

## TES EnergyFacade – Vorfertigung bei der energetischen Modernisierung

Dipl.-Ing. Frank Lattke, Dipl.-Ing. Stephan Ott, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter

### Innovative vorgefertigte Fassadenelemente aus Holz

*Die Verbesserung der Energieeffizienz von Bauten der 1950er bis 1980er Jahre leistet einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung der CO<sub>2</sub> Emissionen des Gebäudebestandes. Die Gebäudehülle trägt einen erheblichen Anteil zum Energieeinsparpotential bei, die Verbesserungsrate kann bei 80 bis 90% des Wärmedurchgangs liegen. Ein Großteil des Baubestands, insbesondere der Wohnbau aus der erwähnten Zeitspanne ist im Betrieb aufwändig, energetisch unzulänglich und entspricht nicht mehr den Bedürfnissen seiner Nutzer.*

Das Ziel des Forschungsprogramms, *TES EnergyFacade - prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope*, ist die Entwicklung eines Fassadenmodernisierungssystems (TES (Timber-based Element System) Methode), das auf dem Einsatz vorgefertigter, großformatiger Holzbauelemente basiert. Es trägt zu einer deutlichen Verbesserung der Energieeffizienz modernisierter Gebäude bei und ist in ganz Europa anwendbar.

Im Kern zielt die TES Methode auf die Verbesserung der Energieeffizienz eines Gebäudes und in dessen Folge auf eine Verminderung von Treibhausgasemissionen im Betrieb.

#### Optimierter Planungsprozess

Die Verwendung vorgefertigter Modernisierungselemente basiert auf einem präzisen dreidimensionalen Aufmaß, das durchgängig im digitalen Workflow verwendet wird, angefangen bei der Bestandsaufnahme, weiter über die Planung, Vorfertigung und die Montage auf der Baustelle.

Die wichtigsten Eigenschaften und Merkmale von TES EnergyFacade sind:

- Präzision und Qualität eines ökologischen Bausystems
- Preisgarantie und Verringerung der Arbeiten auf der Baustelle
- Minimierung von Baulärm und Störung der Bewohner
- Verwendung einer Vielfalt von Bekleidungsmaterialien
- Integration von lastabtragenden Komponenten (Balkone etc.)
- Integration von Haustechnik und solar-aktiven Komponenten
- Räumliche Intervention oder Erweiterung (Module) im gleichen Bausystem

((Grafik 000))

((Grafiktitel 000: TES Elemente ermöglichen die multifunktionale Gebäudehülle))

((Grafik 001))

((Grafiktitel 001: TES EnergyFacade Element))

((Grafik 002))

((Grafiktitel 002: Exemplarischer Lebensweg einer TES EnergyFacade.))

#### Forschungsprojekt

In einem auf zwei Jahre angelegten europäischen Forschungsprojekt, koordiniert vom WoodWisdom-Net unter nationaler Förderung des BMBF, haben Teams der Aalto University Helsinki in Finnland, der NTNU Trondheim in Norwegen und der TU München mit Praxispartnern zusammengearbeitet.<sup>1</sup> Aufgrund der vielversprechenden Ergebnisse wurden weitere Forschungen zu besonderen Fragestellungen, beispielsweise der multifunktionalen Gebäudehülle, in einem Folgeantrag unter dem Titel SmartTES bewilligt.<sup>2</sup> Außerdem waren Teammitglieder aus

---

<sup>1</sup> <http://www.tesenergyfacade.com>

<sup>2</sup> <http://www.smarttes.com>

dem ersten Antrag in einem Call im 7. Rahmenprogramm der EU erfolgreich, der die Industrialisierungspotenziale der energetischen Modernisierung grosser Mehrfamilienhäuser anhand von Demonstrationsprojekten untersucht.<sup>3</sup>

## Herausforderungen der energetischen Modernisierung

Die Herausforderungen der Modernisierung mit vorgefertigten Elementen liegen neben einer Verringerung der Wärmeverluste der Gebäudehülle, in einer Verbesserung der baukonstruktiven Detaillösung, der Senkung des Ressourcenverbrauchs und Optimierung des Bauablaufes von energetischen Sanierungen.

### Ablauf / TES Prozess

Der Schlüssel zu beschleunigtem Bauen im Bestand ist der Vorfertigungsprozess. Einen echten Mehrwert erhält der Bauherr durch den definierten Planungs- und Fertigungsprozess. Durch die Minimierung der Ausführungszeit auf der Baustelle wird der Modernisierungszeitraum wesentlich verkürzt und die Ausführungsqualität wesentlich erhöht. Die vorgefertigten Komponenten werden auf der Baustelle lediglich noch an Ort und Stelle montiert. Die Herstellung der Elemente in kontrollierten Arbeitsumgebungen gewährleistet eine gleichbleibend hohe Qualität und die Zahl der baustellenkritischen Bauteilfugen wird stark minimiert.

Der Prozess beschreibt eine konsistente Struktur entlang der digitalen Fertigungskette:

### Bestandsaufnahme – Digitales Aufmaß – Planung – Vorfertigung – Montage

Die Verantwortlichkeiten aller Interessengruppen sind durch den digitalen Workflow vorgegeben. Die gegenseitigen Abhängigkeiten und Fragestellungen (Architektur, Materialität, Erscheinung, Tragwerksplanung, Brandschutz, Bauphysik) müssen im Hinblick auf den jeweiligen Bestand und Zustand des Modernisierungsobjektes während der Planungsphase gelöst werden.

#### Bestandsaufnahme

Eine lückenlose, präzise Bestandsaufnahme ist ein unerlässliches Instrument für die Fassadenmodernisierung mit vorgefertigten TES Elementen. Bestandspläne sind häufig nicht vorhanden oder entstammen der Baueingabephase des Gebäudes und meist existiert keine Dokumentation des tatsächlich gebauten Bestandes. Die wichtigsten Parameter für die TES EnergyFacade sind neben der Fassadengeometrie, auf die im Anschluss detailliert eingegangen wird, die Lage und Konstruktion der Außenwand, tragender Wände oder Stützen, der Decken, des Sockels und der Traufe. Die Bauteile der bestehenden Gebäudehülle müssen auf ihre thermische Qualität, Schäden und Tragfähigkeit (Auszugsversuche von Ankern) untersucht werden. In öffentlichen Gebäuden ist häufig der Brandschutz aufzuwerten, da viele Bauten der 50er - 70er Jahre fassadenunabhängige Defizite und Nachrüstungsbedarf bei der Rettungswegsituation oder den Brandschutzmaßnahmen in der Gebäudetechnik haben.

#### Digitales Aufmaß

Ein verlässliches digitales Aufmaß verschafft Sicherheit hinsichtlich der Bestandsgeometrie und der erforderlichen Massen für die Realisierung. Als Planungsgrundlage muss die Gebäudegesamtgeometrie mit den Öffnungen aufgenommen werden. TES Elemente sind völlig plan deshalb müssen die Unebenheiten der Fassadenflächen dreidimensional erfasst werden, um einen Ausgleichspalt zwischen Element und unebenem Bestand dimensionieren zu können. In den frühen Phasen eines Projekts sind oft schnelle Aussagen gewünscht und dazu werden verlässliche, wenn auch keine detaillierten Fakten über ein Objekt benötigt. Hier bietet sich die Einzelbildphotogrammetrie als Messmethode an, für die eine Digitalkamera und Auswertesoftware zur Bildentzerrung und -skalierung benötigt wird. Jeder gewünschte Messpunkt kann später zu beliebiger Zeit aus dem einmal errechneten Messbild abgenommen werden, zugleich besteht damit, neben der genauen geometrischen, eine visuelle Dokumentation des Bestandes.

((Grafik 003))

((Grafiktitel 003: Bestandsfassaden werden zu Schablonen für TES Elemente))

((Grafik 004))

((Grafiktitel 004: Notwendige Messpunkte auf der Fassade))

((Grafik 005))

((Grafiktitel 005: Digitales Oberflächenmodell einer Fassadenfläche mit Unebenheiten von -20 bis +30 mm))

---

<sup>3</sup> <http://www.e2rebuild.com>

Verschiedene Methoden sind für das digitale Fassadenaufmaß geeignet.<sup>4</sup> Als robust und hinreichend präzise haben sich vor allem das Tachymeter Aufmaß und der 3D-Laserscan herausgestellt.

Die Umgebungsbedingungen und die Objekte sind in der Regel immer individuell. Besonders wichtige Parameter, für alle Messverfahren, sind Objektentfernung, Genauigkeit, Erfassbarkeit und Anzahl von Messpunkten. Die beiden Verfahren eignen sich sehr gut für die im Fassadenbereich benötigten Entfernungen bis etwa 50 m. Die Genauigkeit der Messgeräte liegt im Bereich um die vier Millimeter und ist damit ausreichend genau für ein Fassadenaufmaß. Beide Messverfahren benötigen einen festen, vibrationsfreien Stand. Alle Messungen müssen deshalb in der Regel vom Boden aus durchgeführt werden. Das hat zur Folge, dass der Bereich der verschatteten Fensterbrüstung extra aufgenommen werden muss. Hierfür genügen in der Regel die Dimensionen eines Fensterrahmens. Die Dimensionen eines Fensterrahmens sind sehr präzise und eignen sich als Referenzmaß für gleiche Fenstertypen. Die Größen der Fensteröffnungen in der Außenwand differiert in Bestandsgebäuden häufig sehr stark und muss einzeln überprüft werden. Die neu einzupassenden Fenster können mittels Kollisionskontrolle im 3D-Modell überwacht werden.

Mit dem Tachymeter lassen sich eindeutige, sichtbare Punkte (diskrete Punkte) auf der Fassade dreidimensional aufnehmen. Das Tachymeter wird dabei für jeden Punkt individuell gesteuert. Bei der Aufnahme ist eine Strukturierung der Daten nach Gebäudekanten und Fassadenöffnungen empfehlenswert, um die Nachbearbeitung und Orientierung im digitalen Modell zu vereinfachen. Aus den aufgenommenen Punktdaten lassen sich einfache, dreidimensionale Drahtmodelle der Fassaden erstellen. Die Anzahl der gemessenen Punkte bleibt niedrig, da damit der Aufwand für Aufnahme und Auswertung überschaubar wird. Die Unebenheiten werden beim Tachymeter-Aufmaß durch ein grobes Messraster mit maximal 500 mm Breite aufgenommen. Das Verfahren ist damit sehr gut für Bauten mit Lochfassaden und einfacher Geometrie geeignet.

Der 3D-Laserscanner kann bei komplexeren Gebäudehüllen mit Versprünge oder vielen Details seine Stärken ausspielen. Aktuelle Laserscanner erfassen über eine Million Punkte pro Sekunde in hoher Präzision. Der Laserpuls tastet dabei die Fassadenoberfläche in einem gewählten Raster von einigen Millimetern bis zu mehreren Zentimetern ab. Im Unterschied zum Tachymeter kann er keine diskreten Punkte messen. Das Ergebnis besteht aus einer Punktwolke oder auch 3D-Bild mit hunderttausenden oder mehreren Millionen Punkten. Aufgrund der Datendichte sowie der Möglichkeit den Scan zusammen mit Bildern aufzunehmen und die Einzelpunkte mit den Bildpixeln im Mappingverfahren zu verbinden, liegt ein sehr differenziertes Fassadenabbild mit hohem Informationsgehalt vor. Zunehmend sind CAD-Programme in der Lage Punktwolken zu verarbeiten. Die TES Elemente lassen sich dann auf einem 3D-Bild der Bestandsaufnahme in Lage und Größe anpassen. Das 3D-Bild fungiert hier im besten Sinne als Schablone. Durch diesen, Reverse Engineering genannten, Prozess sinkt die Nachbearbeitungszeit im Verhältnis zu einer unabhängigen Auswertung der Punktwolke mit einem abgeleitetem 3D-Drahtmodell. Die Auswertung der Punktwolke hinsichtlich der Fassadenunebenheit ist hier weit präziser als bei der Tachymetrie.

Das Aufmaß einer Fassade erstellt in der Regel ein externer Dienstleister und die Auswertung übernimmt der Planer im Büro. Die Wahl der geeigneten Aufmaßmethode ist die Aufgabe des Vermessungsingenieurs, um die erforderlichen Daten und Genauigkeiten liefern zu können. Das Tachymeteraufmaß benötigt mehr Zeit und einen hohen Kenntnisstand der benötigten Planungsparameter vom Vermessungsingenieur. Beim 3D-Laserscan sind diese Problematiken weniger akut, hier wird die hohe Datenmenge in kurzer Zeit aufgenommen und gewährleistet eine umfassende, geometrische Dokumentation der Fassade.

Die geforderte Präzision steht in direktem Zusammenhang mit der Wirtschaftlichkeit. Den Zusammenhang zwischen den realen Punkten und den gemessenen Werten beschreibt man mit Genauigkeit oder Toleranz. Es wird eine Messgenauigkeit von  $\pm 5$  bis  $\pm 8$  mm empfohlen. Die Ergebnisse der Auswertung sollten innerhalb der Genauigkeit von  $\pm 10$  mm liegen. Die Fertigungstoleranzen im modernen Holzbau liegen im Millimeterbereich, bei Hochbauten gelten allgemein die Anforderungen nach DIN 18202.<sup>5,6</sup> Die Erfahrungswerte aus dem Forschungsprojekt zeigen, dass sich Fassadenaufmäße im Preisbereich von 3 bis 5 Euro pro Quadratmeter

---

<sup>4</sup> Henke K., Schaffrath J., Winter S.: Maßgefertigte Vakuum-Dämmelemente für das Bauen im Bestand. in: Ingenieurvermessung 10 - Beiträge zum 16. Internationalen Ingenieurvermessungskurs München, 2010, Wunderlich T. A. (editor), Wichmann Verlag, Berlin, 2010.

<sup>5</sup> DIN 18202 – Toleranzen im Hochbau, Beuth Verlag, Berlin.

<sup>6</sup> DIN 68100 – Toleranzsysteme für Holzbe- und verarbeitung, Beuth Verlag, Berlin.

bewegen, abhängig von der Komplexität der Fassade.

Der reibungslose Ablauf – ein herkömmlicher Bauprozess erweitert um Bestandsaufnahme und Aufmaß – wird in Herstellung und Ausführung unterteilt. Die Voraussetzung für die komplette Herstellung im Werk sind umfassende Planung und Modellierung der Bauteile auf Basis des digitalen Gebäudemodells des Bestandes. Für die Ausführung werden weiterhin die digitalen Geometriedaten zur exakten Positionierung benötigt. Am digitalen Gebäudemodell lassen sich zudem Varianten des Montageablaufs, der Einsatz von Hebezeugen, die Logistik und Lagerung simulieren. Im Ergebnis bietet die Methode dem Bauherrn einen systematisierten Workflow und einen ganzheitlichen Planungsprozess um Kostensteigerungen oder Verzögerungen von vornherein auszuschließen.

## Konzept und Bestandteile von TES EnergyFacade

Die TES Elemente werden fertig zusammengebaut auf die Baustelle geliefert. Sie enthalten neben dem Dämmsystem zugleich die Fenster, die Fassadenbekleidung und Technikkomponenten können integriert sein. Je höher der Vorfertigungsgrad eines Elements ist, umso schneller ist der Montagefortschritt auf der Baustelle.

Das TES Element besteht aus wenigen einfachen Schichten, mit unterschiedlichen funktionalen Aufgaben. Die Basis des selbsttragenden Elements ist eine Holzrahmenkonstruktion aus Schwelle, Rähm und Ständern, deren Gefache gedämmt werden. Die Ständertiefe wird an die benötigte Dämmstärke angepasst. Die Rückseite, die gleichzeitig der dem Bestand zugewandten Seite entspricht, wird mit einer dünnen Beplankung geschlossen, um die Dämmung im Werk zu ermöglichen. Auf die Vorderseite wird eine funktionale, winddichte Beplankung aufgebracht, die auf die Anforderungen der Fassadenbekleidungsebene abgestimmt ist (z.B. Putzträger, zweite wasserführende Ebene, etc.). Als letzte Schicht auf der Elementvorderseite befindet sich die Fassadenoberfläche. Hier unterscheidet man zwischen richtungslosen und gerichteten Bekleidungssystemen. Die ungerichteten Bekleidungen wie Putzflächen können nur teilvorgefertigt werden und müssen auf der Baustelle fertiggestellt werden, um Fugenlosigkeit zu erreichen. Die zweidimensionalen Systeme wie Schalungen oder Tafeln, können im Werk vorgefertigt und müssen lediglich an den Stoßfugen vor Ort geschlossen werden.

Im Bestand müssen die neuen Fassadenelementen dem meist unregelmäßigen Untergrund angepasst werden. Die bestehenden Außenwände oder Tragelemente wie Deckenvorderkanten weisen Unebenheiten auf, die nicht durch die ebenen TES Elemente aufgefangen werden können. Als Anpassungsebene wird die Ausgleichsschicht zwischen dem Bestand und dem TES Element eingeführt. Versuche im Forschungsprojekt haben gezeigt, dass auf den Elementen befestigte, weiche Dämmungen im Bereich von Stößen und Anschlussfugen benötigt werden. Die großen Flächen hinter den Elementen lassen sich zum Beispiel mit Zelluloseeinblasdämmung sehr effizient füllen. Die Zugänglichkeit über die Fensterleibungen ist für den Ausblasvorgang ausreichend.

((Grafik 007))

((Grafiktitel 007: Schichtaufbau eines TES Elements vor einer Bestandswand))

### TES Befestigung

Die Befestigung der Elemente ist primär vom Bestand, dessen Tragsystem und den vorhandenen Lastreserven abhängig. In den häufigsten Fällen werden die Elemente geschossweise unterteilt. Sie können dann an die Bestandsdecken über einen vormontierten und exakt justierten, umlaufenden Streichbalken oder einzelne Stahlwinkel angebunden werden. Die Befestigungen sind, wie im Holzbau üblich, verdeckt. Stahlteile werden in die Holzkonstruktion eingelassen und stellen somit keine Wärmebrücke dar.

((Grafik 008))

((Grafiktitel 008: Ausblasen der Ausgleichsschicht zwischen Bestand und Elementrückseite))

((Grafik 009))

((Grafiktitel 009: Befestigungsmöglichkeiten von TES))

### Anschlüsse an den Bestand

Die Anschlüsse an den Bestand - besonders im Bereich von Fensteröffnungen - sind bei der TES Methode Punkte, die besonderer Aufmerksamkeit bedürfen. Die Übergänge von der vorderen Beplankungsebene zu den Fensterrahmen müssen winddicht ausgeführt werden. Noch wichtiger ist die luftdichte Verbindung von bestehender Fensterleibung und neuer Leibung im TES Element beziehungsweise mit dem bereits vormontierten Fenster. Die Bestandswand stellt die luftdichte Ebene hinter dem Element dar, gegebenenfalls müssen dort vorhandene Risse und Schäden dauerhaft beseitigt werden. Im Übergang Wand zu Element muss ein luftdichter

Anschluss nach der Montage hergestellt werden, damit die Anpassungsschicht und die Dämmebene nicht mit dem Raumklima in Verbindung kommen und dauerhaft vor Konvektion und Feuchteintrag geschützt sind. Dies gilt auch für den Übergang von TES Element in die Sockelzone, die Traufe und die seitlichen Abschlüsse.

((Grafik 010))

((Grafiktitel 010: Fensteranschlüsse im TES System))

### **Brandschutz**

Die TES EnergyFacade, definiert als selbsttragende Fassadenelemente vor der tragenden Bestandskonstruktion, muss die Anforderung gemäß der jeweiligen Landesbauordnung erfüllen. Bis Gebäudeklasse 3 gelten nach Musterbauordnung keine Einschränkungen für Außenwandbauteile. Für die Gebäudeklasse 4 und 5 gilt die Bauteilanforderung W30-B und dazu die Anforderung B1 in der Fassade. Bei der Betrachtung des TES Elementes muss zwischen dem Kern, d.h. der beplankten Holzrahmenkonstruktion, und der Fassadenoberfläche als Bekleidungsschicht unterschieden werden. Um die genannte Bauteilanforderung des Kernelements zu gewährleisten muss die Elementvorderseite mit einer schützenden Beplankung zur Einhaltung von W30-B versehen werden (z.B. 12,5 mm Gipsfaserplatte). Des Weiteren müssen die Anschlüsse insbesondere der Fensteröffnungen an den Bestand in der Qualität des Außenwandbauteils ausgeführt sein. Zur Begrenzung der Brandausbreitung ist die Abschottung der Elemente am Geschosstoß und den Vertikalstößen notwendig.

Auf die Fassadenbekleidung soll nur insofern eingegangen werden, als dass auch sie das Schutzziel der Begrenzung der Brandausbreitung bis maximal zwei Geschosse über dem Initialbrandbereich einhalten muss. Zur Ausführung der Fassaden in Holz liegen Empfehlungen als Ergebnisse aus zahlreichen Versuchen im abgeschlossenen Forschungsprojekt „Holzbau der Zukunft – TP 02 Brandsicherheit im mehrgeschossigen Holzbau“ vor.<sup>7</sup> Mit Hilfe der dort aufgeführten Konstruktionsbeispiele können die Anforderungen des Schutzziels erfüllt werden.

((Grafik 011))

((Grafiktitel 011: Brandschutzabschottung in TES Elementen und Anschlüssen))

## **Gebäudemodernisierung im Lebenszyklus – ökologische und ökonomische Vorteile**

Die baulichen und konstruktiven Systeme im Bereich der Gebäudehülle sowie die Versorgungssysteme von 50er - 70er Jahre Bauten haben die Grenze ihre Nutzungsdauer erreicht oder überschritten. Durch eine energetische Modernisierung lässt sich die technische Nutzungsdauer dieser Bauten jedoch ohne weiteres verlängern.

### **Modernisierung – die 2. Chance der Architektur**

Weitere Themen wie die städtebaulichen und funktionalen Probleme dieser Bauten sind in die Überlegungen eingeflossen, wurden jedoch nicht vertieft untersucht. Die ökonomischen Vorteile liegen in einer Ersparnis der Abbruch- und Entsorgungskosten; des Wegfalls von Übergangszeiten, Zwischenmieten, Mietausfällen; der Verbesserung der Wohnsituation durch ein attraktiveres Erscheinungsbild und der Erweiterungsmöglichkeiten im gleichen, ökologischen Bausystem. Insgesamt ist die Aufgabenstellung immer sehr vielschichtig und erfordert in jedem Einzelfall eine intensive und individuelle Untersuchung.

Neben den funktional-technischen Merkmalen muss die Fassade im Besonderen architektonische Qualität und die Möglichkeit zu gestalterischer Freiheit bieten. Das breite Spektrum an Bekleidungsmaterialien erlaubt dem Bauherrn eine zeitgemäße Fassadengestaltung und die Kombination unterschiedlicher Materialien; bei gleichzeitiger Verwendung eines einheitlichen konstruktiven Systems mit kontinuierlichen Dämmeigenschaften.

### **Ökologische Qualität - Bausystem aus nachwachsenden Ressourcen**

Die Weiternutzung vorhandener Bausubstanz aus den 50er bis 70er Jahren ist in den meisten Fällen ein wichtiger Beitrag zur Schonung von Ressourcen. Die Restnutzungsdauer der tragenden Bauteile, wie Decken, Wände und Stützen ist meist mindestens so hoch wie die bisherige Lebensdauer.<sup>8</sup> Dadurch lohnt sich eine Verbesserung der Gebäudehülle auf den heutigen energetischen Standard. Damit der weitere Betrieb kalkulierbar bleibt und Unterhalt, Instandsetzung nicht zu Risiken bereits vor Ende der verbleibenden Nutzungsdauer von 50 bis 60

---

<sup>7</sup> Winter S., Merk M.: Teilprojekt 02 - Brandsicherheit im mehrgeschossigen Holzbau, in: Holzbau der Zukunft, München, 2009.

<sup>8</sup> <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/nutzungsdauern-von-bauteilen.html>

Jahren führen, ist die Qualität und Lebensdauer der TES Elemente von essentieller Bedeutung. Holzrahmenelemente wie die TES Elemente sind mit Lebensdauern von mindestens 80 Jahren eingestuft und liegen über diesem Zeitfenster. Die Risiken für Rückbau und Entsorgung sind gering, da ein natürlicher Rohstoff vorliegt, der auf vielfältige Art und Weise wiederverwertet werden kann.

Jede Bauaktivität ist für den Verbrauch zusätzlicher Ressourcen in Form von Materialien und Energie verantwortlich und verursacht dadurch zusätzliche Emissionen. Ein möglicher Lösungsansatz ist daher die Verwendung von nachhaltigen und ökologischen Modernisierungsmethoden, die weitgehend auf nachwachsenden Rohstoffen basieren. Die Wertschöpfungskette entlang der Nutzungskaskade von Holz aktiviert sein großes CO<sub>2</sub> Absorptionspotential und gleichzeitig ist Holz der einzige nachwachsende Baustoff.<sup>9</sup>

## Praxisbeispiel der Schulmodernisierung in Buchloe

Exemplarisch für die Anwendung der TES EnergyFacade wird das Beispiel der Sanierung der Realschule Buchloe vorgestellt.

Das Marktoberdorfer Architekturbüro e3 Architekten war mit der Generalsanierung des Schulgebäudes aus dem Jahr 1980 betraut. Schwerpunkt der Planungsaufgabe war eine wesentliche Steigerung der Energieeffizienz. Die Schule hatte einen Primärenergiebedarf von 125 kWh/m<sup>2</sup>a.

Der Jahresheizwärmebedarf (Planung) soll zukünftig bei Q/A=16 kWh/m<sup>2</sup>a liegen und erreicht damit annähernd Passivhausstandard. Die Hauptnutzfläche beträgt 8903 m<sup>2</sup> bei einem A/V-Verhältnis von 0,32 1/m. Die berechnete Kühllast liegt zukünftig bei 5 W/m<sup>2</sup>. In Zukunft hat die Schule einen Primärenergiebedarf von 34 kWh/m<sup>2</sup>a.

Energiekonzept:

- Beseitigung von Mängeln (Wärmebrücken, ungedämmte Fenster etc.)
- Verringerung des Wärmetransmissionsgrades der geschlossenen Fassadenbauteile durch Dämmung
- Verbesserung der Fenster
- Nutzung der Solarstrahlung durch  $g \geq 50\%$  der Verglasung
- Das Dach wurde bereits vor der Generalsanierung erneuert
- Die Bodenplatte kann nicht gedämmt werden, was häufig ein Hauptgrund für das knappe Verfehlen des Passivhauszielwertes für den Heizwärmebedarf darstellt.

### Bauablauf

Abschnittsweise Umbauten mit Eingriffen in die Gebäudehülle und in wesentliche Komponenten der Haustechnik sind im laufenden Betrieb nur schwierig zu realisieren.

Die Abbrucharbeiten an den bestehenden Stahlbetonbalkonen begannen sechs Wochen vor den Sommerferien. Mit Ferienbeginn erfolgte die Lieferung der vorgefertigten TES Elemente mit eingebauten Fenstern. Die Elementgrößen betragen bis zu 8,8 m x 3,5 m, bei einem Gesamtgewicht inklusive Verglasung bis zu 2,8 Tonnen. Vor der bestehenden Brüstung aus Stahlbeton wurde eine weiche Dämmschicht aus Glasfasermatten als Ausgleichsschicht befestigt. Das Versetzen der Elemente erfolgte mit einem Baukran. Die Befestigung der Elemente wurde vom Gerüst aus vorgenommen. Die Taktung erfolgte immer fassadenweise, mit einer taktweisen Demontage der alten Fenster und anschließendem Abschluß der Gebäudehülle durch neue Elemente. Nachts und am Wochenende war die Fassade somit immer geschlossen und das Gebäude samt Inventar gesichert.

### Baustoffe und Konstruktion

Die neuen Fassadenelemente basieren auf einer beidseitig beplankten, mineralwollgedämmten Holztafelbauweise deren Ständer aus Brettschichtholz bestehen. Die Höhe der Stiele bestimmt sich aus den erforderlichen Dämmstärken für die Außenwand. Als Außenhaut der Elemente ist in Buchloe eine Holzschalung aus Lärchenholz ausgeführt.

---

<sup>9</sup> Wegener G., et al: Bauen mit Holz = aktiver Klimaschutz, TUM Holzforschung München, München, 2010.

Fassadenaufbau RS Buchloe von innen nach außen	
15 mm	Innenbeplankung OSB Platte
200 mm	Pfosten BS-Holz, Sichtqualität im Fensterbereich
100 mm	Futterholz vertikal / horizontal S10 (C24) 60/100 mm als Konstruktionsaufdopplung für die Einbringung der Dämmung im Brüstungs- und Sturzbereich
300 mm	Mineralwolle WLG 0,035 W/m <sup>2</sup> K (Baustoffklasse B1)
12,5 mm	Gipsfaserplatte als Außenbeplankung
	diffusionsoffene Fassadenbahn als winddichte Ebene (UV-beständig)
40 mm	Unterkonstruktion Fassadenschalung, Holzlattung
30 mm	Außenbekleidung Lärchen-Trapezschalung
Aufbau transparente Fassadenbauteile	
	Verglasung: 3-fach-Verglasung, 3 x 4 mm. U-Werte: Ug = 0,6 bis 0,7 W/m <sup>2</sup> K, g-wert: ≥ 50 %, TL-Wert ≥ 69 %
	Fassadenkonstruktion in Pfosten-Riegel-Bauweise, Aluaufsatzprofil auf BS-Holz Konstruktion, Öffnungsflügel Holz-Alu-Rahmen, alle Fensterbauteile PH-zertifiziert, Uf < 0,7 W/m <sup>2</sup> K
Sonnenschutz: vertikal verfahrbare Alulamellen mit Führungsschienen, Lichtlenklamellen im oberen Drittel, Anbringung hinter der Fassadenschalung	
Fensterbleche: verstärkte, 200mm auskragende Blechkonstruktion als Brandschott in Bekleidungsebene	

Anschrift der Autoren/ Firma für „Weitere Informationen“:

TU München, Fachgebiet Holzbau, Dipl.-Ing. Frank Lattke, Arcisstraße 21, D-80333 München, Germany.

Tel: 0049 (0)89 289-25492, Frank.Lattke@lrz.tum.de, <http://www.holz-tum.de>

TU München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter, Arcisstraße 21, D-80333 München, Germany. Tel: 0049 (0)89 289-22416, winter@bv.tum.de, <http://www.hb.bv.tum.de>

TU München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, Dipl.-Ing. Stephan Ott, Arcisstraße 21, D-80333 München, Germany. Tel: 0049 (0)89 289-22081, ott@bv.tum.de, <http://www.hb.bv.tum.de>

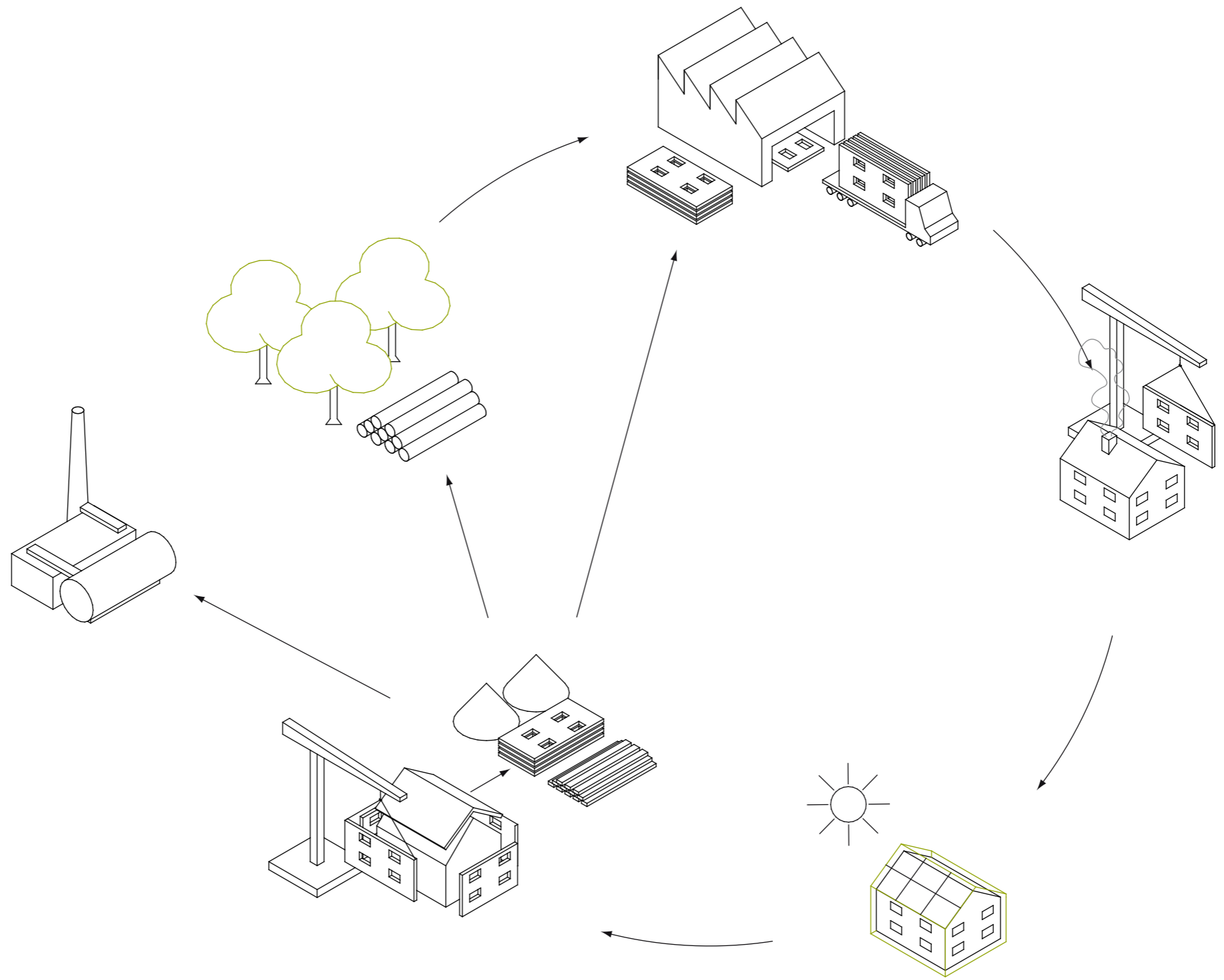
Quellen zum Text (Literatur): siehe Fußnoten

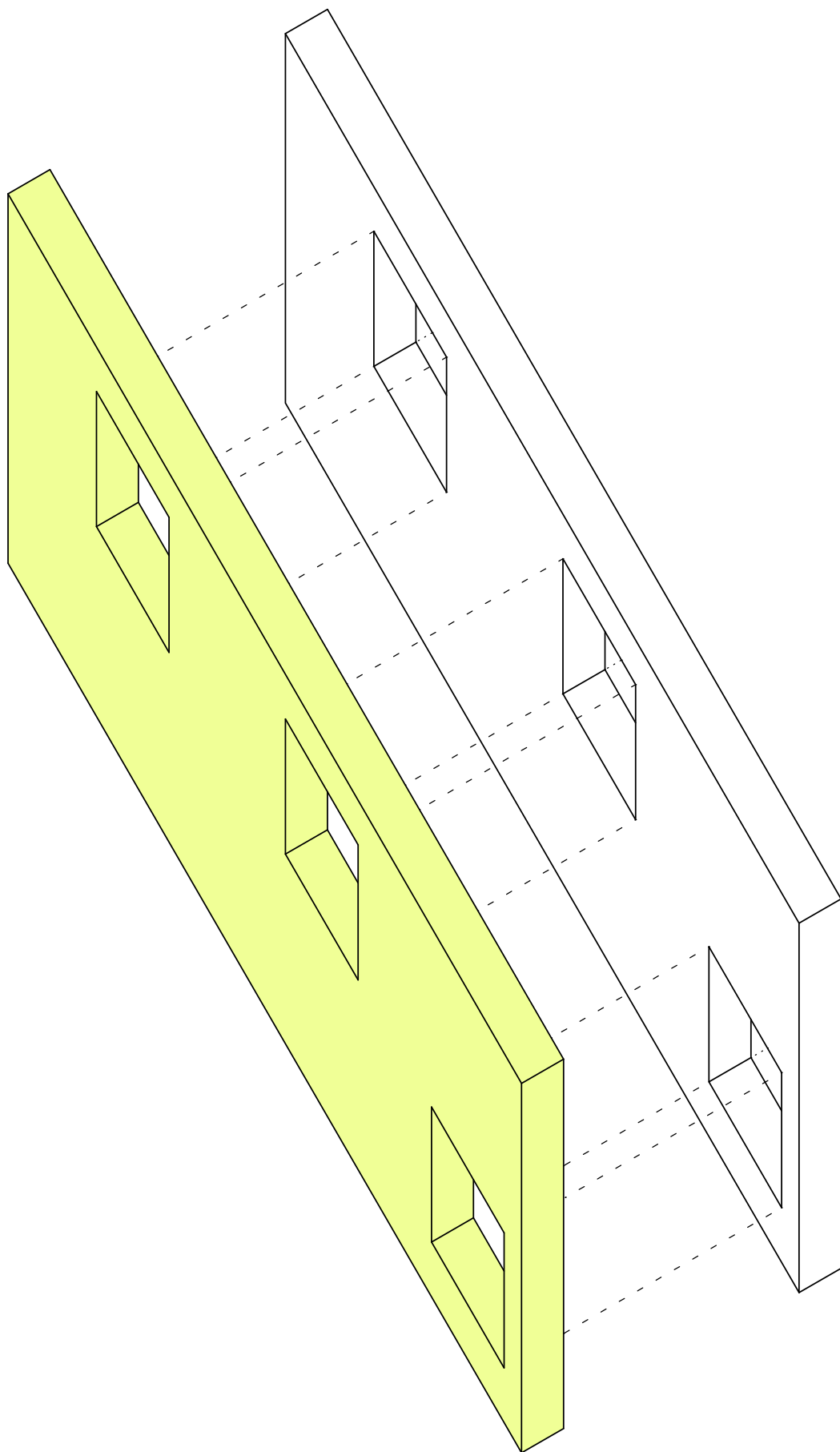
Bildunterschriften: siehe Text

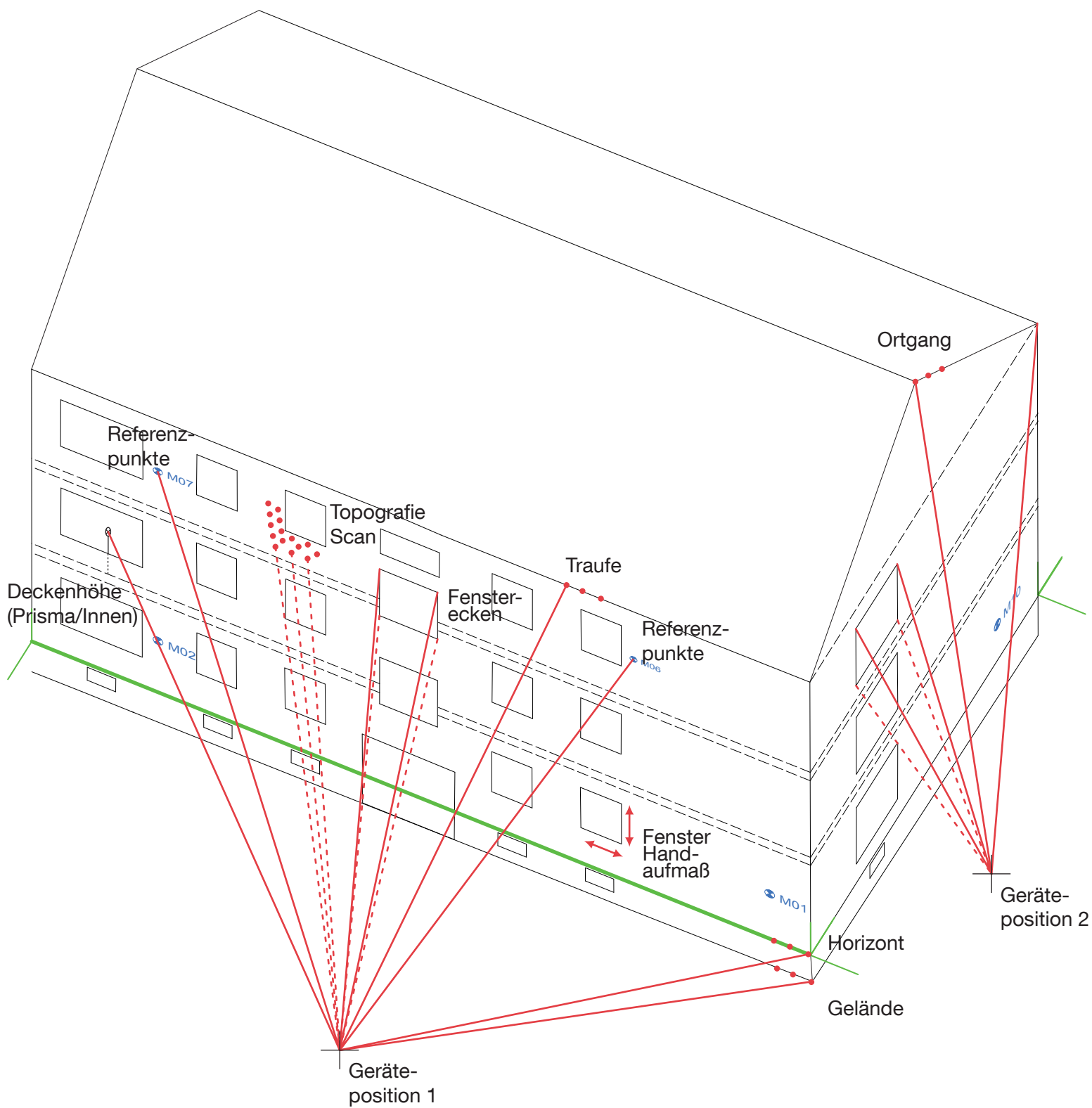
Bildnachweise: (alle Bild- und Zeichnungsrechte bei der TUM)



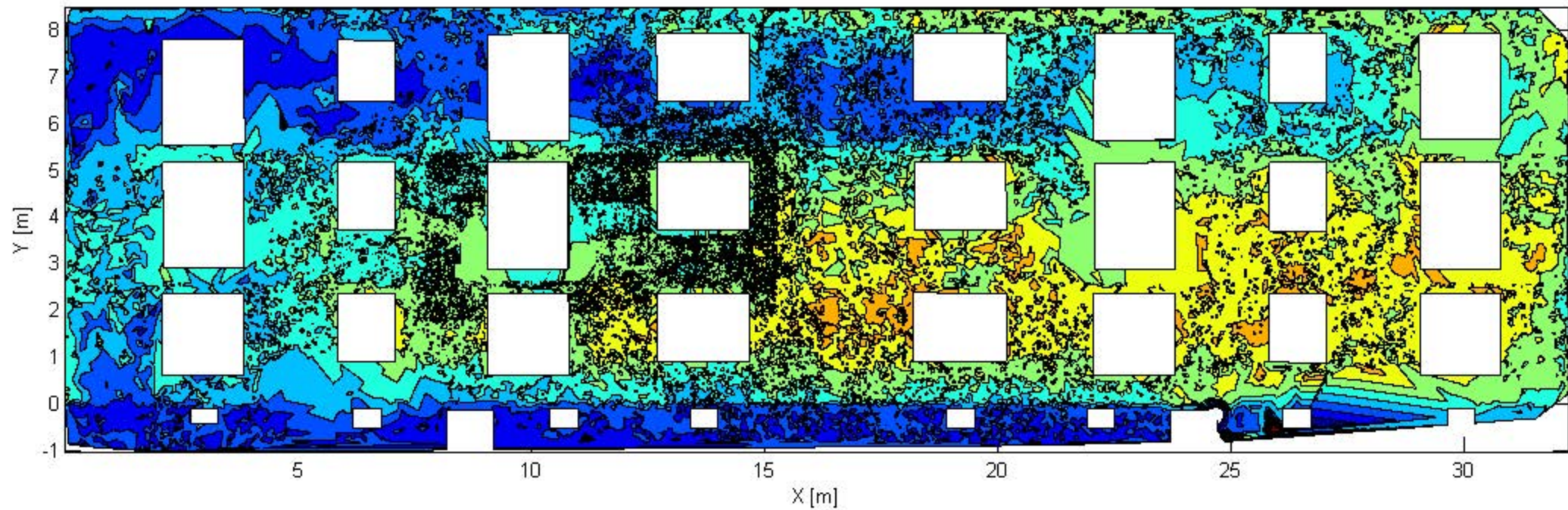




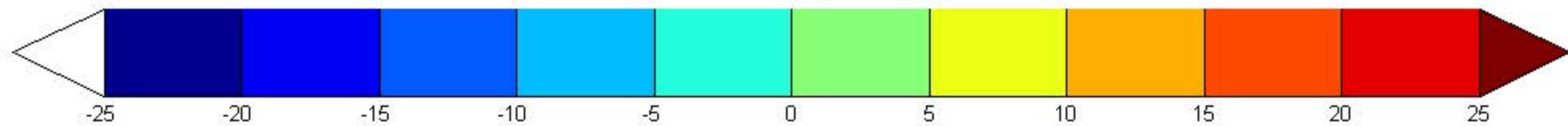


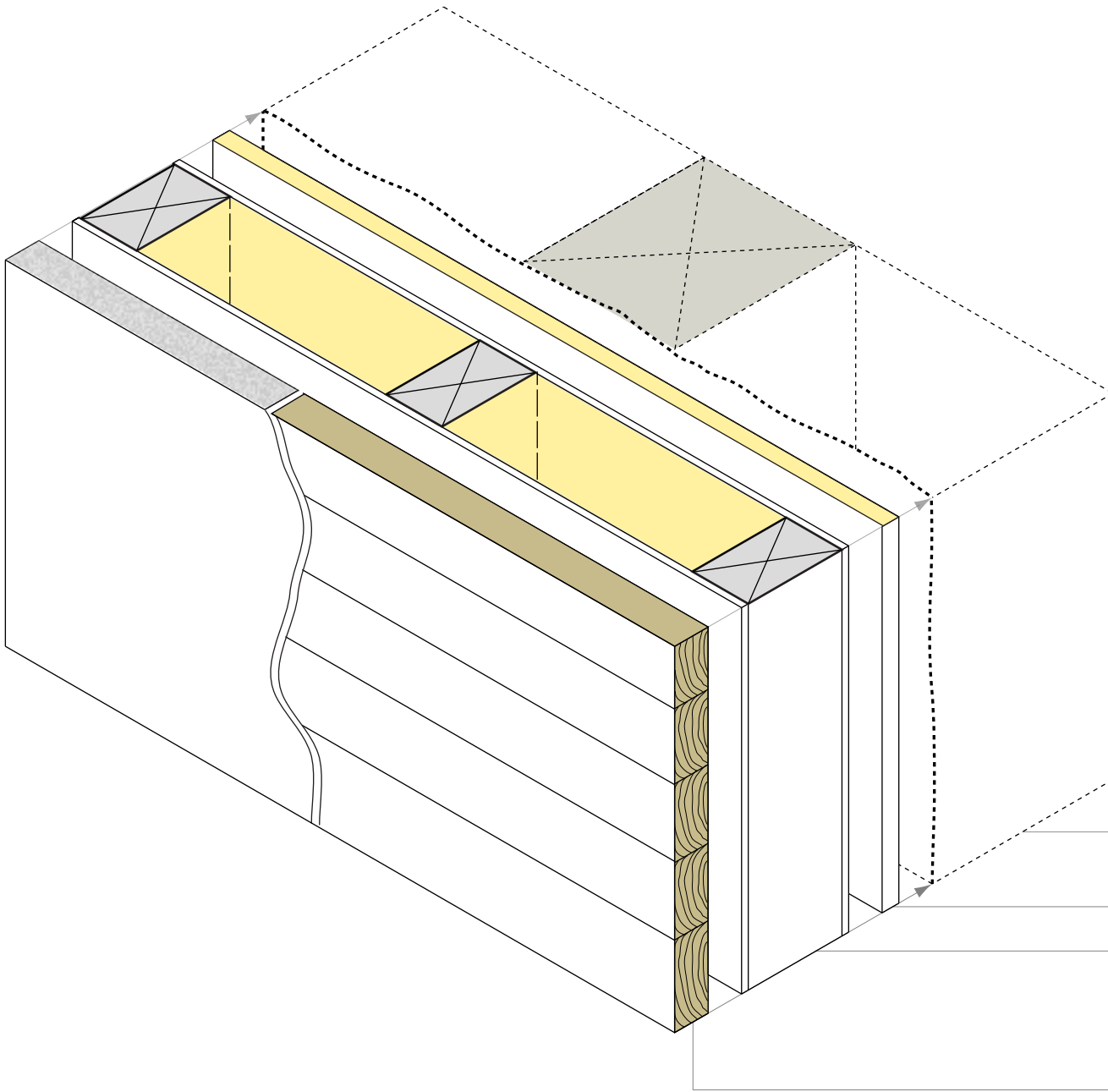


Deviation to Reference Plane



Deviation [mm]





- a) bestehende Außenwand
- b) Ausgleichsschicht
- c) TES Grundelement  
Beplankung Vorder- und Rückseite  
Holzrahmenkonstruktion  
Wärmedämmung
- d) Fassadenoberfläche  
Putz, Schalung etc.

