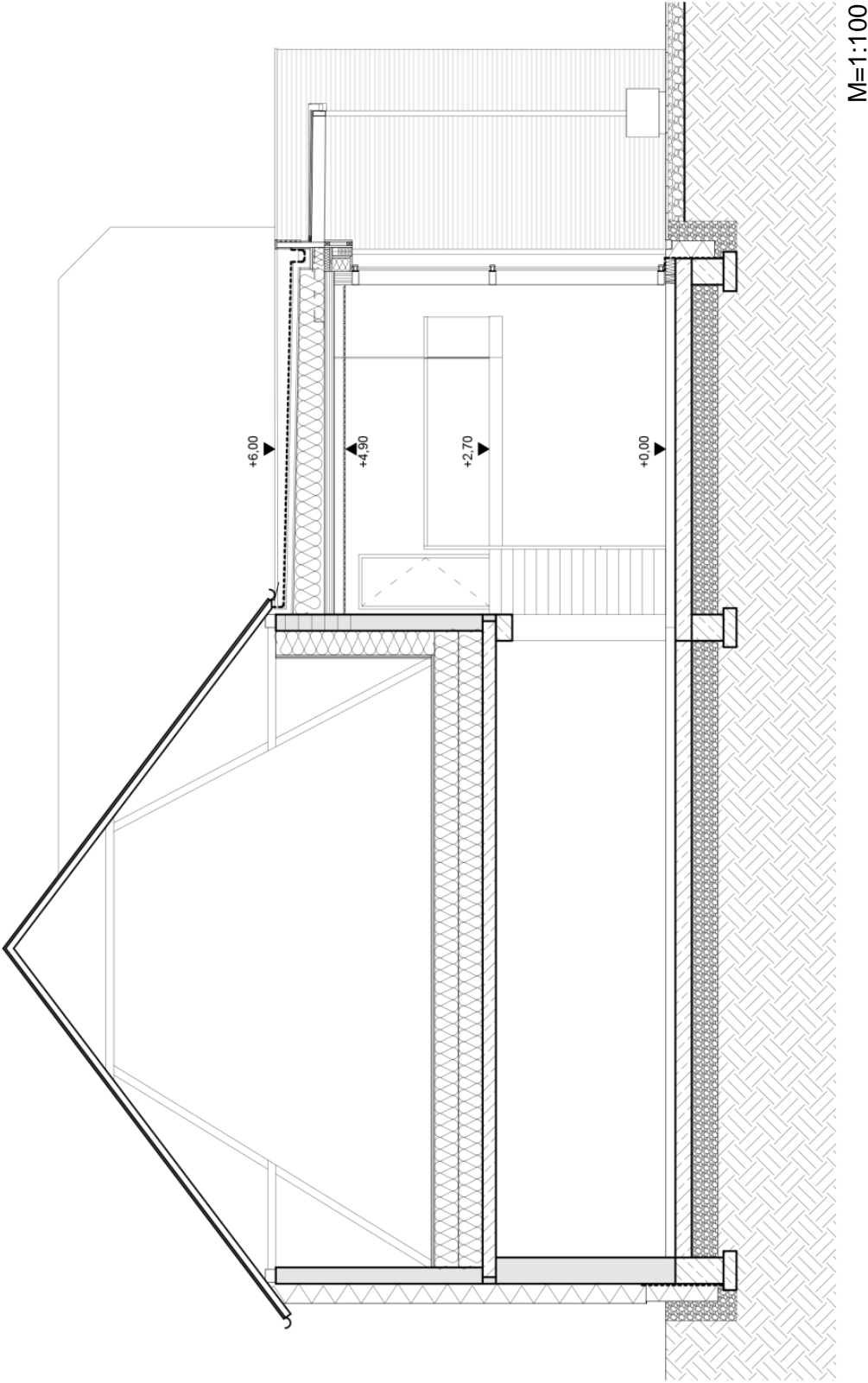


Abb.107:Schnitt B-B

12.6. ANSICHT WSW

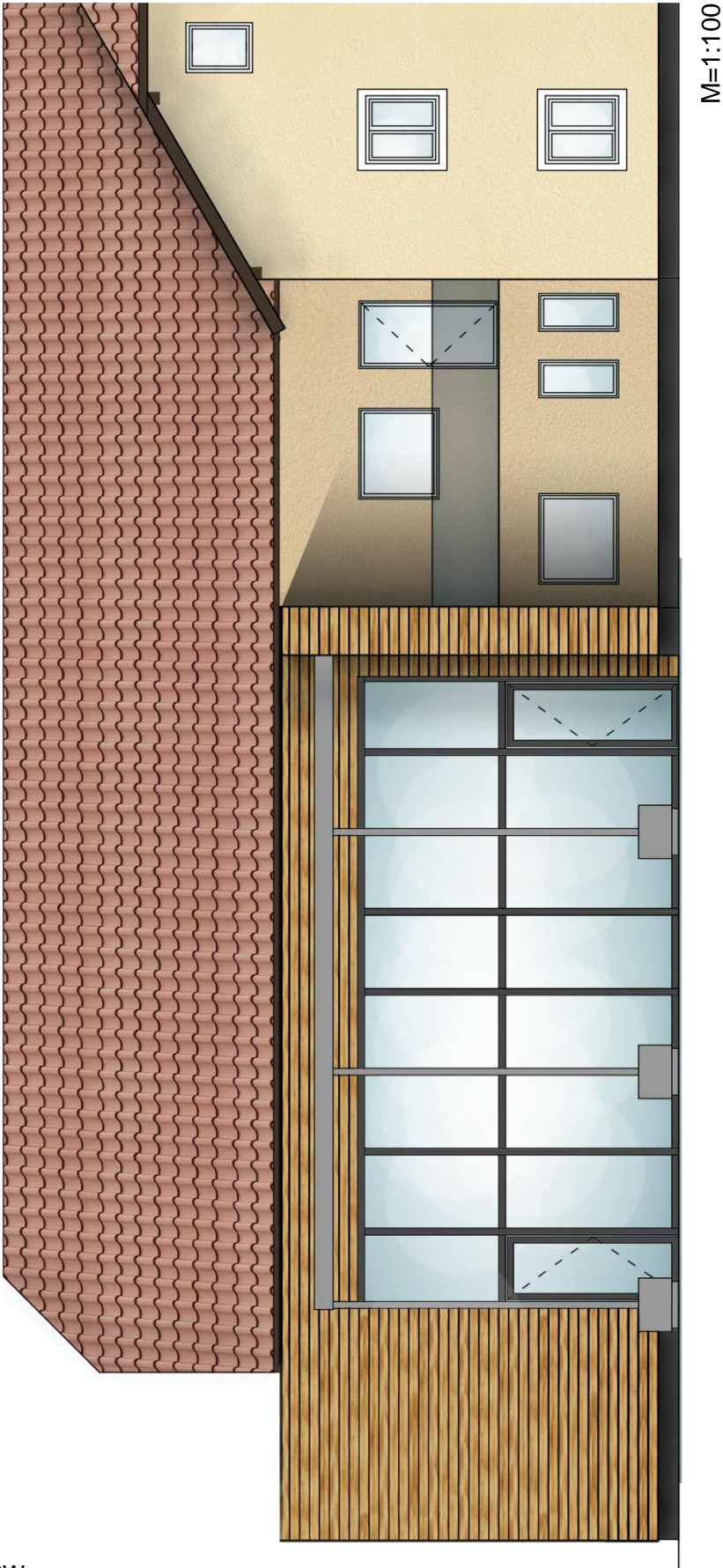


Abb.108: Ansicht WSW

12.7. ANSICHT NNW

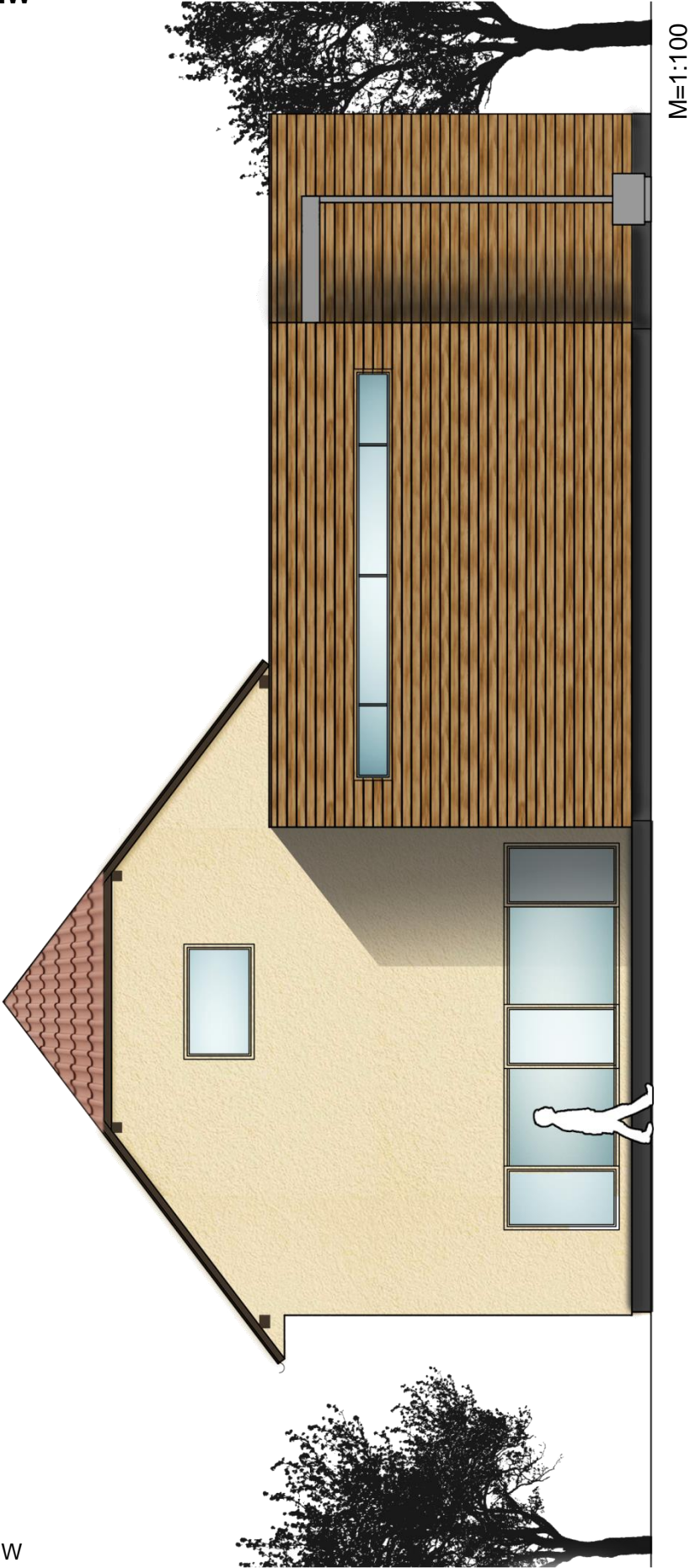
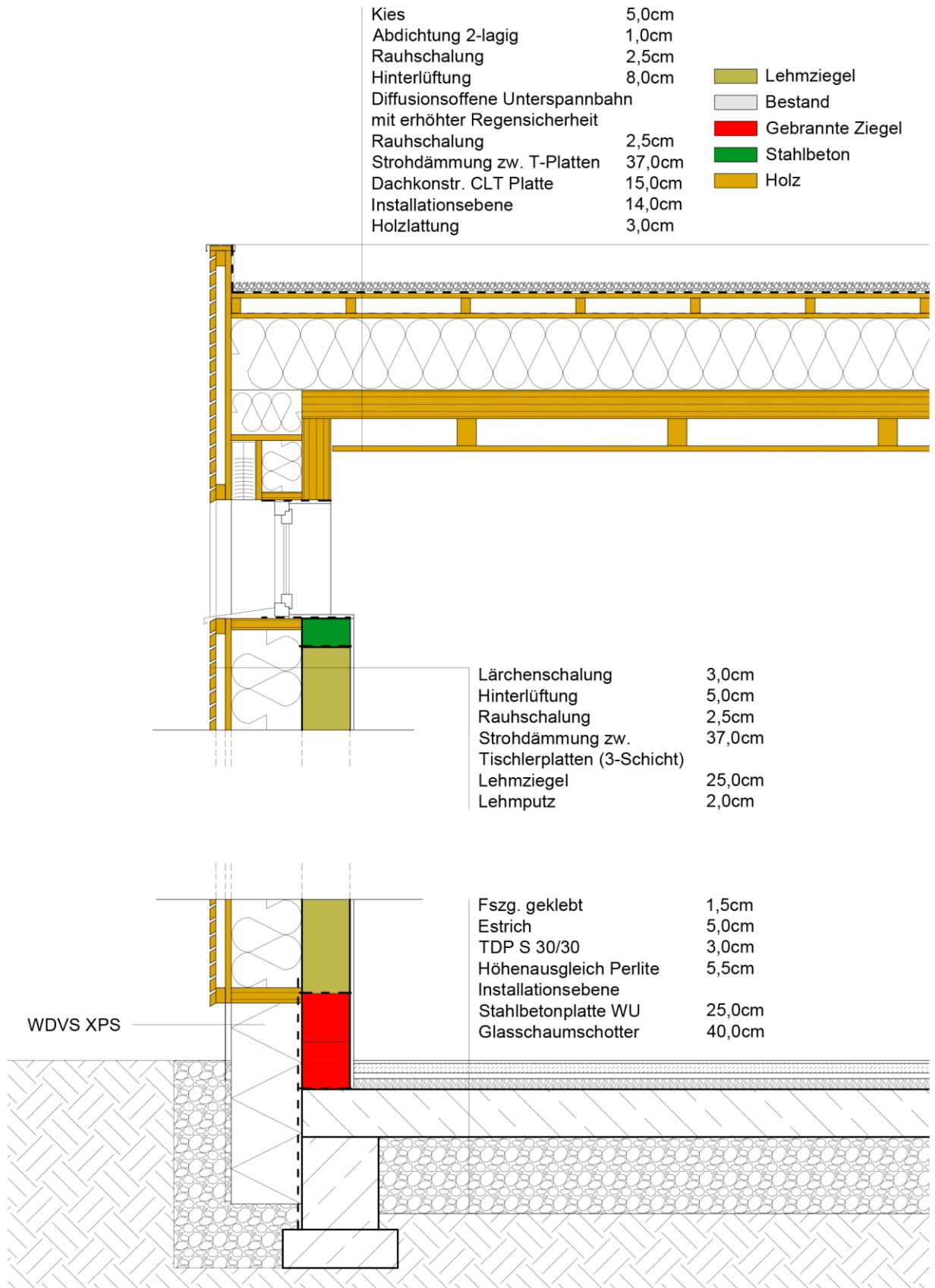


Abb.109: Ansicht NNW

### 12.8. DETAIL SCHNITT A-A



Maßstabslos

Abb.109: Detail A-A

## 12.9. DETAIL SCHNITT B-B

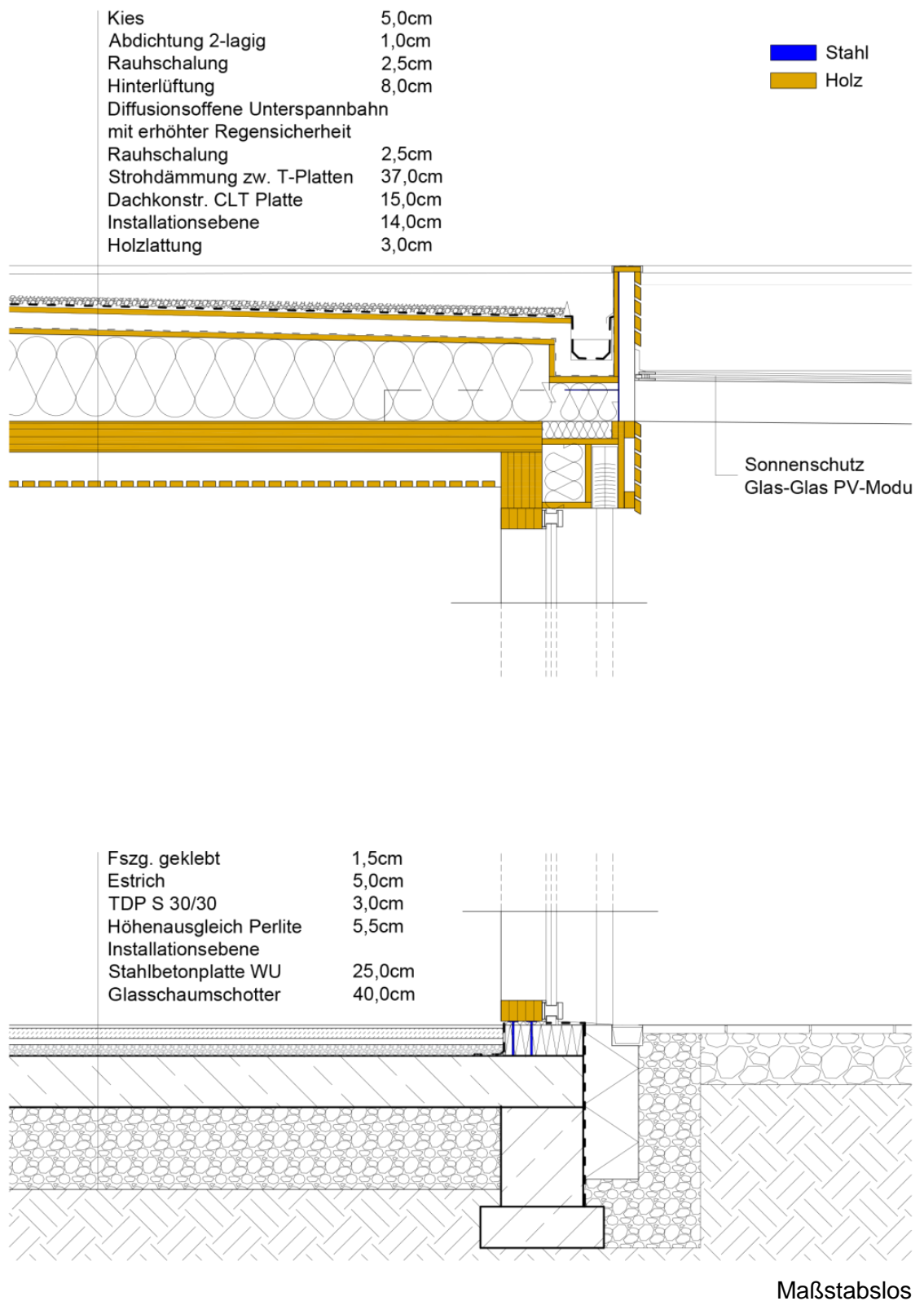


Abb.110: Detail B-B

## **A. SCHLUSSBEMERKUNG**

Der alternative Baustoff Lehm zeigt sich in besonderer Weise als vielseitig einsetzbares Material. Die Verwendbarkeit als tragendes Element wird durch meine Laborergebnisse bestätigt.

Wichtig ist für mich, dass durch die Zugabe verschiedener Stoffe die guten positiven Eigenschaften des Lehms erhalten bleiben, wie es beispielsweise bei Naturfasern der Fall ist.

Die Umsetzung in die Praxis ist mir ein ganz besonderes Anliegen. Daher soll auch mein Entwurf tatsächlich gebaut werden. Hier besteht für mich die Möglichkeit das mitentwickelte Produkt selbst zu nutzen und die Praxistauglichkeit zu erkunden.

Um auch den Bestand besser zu verstehen war es für mich wichtig, diesen auf unterschiedliche Arten zu betrachten. Auch hier will ich für die praktische Umsetzung sorgen.

Durch all die erworbenen Erkenntnisse, sehe ich dem Ziel der Realisierung freudig entgegen.

## **B. DANKSAGUNG**

Ein besonderer Dank gilt meinem Diplomarbeitsbetreuer  
Herrn Univ.-Prof. Arch. Dipl.-Ing. Dr.techn. Martin Treberspurg.  
Danke für ihr Verständnis und ihre gute Unterstützung.

Dank gebührt auch meinen Eltern.  
Für die liebevolle Unterstützung während meines Studiums.

Auch Danke sagen möchte ich allen meinen Freunden.  
Schön, dass es euch gibt.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Frau Siglinde und unseren 3 Kindern.  
Ihr seid die große Freude in meinem Leben.

## C. QUELLENANGABEN

### LITERATURQUELLEN

[1] ENZ/ HASTINGS: „Innovative Wandkonstruktionen – Für Minergie- P und Passivhäuser“ C.F. Müller Verlag, Heidelberg, 2006

[2] SCHUCK JUDITH: „Passivhäuser- Bewährte Konzepte und Konstruktionen“ W.Kohlhammer GmbH Stuttgart, 2007

[4] INGO GABRIEL/ HEINZ LADENER: „Vom Altbau zum Niedrigenergie- und Passivhaus – Gebäudesanierung, neue Energiestandards, Planung und Baupraxis “ ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 2008

[5] BRÄNDLE;EVMARIE: „Sanierung alter Häuser“ BLV, München, 1991

[6] Projektarbeit: Energieberaterausbildung [Habacher/ Schmidmair], 2014

(10) Maik Novotny im Standard (Architekturteil: Album A8) vom Sa.05.Sept.2015, Lowtech steht Hightech an Intelligenz um nichts nach

(11) Über die „ESSBARE STADT“ schreibt auch (11) Jürgen Schmücking, in Genuss Grübeleien, im „LebensArt“ vom 04/2015 Seite 43, Nutzen von kleinen und größeren Räumen zur Eigenversorgung bis hin zur Eisenbahnerkuh

### INTERNETQUELLEN

{1} <http://www.passivhaus.de/passivhaus-grundlagen/energetische-sanierung/> -Energetische Sanierung- 31.07.2008; 16:35

{3} <http://www.stuckateur-bauer.de/publikationen/pdf/innendaemmung-im-bestand-mit-wandheizung.pdf>; -Innendämmung im Bestand- 05.08.2008; 19:30

{4} <http://www.wiegand-info.de/waermebruecken/download.php?download=29> Passivhäuser: Die wirklichen Kosten:-in Klimaschutz in Frankfurt-10.09.2015; 16:09

{5} <http://www.passivhaus.de/passivhaus-informationen/passivhaus-grundlagen/der-passivhausstandard.html>-Grafik : Vergleich der energetischen Gebäudestandards-14.09.2015; 22:30 : Passivhauskriterien : Vorteile von Passivhäusern

{6} <http://www.s-house.at>

{7} <http://www.holzfaser.org/anwendungsbereiche/hfd/bauphysik.php>: Behaglichkeitswert in Abhängigkeit von Oberflächentemperatur und Raumtemperatur-16.10.2015;22:05

{8} [http://www.bundesbaublatt.de/artikel/bildpopup\\_882885.html?image=3](http://www.bundesbaublatt.de/artikel/bildpopup_882885.html?image=3): Behaglichkeitswerten in Abhängigkeit von Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit-16.10.2015;21:57

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abb. 01: Foto Alois Schmidmair privat  
Abb. 02-04: <http://www.wiegand-info.de>  
Abb. 05: <http://www.holzfaser.org>  
Abb. 06: <http://www.bundesbaublatt.de>  
Abb. 07: <http://www.passivhaus.de>  
Abb. 08-09: Foto Alois Schmidmair privat  
Abb. 10-12: Skizze Alois Schmidmair  
Abb. 13-15: Projektarbeit Habacher / Schmidmair  
Abb. 16: Skizze Alois Schmidmair  
Abb. 17: Projektarbeit Habacher / Schmidmair  
Abb. 18-20: Skizze Alois Schmidmair  
Abb. 21-26: Projektarbeit Habacher / Schmidmair  
Abb. 27: Skizze Alois Schmidmair  
Abb. 28-29: Projektarbeit Habacher / Schmidmair  
Abb. 30-31: Vektorisierung von Fotos der Lehmbau-Vortragsreihe TU-Wien  
Abb. 32-45: Fotos Alois Schmidmair im Labor Fa. Wienerberger  
Abb. 46: Grafik Alois Schmidmair  
Abb. 47: Foto Alois Schmidmair im Labor Fa. Wienerberger  
Abb. 48: Grafik Alois Schmidmair  
Abb. 49: Foto Alois Schmidmair im Labor Fa. Wienerberger  
Abb. 50: Grafik Alois Schmidmair  
Abb. 51-52: Fotos Alois Schmidmair im Labor Fa. Wienerberger  
Abb. 53: Grafik Alois Schmidmair  
Abb. 54: Foto Alois Schmidmair im Labor Fa. Wienerberger  
Abb. 55-59: Grafik Alois Schmidmair  
Abb. 60: Foto Alois Schmidmair im Labor Fa. Wienerberger  
Abb. 61: Grafik Alois Schmidmair  
Abb. 62-63: Fotos Alois Schmidmair im Labor Fa. Wienerberger  
Abb. 64: Grafik Alois Schmidmair  
Abb. 65: Foto Alois Schmidmair im Labor Fa. Wienerberger  
Abb. 66-69: Grafik Alois Schmidmair  
Abb. 70: Foto Alois Schmidmair im Labor Fa. Wienerberger  
Abb. 71-72: Grafik Alois Schmidmair  
Abb. 73: Foto Alois Schmidmair im Labor Fa. Wienerberger  
Abb. 74: Grafik Alois Schmidmair  
Abb. 75: Foto Alois Schmidmair im Labor Fa. Wienerberger  
Abb. 76: Grafik Alois Schmidmair  
Abb. 77: Foto Alois Schmidmair im Labor Fa. Wienerberger  
Abb. 78: Grafik Alois Schmidmair  
Abb. 79: Foto Alois Schmidmair Baustelle 1  
Abb. 80-81: Foto Alois Schmidmair Baustelle Wiesinger  
Abb. 82: Foto Alois Schmidmair Baustelle 3  
Abb. 83-84: Foto Alois Schmidmair Baustelle 1  
Abb. 86: Foto Alois Schmidmair Baustelle Wiesinger  
Abb. 87: Foto Alois Schmidmair Baustelle 1  
Abb. 88-89: Foto Alois Schmidmair Baustelle Wiesinger  
Abb. 90-91: Foto Alois Schmidmair Baustelle 1  
Abb. 92-: Fotos Alois Schmidmair im Labor Fa. Wienerberger  
Abb. 93-102: Projektarbeit Habacher / Schmidmair  
Abb. 103-110: Entwurf, Pläne Alois Schmidmair

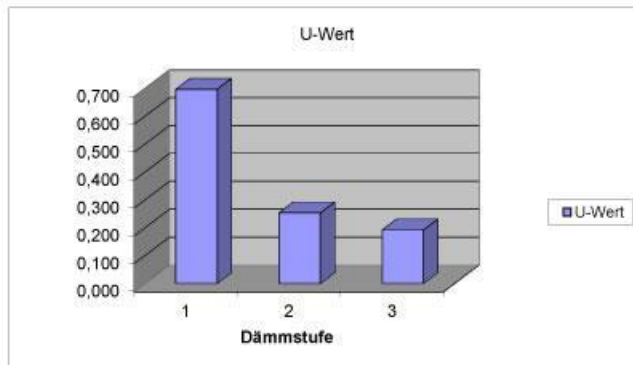


## D. ANHANG

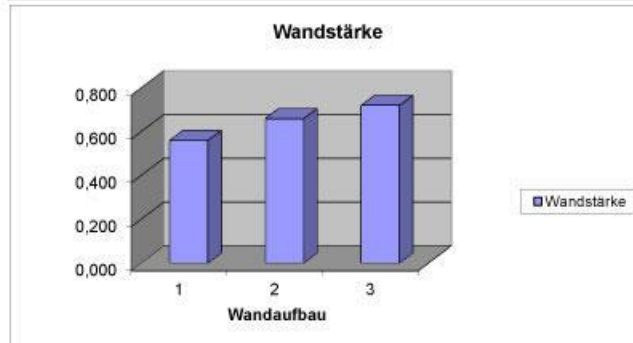
### D.1.BAUTEILBESCHREIBUNG: SCHICHTAUFBAU+ DÄMMSTUFE 1 UND 2

**Außenwände: Altbau: EG:**

Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Innenputz	0,020	0,130	0,15
Heraklit	0,030	0,090	0,33
Vollziegel	0,480	0,700	0,69
Putz	0,015	0,900	0,02
Putz	0,015	0,200	0,08
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
Rsi + Rse			0,17
<b>R-Wert</b>			<b>1,43</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,697</b>
Wandstärke	0,560		



Dämmstufe 1			
Dämmung	0,100	0,040	2,50
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
<b>R-Wert</b>			<b>3,93</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,254</b>
Wandstärke	0,660		



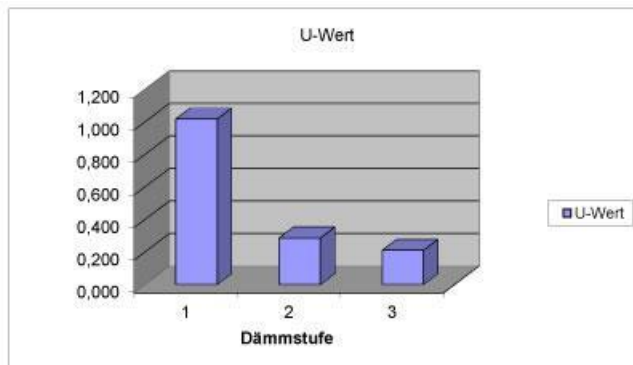
Dämmstufe 2			
Dämmung	0,060	0,048	1,25
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
<b>R-Wert</b>			<b>5,18</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,193</b>
Wandstärke	0,720		

Wand1\_EG\_ALTBAU\_A

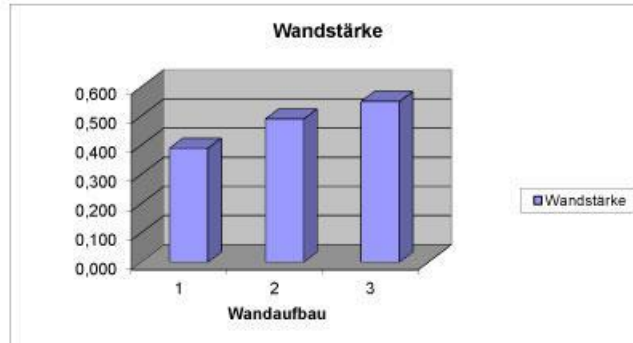
Abb.93 und 93.1: Außenwände Altbau EG

**Außenwände: Altbau: OG:**

Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Innenputz	0,020	0,130	0,15
Vollziegel	0,340	0,600	0,57
Putz	0,015	0,900	0,02
Putz	0,015	0,200	0,08
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
Rsi + Rse			0,17
<b>R-Wert</b>			<b>0,98</b>
<b>U-Wert</b>			<b>1,018</b>
Wandstärke	0,390		



Dämmstufe 1			
Dämmung	0,100	0,040	2,50
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
<b>R-Wert</b>			<b>3,48</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,287</b>
Wandstärke	0,490		



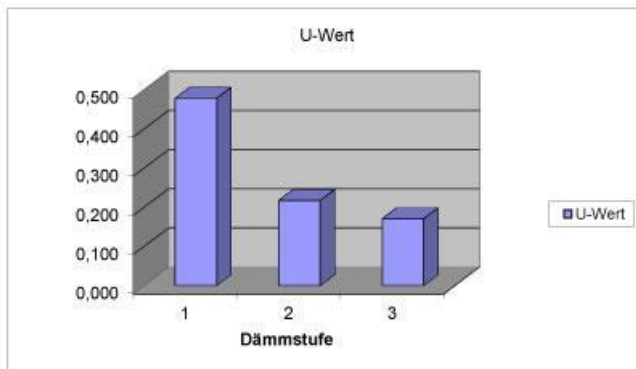
Dämmstufe 2			
Dämmung	0,060	0,048	1,25
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
<b>R-Wert</b>			<b>4,73</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,211</b>
Wandstärke	0,550		

Wand1\_OG\_ALTBAU\_A

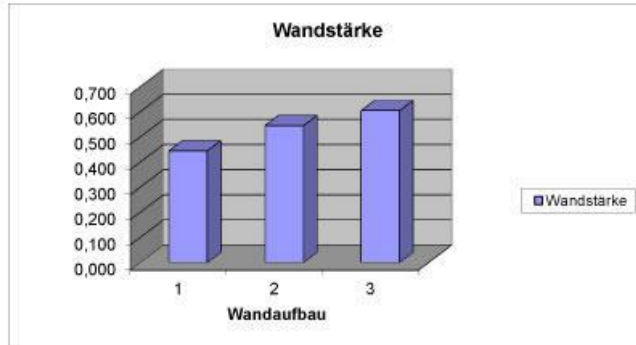
Abb.94 und 94.1: Außenwände Altbau EG/OG

**Außenwände Zubau(1990): EG/OG:**

Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Innenputz	0,015	0,900	0,02
Hochlochziegel	0,380	0,250	1,52
Isolierputz (Perlite)	0,050	0,130	0,38
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
Rsi + Rse			0,17
<b>R-Wert</b>			<b>2,09</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,478</b>
Wandstärke	0,445		



Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Dämmung	0,100	0,040	2,50
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
<b>R-Wert</b>			<b>4,59</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,218</b>
Wandstärke	0,545		



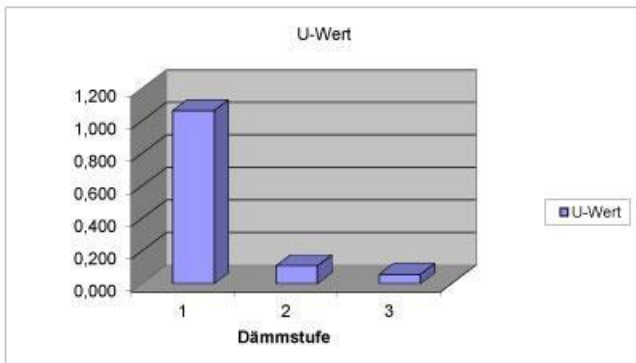
Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Dämmung	0,060	0,048	1,25
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
<b>R-Wert</b>			<b>5,84</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,171</b>
Wandstärke	0,605		

Wand11\_ZUBAU\_A

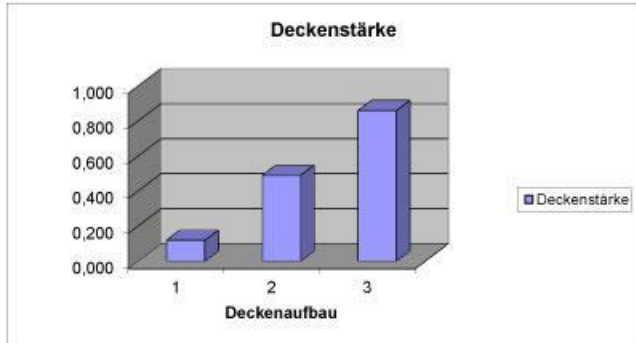
Abb.95 und 95.1: Außenwände Zubau EG/OG

**Decken: Altbau: Massiv Holzdecke:**

Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Vollholzdecke	0,120	0,150	0,80
Dampfbremse	0,000		0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
Rsi + Rse			0,14
<b>R-Wert</b>			<b>0,94</b>
<b>U-Wert</b>			<b>1,064</b>
Deckenstärke	0,120		



Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Stroh	0,370	0,045	8,22
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
<b>R-Wert</b>			<b>9,16</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,109</b>
Deckenstärke	0,490		



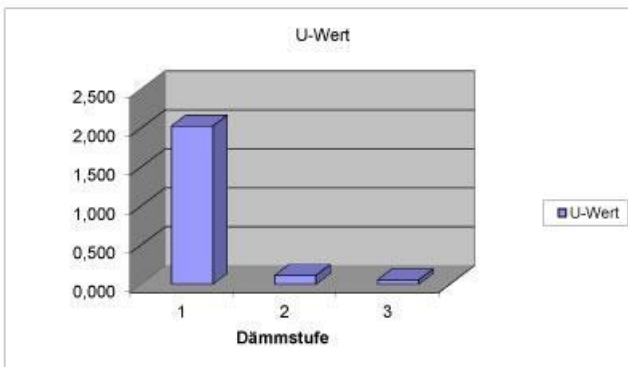
Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Stroh	0,370	0,045	8,22
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
<b>R-Wert</b>			<b>17,38</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,058</b>
Deckenstärke	0,860		

Dach1\_ALTBAU\_VHD

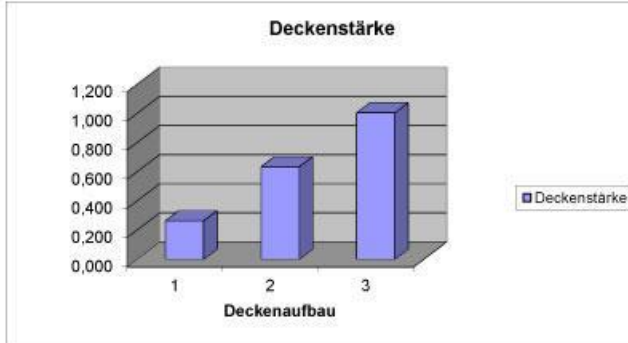
Abb.96: Holzdecke Altbau

**Decken:**Altbau: Betondecke:

Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Innenputz Kalkzem.	0,015	0,900	0,02
Betondecke hohl	0,200		0,30
Estrich	0,050	1,400	0,04
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
Rsi + Rse			0,14
<b>R-Wert</b>			<b>0,49</b>
<b>U-Wert</b>			<b>2,031</b>
Deckenstärke	0,265		



Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Stroh	0,370	0,045	8,22
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
<b>R-Wert</b>			<b>8,71</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,115</b>
Deckenstärke	0,635		



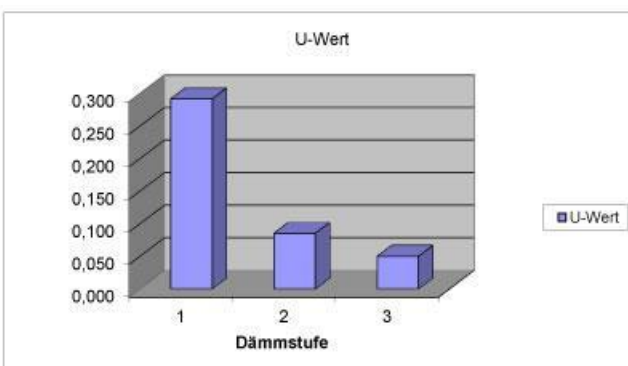
Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Stroh	0,370	0,045	8,22
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
<b>R-Wert</b>			<b>16,94</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,059</b>
Deckenstärke	1,005		

Dach3\_ALTBAU

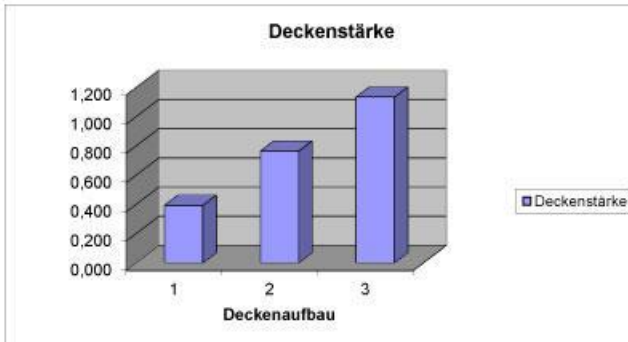
Abb.97: Betondecke Altbau

**Decken:** Zubau(1990): Ziegeldecke:

Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Innenputz Kalkzem.	0,020	0,900	0,02
Ziegeldecke	0,190		0,30
Perlitschüttung	0,120	0,042	2,86
Estrich	0,060	1,400	0,04
Teppich	0,005	0,080	0,06
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
Rsi + Rse			0,14
<b>R-Wert</b>			<b>3,42</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,292</b>
Deckenstärke	0,395		



Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Stroh	0,370	0,045	8,22
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
<b>R-Wert</b>			<b>11,65</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,086</b>
Deckenstärke	0,765		



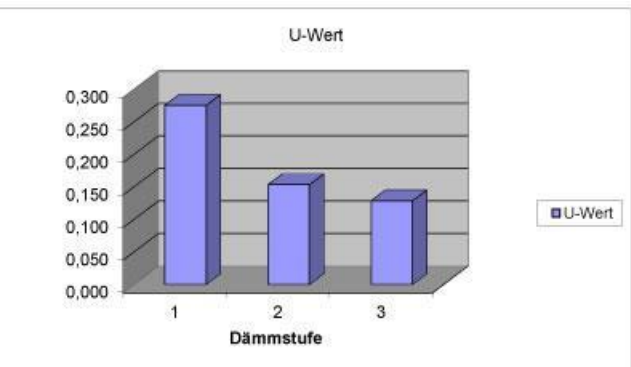
Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Stroh	0,370	0,045	8,22
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
<b>R-Wert</b>			<b>19,87</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,050</b>
Deckenstärke	1,135		

Dach2\_ZUBAU

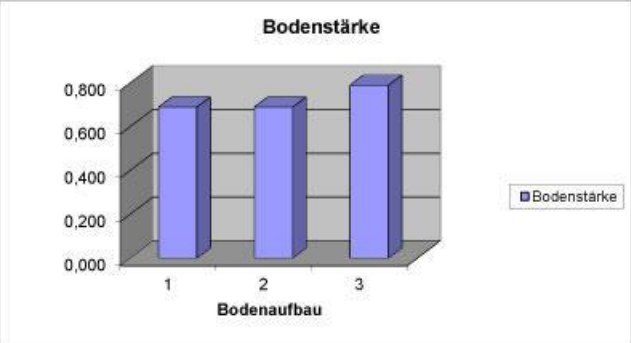
Abb.98: Ziegeldecke Zubau

**Böden:** Boden ORANGE: Zubau(1990) und Teile Altbau:

Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Estrich	0,070	1,400	0,05
EPS/Perlite	0,120	0,040	3,00
Beton	0,250	2,100	0,12
Schotter	0,250	1,000	0,25
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
Rsi + Rse			0,21
<b>R-Wert</b>			<b>3,63</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,276</b>
Bodenstärke	0,690		



Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Dämmschotter	0,250	0,080	3,13
Schotter	-0,250	1,000	-0,25
			0,00
			0,00
			0,00
<b>R-Wert</b>			<b>6,50</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,154</b>
Bodenstärke	0,690		



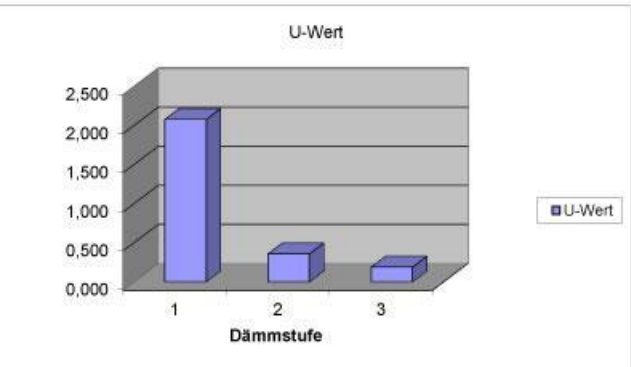
Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Dämmschotter	0,100	0,080	1,25
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
<b>R-Wert</b>			<b>7,75</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,129</b>
Bodenstärke	0,790		

BODEN\_ALTBAU\_ORANGE

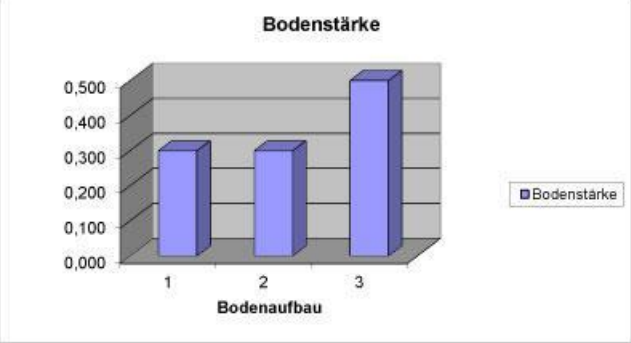
Abb.99: Boden Zubau(1990) und Teile Altbau

**Böden:** Boden ROT: Vorhaus Altbau, Atelier, Tenne:

Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Estrich	0,100	1,400	0,07
Schotter	0,200	1,000	0,20
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
Rsi + Rse			0,21
<b>R-Wert</b>			<b>0,48</b>
<b>U-Wert</b>			<b>2,077</b>
Bodenstärke	0,300		



Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Dämmschotter	0,200	0,080	2,50
Schotter	-0,200	1,000	-0,20
			0,00
			0,00
			0,00
<b>R-Wert</b>			<b>2,78</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,360</b>
Bodenstärke	0,300		



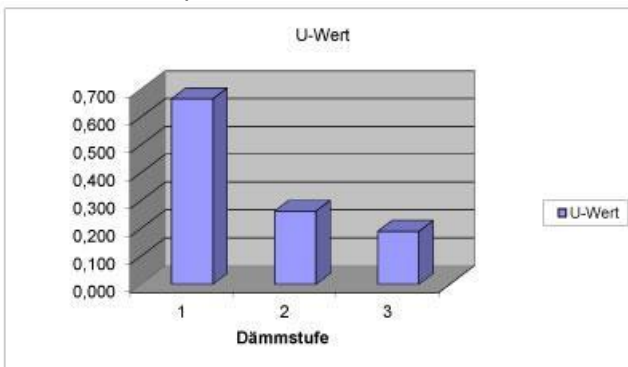
Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Dämmschotter	0,200	0,080	2,50
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
<b>R-Wert</b>			<b>5,28</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,189</b>
Bodenstärke	0,500		

BODEN\_ALTBAU\_ROT

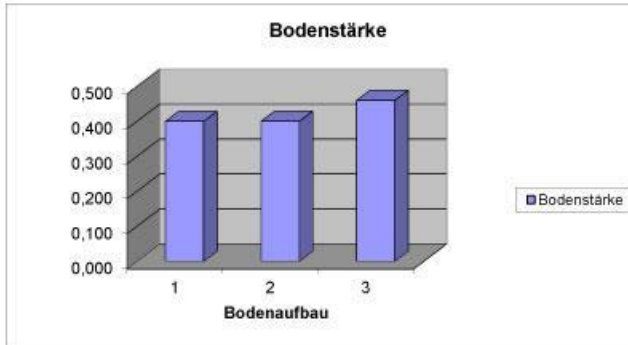
Abb.100: Boden Vorhaus Altbau, Atelier, Tenne

**Böden:** Boden GELB: Altbau: Wohnzimmer Küche und Speise:

Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Estrich	0,060	1,400	0,04
EPS	0,040	0,040	1,00
Beton	0,100	2,100	0,05
Schotter	0,200	1,000	0,20
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
Rsi + Rse			0,21
<b>R-Wert</b>			<b>1,50</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,666</b>
Bodenstärke	0,400		



Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Dämmschotter	0,200	0,080	2,50
Schotter	-0,200	1,000	-0,20
			0,00
			0,00
			0,00
<b>R-Wert</b>			<b>3,80</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,263</b>
Bodenstärke	0,400		



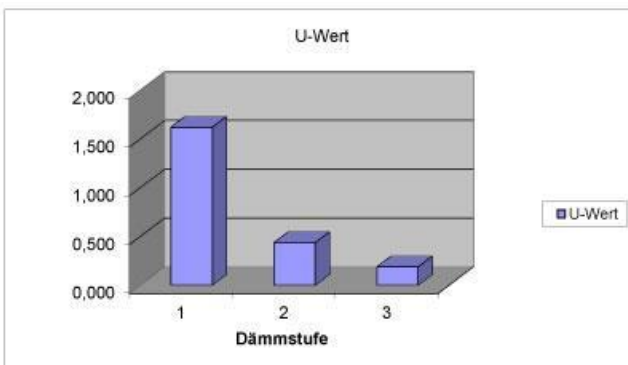
Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Dämmschotter	0,200	0,080	2,50
EPS	-0,040	0,040	-1,00
Beton	-0,100	2,100	-0,05
			0,00
			0,00
<b>R-Wert</b>			<b>5,25</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,190</b>
Bodenstärke	0,460		

BODEN\_ALTBAU\_GELB

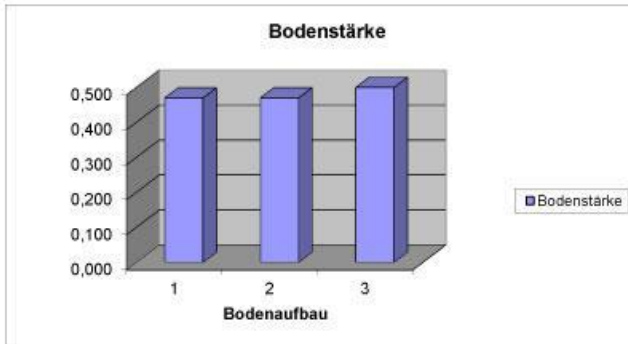
Abb.101: Boden Altbau Wohnzimmer Küche und Speise

**Böden:** Boden GRÜN: Heizraum, Technikraum:

Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Estrich	0,100	1,400	0,07
Ziegel	0,070	0,800	0,09
Beton	0,100	2,100	0,05
Schotter	0,200	1,000	0,20
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
Rsi + Rse			0,21
<b>R-Wert</b>			<b>0,62</b>
<b>U-Wert</b>			<b>1,622</b>
Bodenstärke	0,470		



Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Schaumglas	0,070	0,040	1,75
Ziegel	-0,070	0,800	-0,09
			0,00
			0,00
			0,00
<b>R-Wert</b>			<b>2,28</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,439</b>
Bodenstärke	0,470		



Bauteilbezeichnung	Dicke [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Dämmschotter	0,400	0,080	5,00
Schaumglas	-0,070	0,040	-1,75
Beton	-0,100	2,100	-0,05
Schotter	-0,200	1,000	-0,20
			0,00
<b>R-Wert</b>			<b>5,28</b>
<b>U-Wert</b>			<b>0,189</b>
Bodenstärke	0,500		

BODEN\_ALTBAU\_GRÜN

Abb.102: Boden Heizraum, Technikraum

**Fenster:**  
 Zubau: Holzfenster mit Isolierverglasung  
 Altbau: Holzkastenfenster  
 Atelier und Tenne: Einscheibengläser