

Think Earth

-

Lehm als Brücke von
der Tradition in die
Zukunft



Uwe Teutsch
Institut für Bauingenieurwesen
Hochschule für Technik & Architektur Luzern

HSLU

Lehmbau Dadestal Marokko

Tradition

Erkenntnisse und Projektion in die Zukunft für den Lehm-
bau

Innosuisse Flagship Think Earth





Altstadt von Sanaa, Jemen
2350 m.ü.M, 1.7 Mio
Einwohner



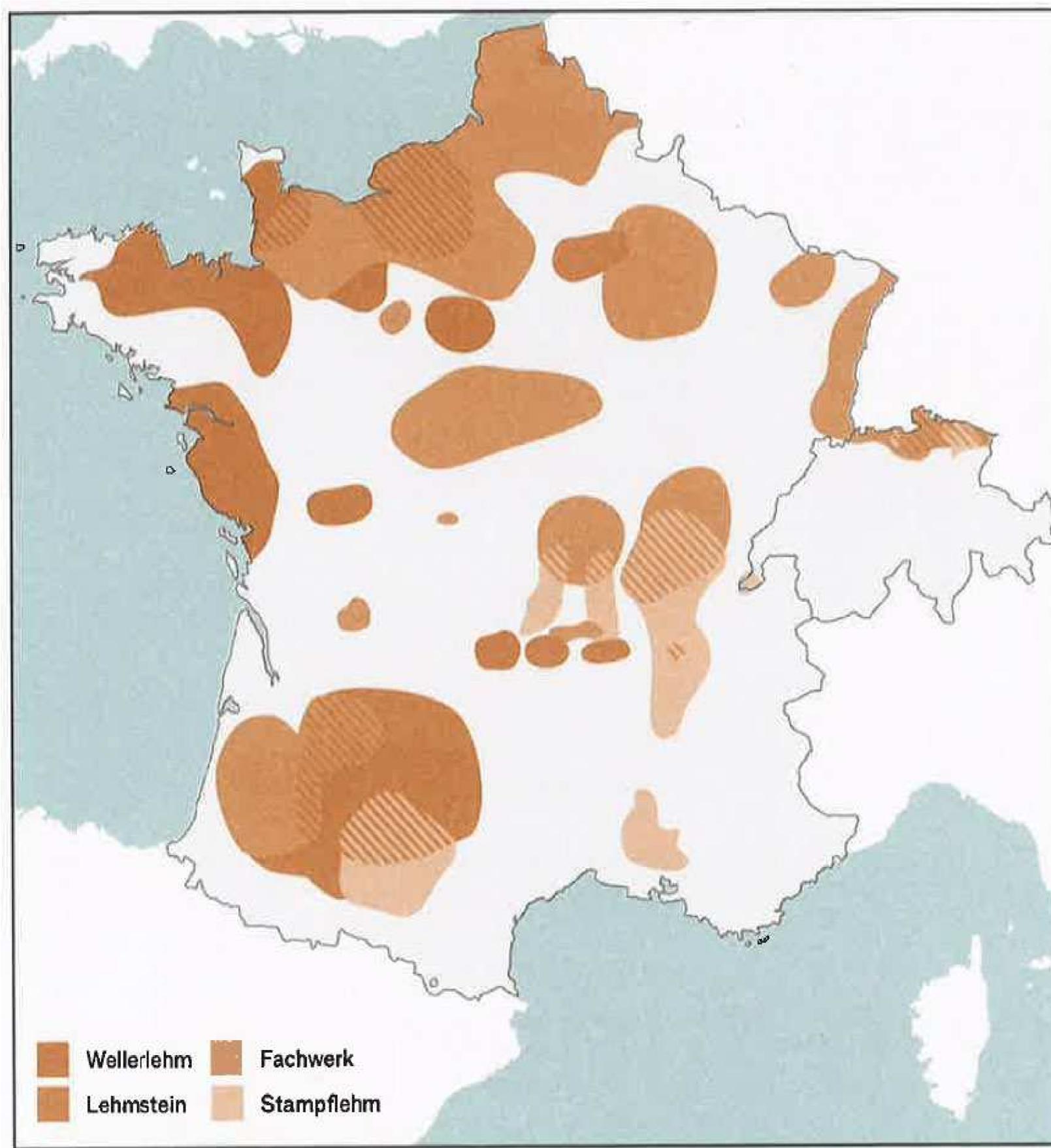
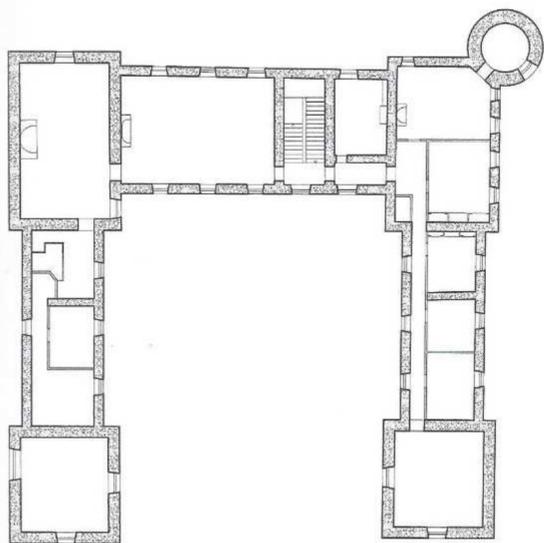


Bild der Lehm-Bauweisen in Frankreich und der Schweiz, Quelle: Pisé-Stampflehm; Hrsg. R. Boltshauser



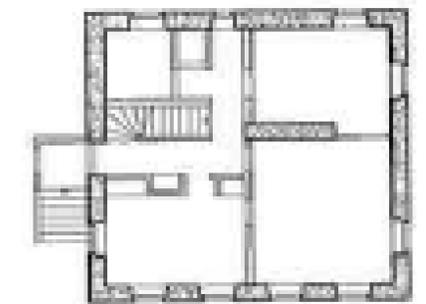
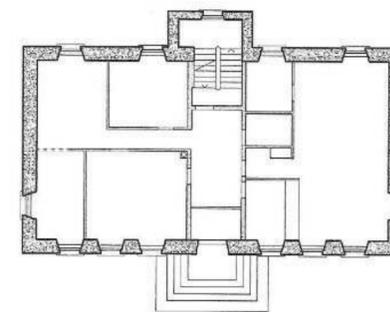
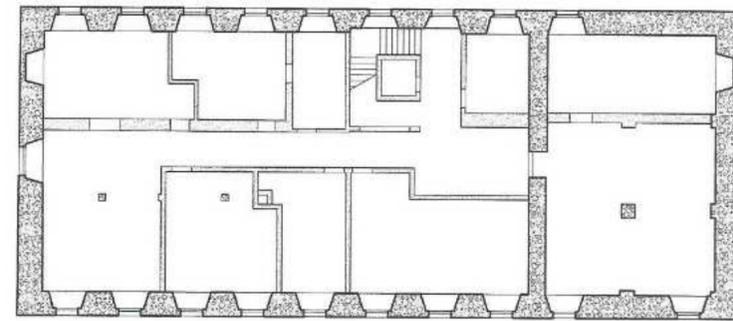
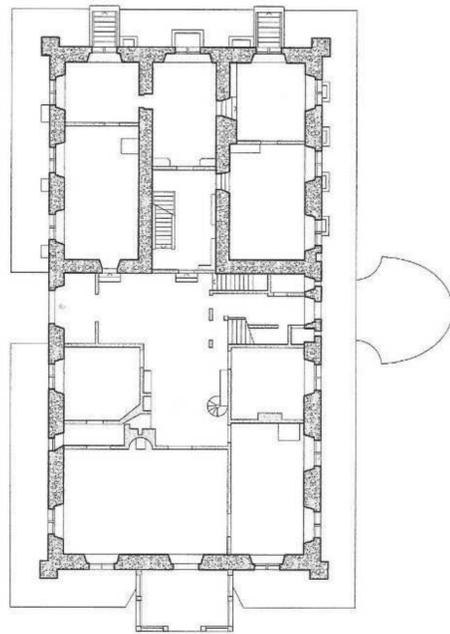
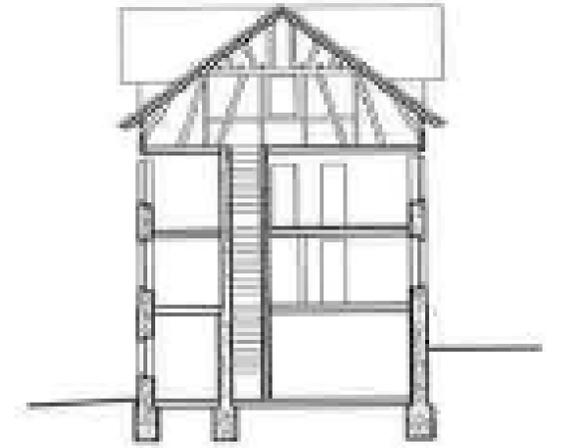
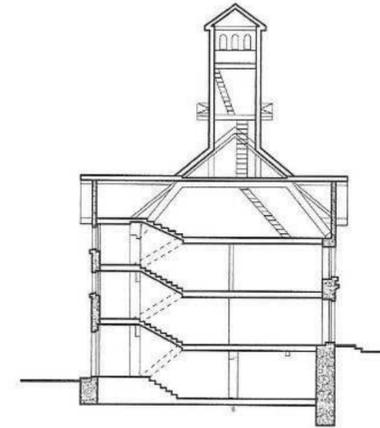
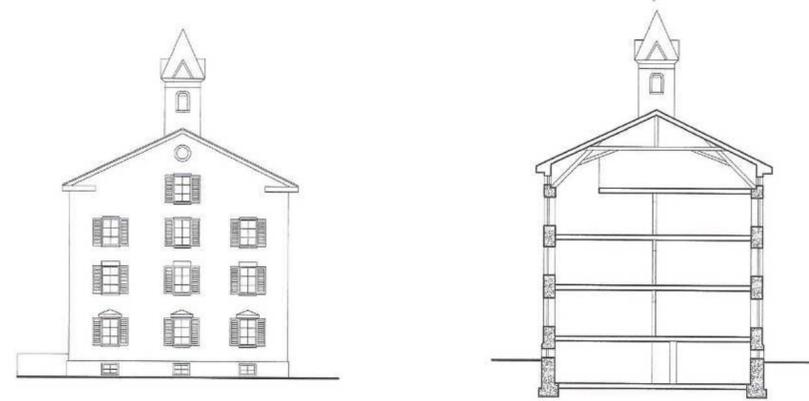
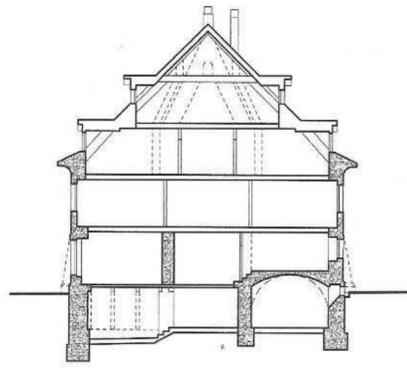
Château de Vaugirard, Region Rhone-Alpen, 17.Jahr.



Landwirtschaftsensemble «Grange Neuve»;
Francheleins; Region Rhone-Alpen, vermutlich Ende
18.Jahr.



Stall; Saint-Didier-d`Aussiat;
Region Rhone-Alpen, circa 1844



Kaufhaus, Hauptwil 1667, Wände bis 1. OG Stampflehm, dann Riegelbau, verputzt, heute Wohnhausnutzung

Fabrikgebäude Textilfabrikant Heitz, Münchwilen, 1860 in Stampflehm, verputzt

Schulhaus, Thundorf, 1843, Wände in Stampflehm verputzt, heute Gemeindeverwaltung

Wohnhaus Staub, Wittenbach, 1868 Wände in Stampflehm verputzt



Erkenntnisse aus traditionellem Lehmbau

- Lehmbau ist kein «Arme Leute» Baumaterial und hat auch eine Tradition in der Schweiz
 - Dauerhaftigkeit möglich unter Beachtung der Materialeigenschaften
- Lehm war stets eine lokal verfügbare, günstige Ressource mit lokaler Handwerkerschaft
 - Lehmbau ist eine arbeitsintensive Bauweise
- Lehmbau ist nach der Industrialisierung verschwunden



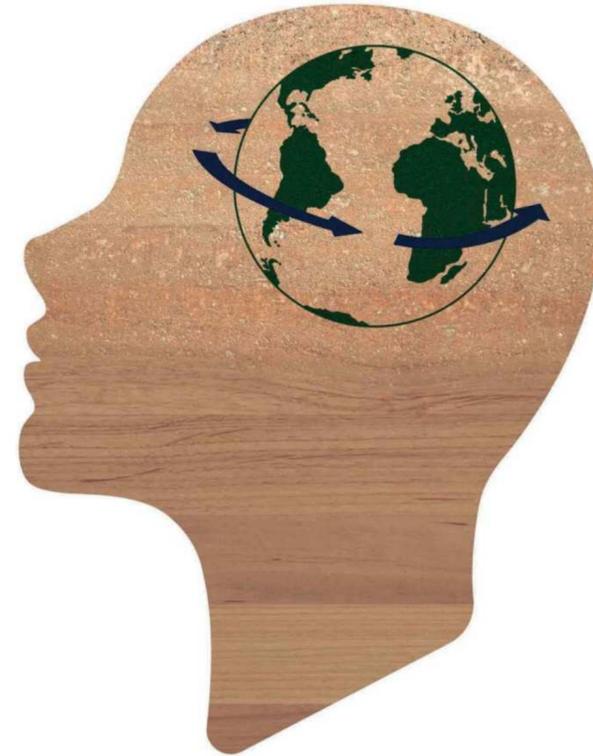
Aus der Tradition in die Zukunft

- lokale und industrielle Produktion von zuverlässiger Qualität des Baumaterials Lehm
- automatisierte Herstellung/Produktion und Fertigteilbauweise von Lehmbauteilen
- Lehm nach seinen Stärken einsetzen und Konstruktive Regeln entwickeln
- Trennbarkeit der Schichten/Materialien und der Verbindungen von Tragwerkselementen
(Rückbau und Recycling/Re-Use mitdenken)
- Prozesse zur Zirkularität des Baustoffes Lehm aufzeigen
- Dokumentationen und Normen

Innosuisse Flagship (2024-2029) Regeneratives Bauen «Think Earth»



- **Lehm als industriellen Baustoff entwickeln**
- **Mechanische Eigenschaften des Baustoffes Lehm ermitteln**
- **Automatisierung und Fertigteilbauweise im Lehmbau**



- **Optimierung Recycling und Wiederverwendungsrate von Holz**
- **Auf- und Abbau von Tragkonstruktion**



- **Holz-Lehm-Hybridbau entwickeln**
 - => **thermische Masse des Lehms nutzen**
 - => **Raumbildung und Raumkonditionierung durch Lehm**
 - => **Einsparung von Gebäudetechnik**



Teilprojekt 1: Erdbasierte Baustoffe >



Teilprojekt 2: Zusatzstoffe zur Schwindreduzierung >



Teilprojekt 3: Produktion und Trocknung Gusslehmfertigteile >



Teilprojekt 4: Produktion und Trocknung Stampflehmfertigteile >



Teilprojekt 6: Digitale IDs für regenerative Materialien >

Erkundung, Gewinnung, Klassifizierung

Aufbereitung, Formgebung, Trocknung

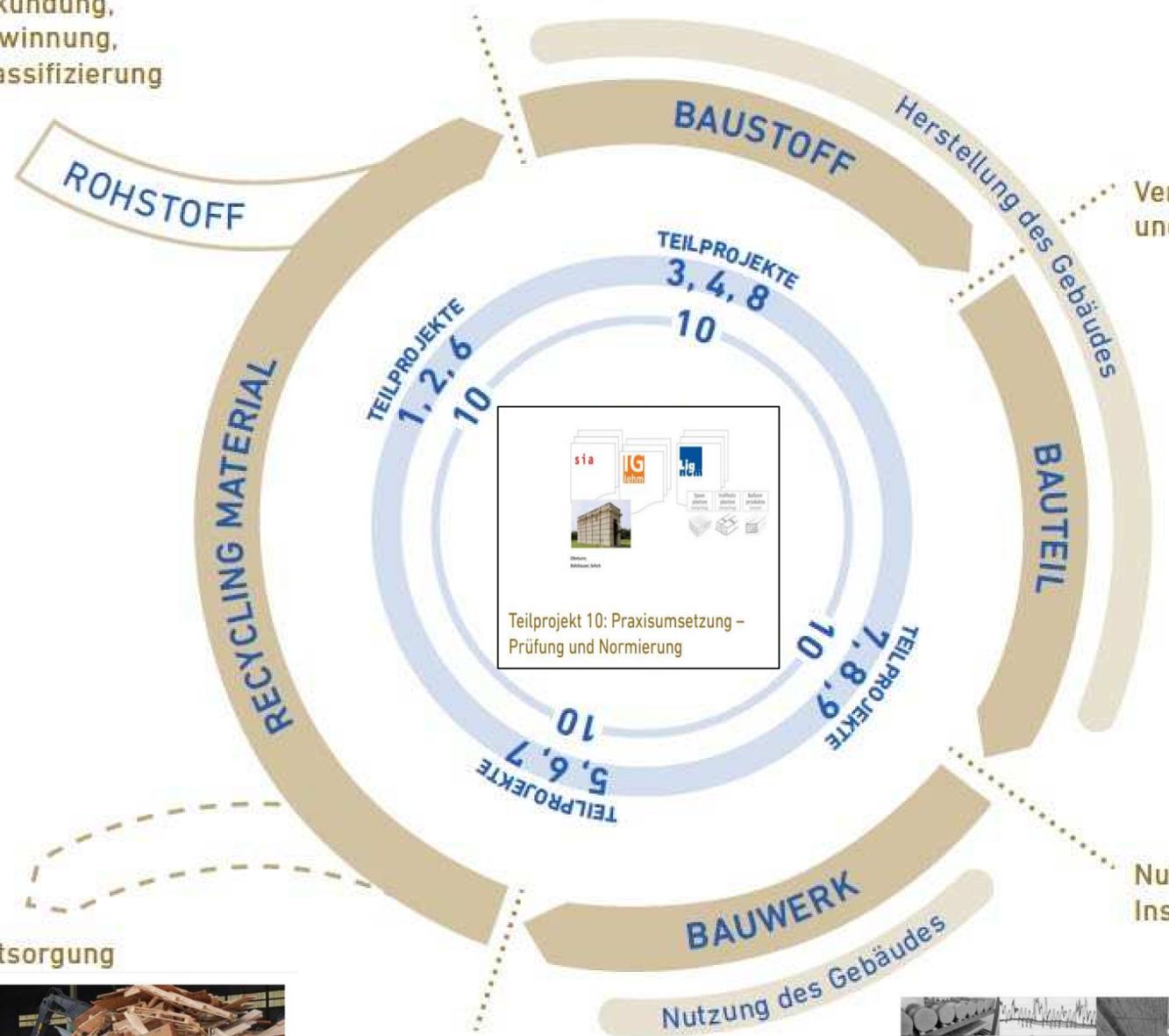
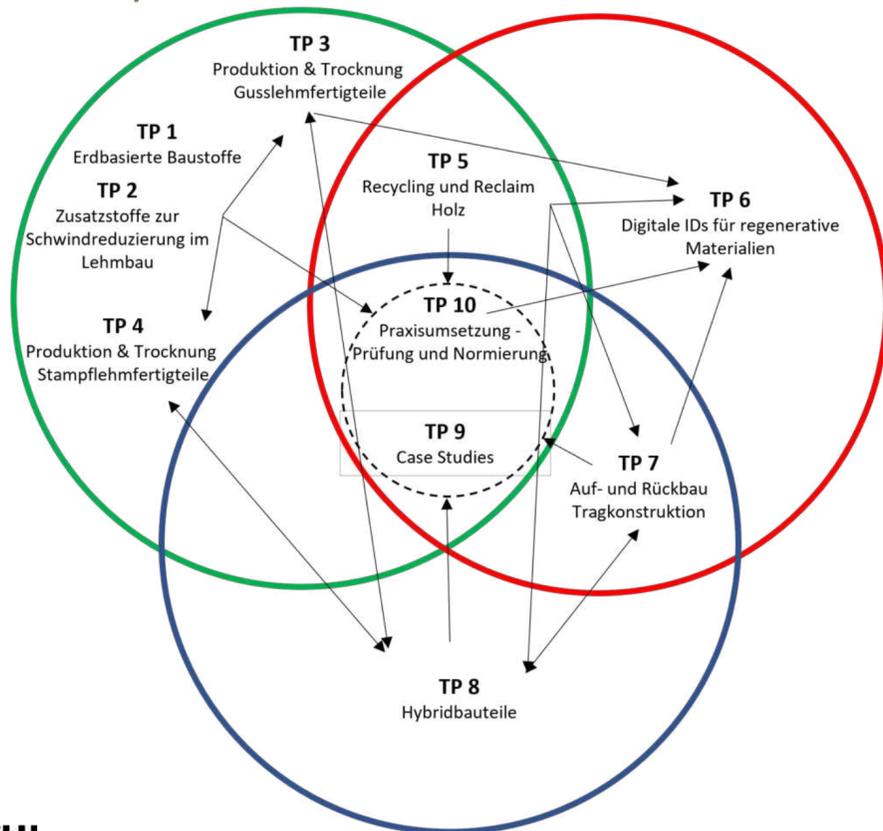
Verarbeitung und Fertigung

Systeme Innovation durch:

- Interdisziplinarität
- In allen Bereichen der Wertschöpfungskette

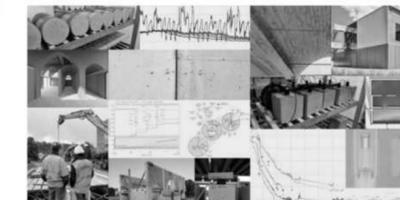
Materialien/Prozesse

Zirkularität & Re-use



Teilprojekt 5: Recycling und Wiederverwendung von Holz >

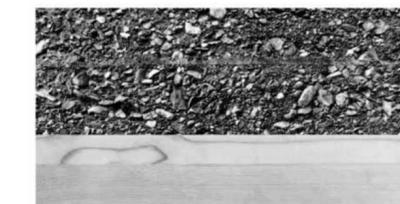
Gebäude-Abbruch Recycling



Teilprojekt 9: Case Studies >



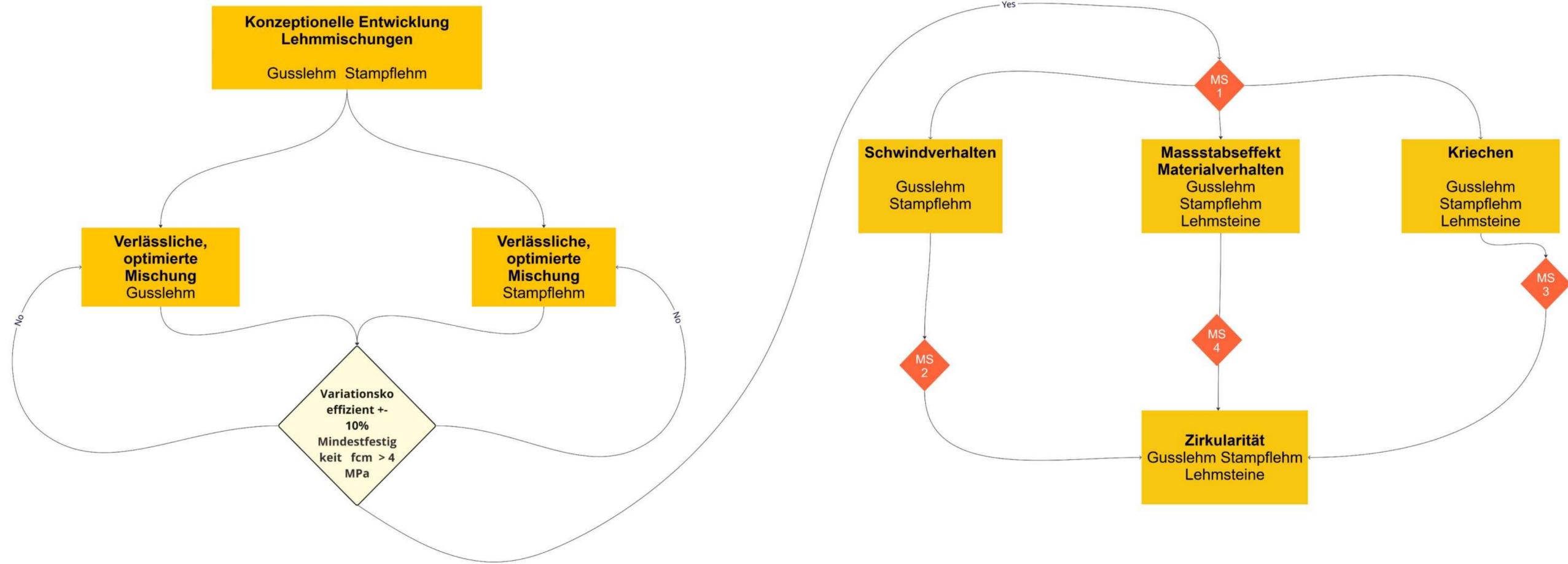
Teilprojekt 7: Auf- und Rückbau Tragkonstruktion >



Teilprojekt 8: Hybridbauteile >

Nutzung und Instandhaltung

Teilprojekt TP1 – Erdbasierte Baustoffe



Forschungspartner



Wirtschaftspartner



Entwicklung von Lehmischungen mit zuverlässigen Eigenschaften und industrieller Herstellung

Strategische Eingrenzung:
Örtlichkeit, Verfügbarkeit, Wirtschaftlichkeit

Aushub

Feldprüfung
(Baugrube)

- Erkenntnisse daraus:**
- Hinweise auf die Homogenität des Baugrunds
 - Hinweise auf die Sieblinie und die Bindigkeit
 - Hinweise auf die Eignung für Lehmstoffe

Filterkuchen

Feldprüfung
(Kieswaschanlage)

- Erkenntnisse daraus:**
- Beurteilung des Flockungsmittels

Vorprüfungen am Rohmaterial

(trocken) Siebanalyse

Grobfraktion
(Korndurchmesser > 1 mm)

- Erkenntnisse daraus:**
- Verhältnis Grob- und Feinfraktion (< 1 mm)
 - Korngrößenverteilung

Atterberg
(Konsistenzgrenzen: Fließ- und Ausrollgrenze)

Mörtelprisma
(Ausbreitmass und Druckfestigkeit)

Feinfraktion
(Korndurchmesser < 1 mm)

Atterberg
(Konsistenzgrenzen: Fließ- und Ausrollgrenze)

Mörtelprisma
(Ausbreitmass und Druckfestigkeit)

- Erkenntnisse daraus:**
- Hinweis auf die Bindigkeit und den Anteil an (quellfähigen) Tonmineralien
 - ML (Silth; Low Plasticity) eher geeignet
- Erkenntnisse daraus:**
- Hinweis auf die zu erreichende Druckfestigkeit der Mischung
 - Hohe Festigkeit bei guter Verarbeitbarkeit (hohes Ausbreitmass) ist anzustreben

- Erkenntnisse daraus:**
- Hinweis auf die Bindigkeit und den Anteil an (quellfähigen) Tonmineralien
 - ML (Silth; Low Plasticity) eher geeignet
- Erkenntnisse daraus:**
- Hinweis auf die zu erreichende Druckfestigkeit der Mischung
 - Hohe Festigkeit bei guter Verarbeitbarkeit (hohes Ausbreitmass) ist anzustreben

Stampflehm

Proctortest

- Erkenntnisse daraus:**
- Wassergehalt für die optimale Verdichtung

- Weiter zu beachten:**
- Würfelgrößen 20x20x20 cm
 - Verdichtungsenergie
 - Schichthöhe

Mischung erstellen

- Ergänzung der Sieblinie
- Wasserbeigabe
- Homogenisieren / Mischen

Frisch- und Festigkeitsprüfungen an der kompletten Lehmischung

Würfelprüfung
(Ausbreitmass, Mischwassergehalt, Trockenrohddichte, Druckfestigkeit und Nachweis der Ausgleichsfeuchte)

-> Optional

Zylinder
(E-Modul und Druckfestigkeit)

- Erkenntnisse daraus:**
- Performance

Gusslehm

- Weiter zu beachten:**
- Würfelgrößen 15x15x15 cm
 - Zusatzmittel (Verflüssiger)

Lehmsteine: Dreisteinversuche und Wandversuche mit geneigten Lagerfugen

Herleitung der Bruchbedingung für Lehmsteinmauerwerk auf Basis der SIA 266 Mauerwerk

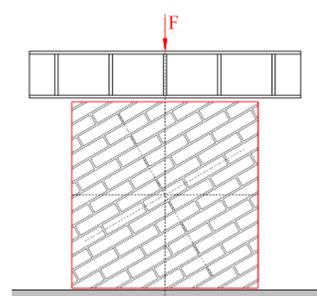
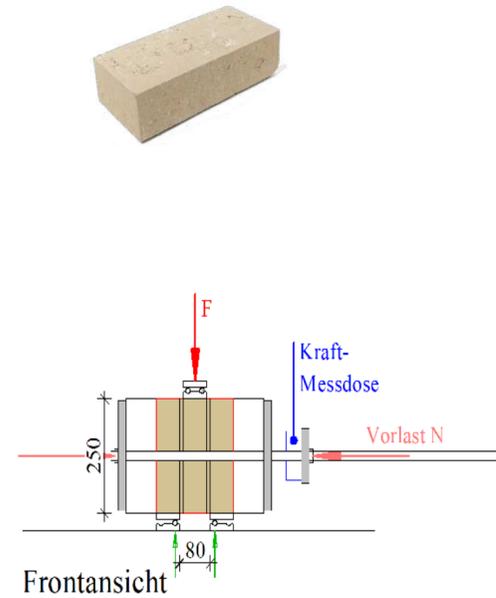
Ermittlung der Kennwerte für Bruchbedingung für Lehmsteinmauerwerk

Materialkennwerte der Mauerwerkskomponenten

- Steindruckfestigkeit f_{st}
- Mörteldruckfestigkeit f_m

Scherversuche an Dreisteinkörpern (Haftscherfestigkeit)

- Anfangsscherfestigkeit f_{vk0}
- Reibungskoeffizient μ
- Verbund zwischen Stein und Mörtel

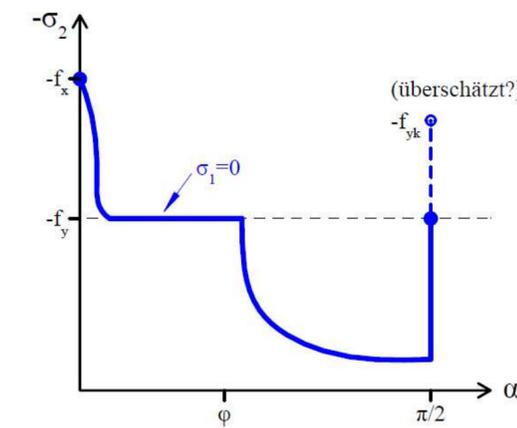


Mauerwerksversuche mit geneigten Lagerfugen

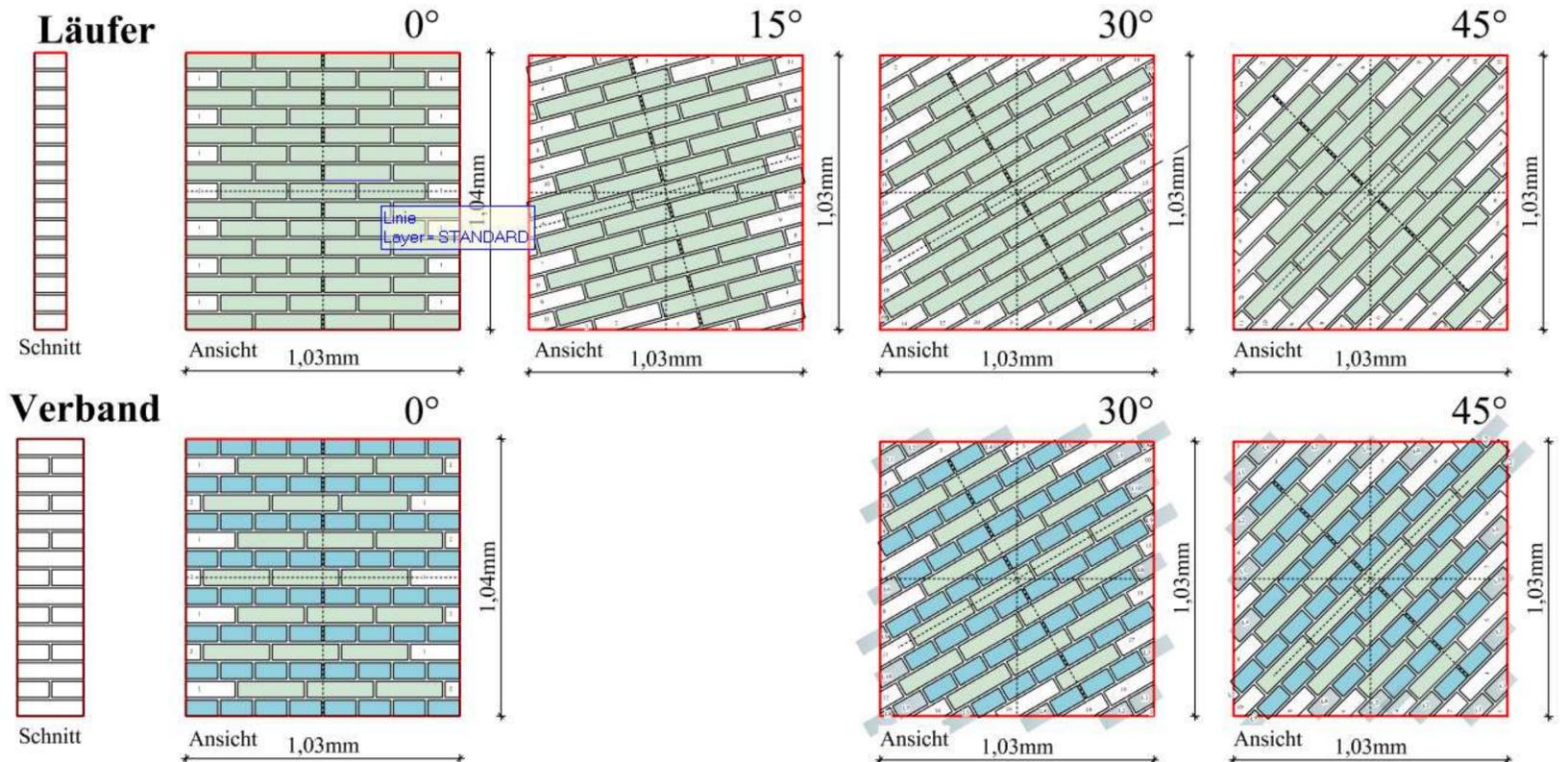
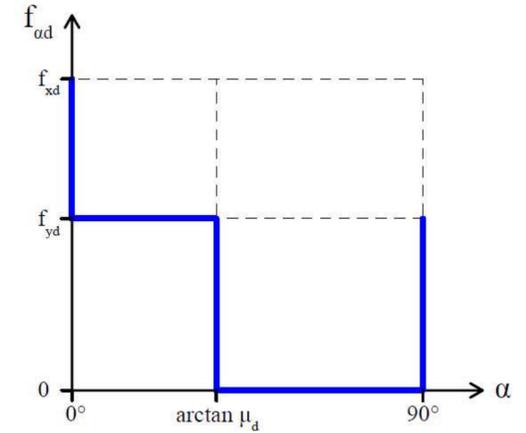
- Mauerwerksfestigkeit f_{xkr} , f_{yk} und f_{ak}
- E-Modul E_x
- Bruch- und Gleitmechanismus



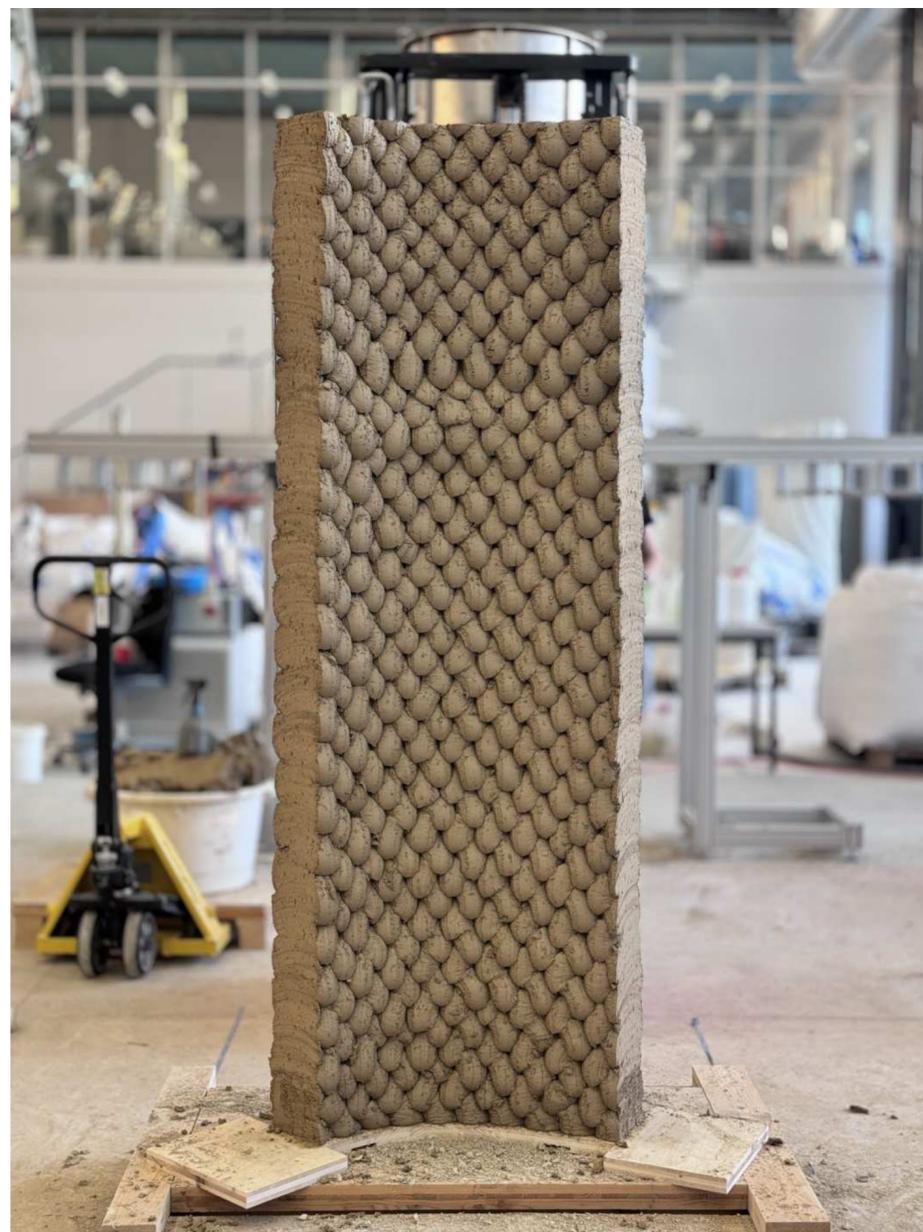
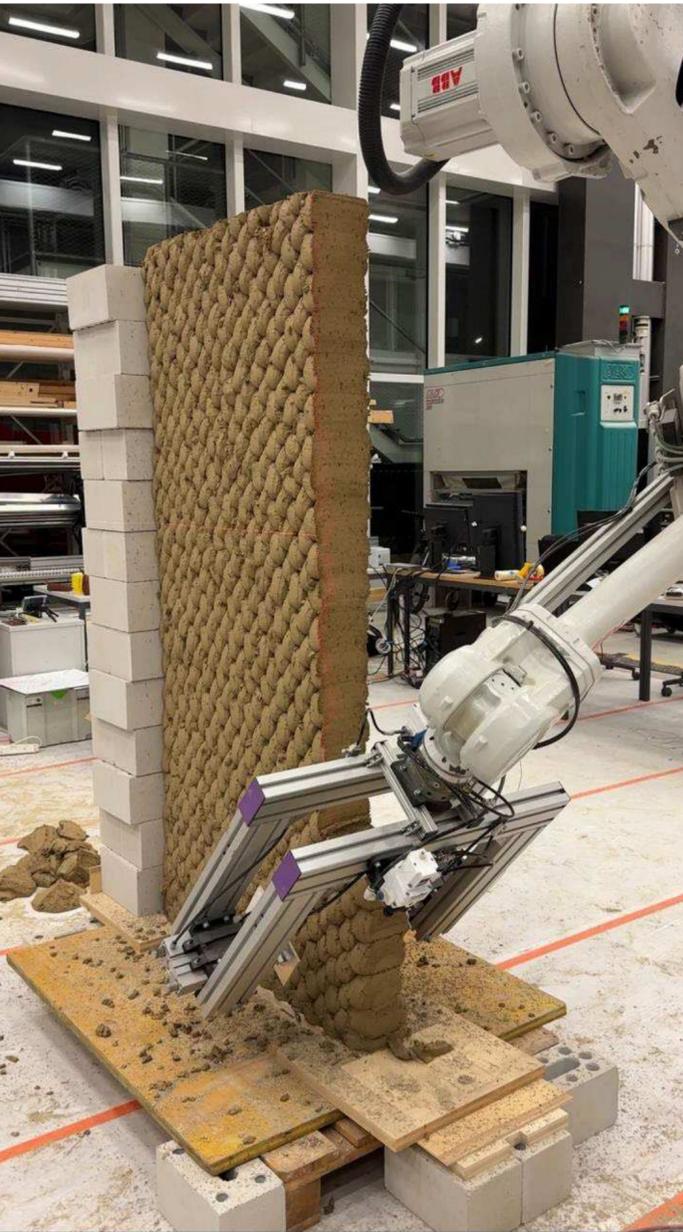
SIA 266 Mauerwerk



Vereinfachung



Teilprojekt TP8 - Hybride Bauteile



Impact Printing_Lehrstuhl für Additive Fabrikation

GRAMAZIO
KOHLER
RESEARCH
ESEA

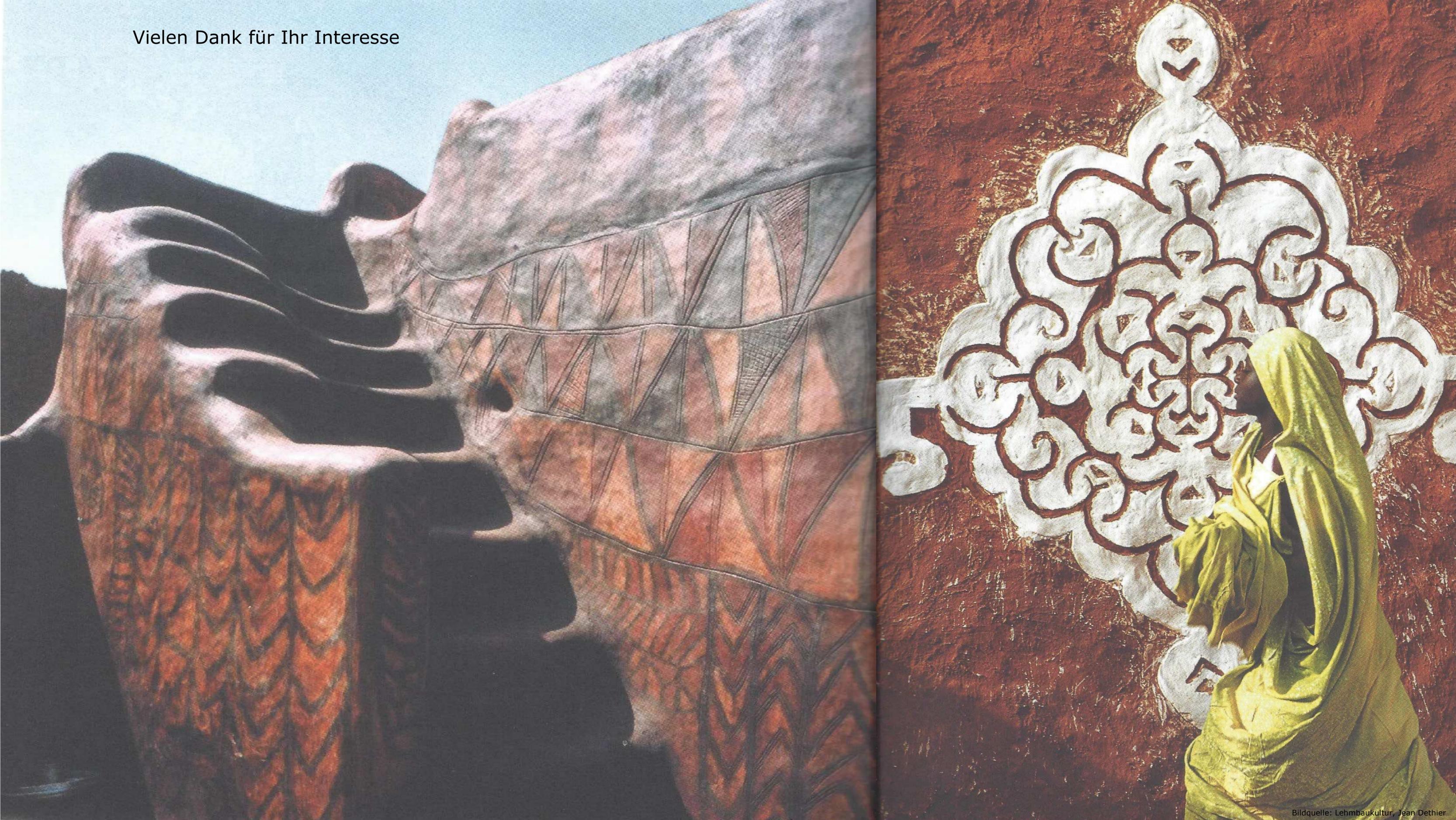
developed by L. Vasey, K. Chadha, A. Kango

Teilprojekt TP9 – Case Studies

Pavillon Manal



Vielen Dank für Ihr Interesse

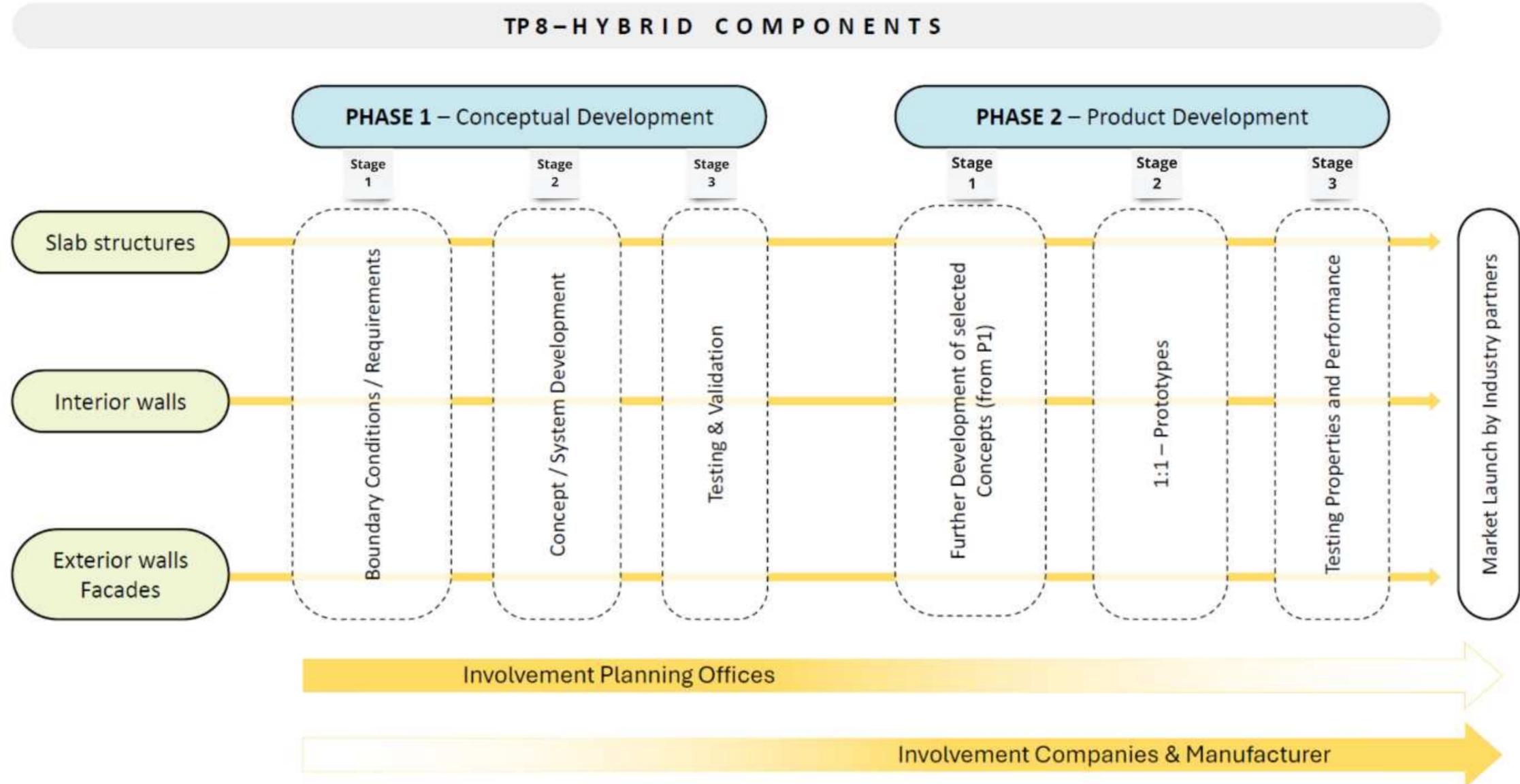
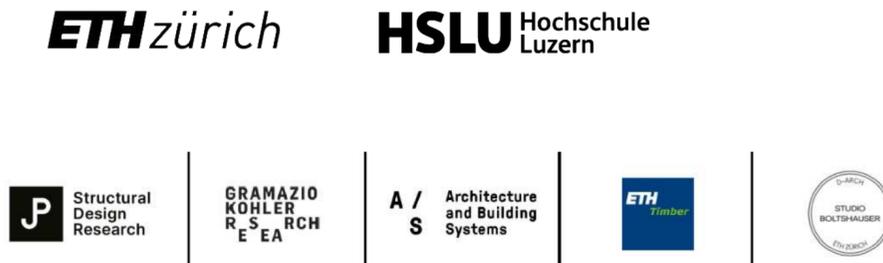


Teilprojekt TP8 - Hybride Bauteile

Wirtschaftspartner



Forschungspartner







Übersicht Beteiligung Wirtschaftspartner

TPO Systemebene

Vorsitz Steuerungsgruppe Andrea Frangi / ETH
Steuerungsgruppe aus je einer Person der Forschungspartner, S-Win und IG Lehm

Projektstart 11/2023

Projektende 10/2028

Systemebene

Entwicklungsebene

Wirtschaftspartner TPO

- Bauherren**
 - Stadt Zürich
 - Stadt St. Gallen
- Investoren**
 - FREO Group
 - Spegogna Immobilien
- Planer/Unternehmer**
 - Duplex Architekten
 - WaltGalmarini
 - Erne
- Verbände**
 - IG Lehm
 - SIA
 - Lignum
- Netzwerke**
 - S-WIN

| | | | | | | |
|--|--|--|--|---|--|---|
| Teilprojekt 1 Erdbasierte Baustoffe | Teilprojekt 2 Zusatzstoffe zur Schwindreduzierung im Lehmbau | Teilprojekt 4 Produktion&Trocknung Stampflehmfertigteile | Teilprojekt TP 7 Auf- und Rückbau Tragkonstruktion | Teilprojekt 8 Hybridbauteile | Teilprojekt 9 Case Studies | Teilprojekt 10 Praxisumsetzung - Prüfung und Normierung |
| HSLU ETH-Boltshauser Wirtschaftspartner Oxara Kibag Seforb Rematter | ETH-Habert Empa-Lura Wirtschaftspartner BASF Eberhard | ETH-Boltshauser ETH-Habert HSLU Wirtschaftspartner Keller ERNE Synaxis | ETH-Frangi ETH-Gramazio/Kohler BFH-Franke Empa-Steiger/Palma Wirtschaftspartner SFS HILTI Häring Lüchinger&Meyer B3 Gruppe Makiol Wiederkehr Pirmin Jung Timbatec Rothoblaas HECO Profix Beck Beyond Fastening Instructive Constructions | ETH-Pauli ETH-Frangi ETH-Schlüter ETH-Gramazio/Kohler ETH-Boltshauser HSLU Wirtschaftspartner HerzogdeMeron mlzd Züst Gübeli Gambetti Citra IHT-Ingenieure Synaxis Rematter Erne Eberhard Neue Holzbau Henkel Sika Spegogna Immobilien S-WIN | ETH-Schlüter ETH-Pauli ETH-Boltshauser HSLU Wirtschaftspartner Blanco AD TEN WaltGalmarini SchnetzlerPuskas Waldhauser Hermann Oxara Marti Küng Holzbau Rematter | FH-OST ETH-Frangi Empa-Palma BFH-Franke Wirtschaftspartner Stadt St. Gallen Stadt Zürich IG Lehm SIA Lignum S-WIN WaltGalmarini Seforb SchnetzlerPuskas |
| Teilprojekt 6 Digitale IDs für regenerative Materialien | Teilprojekt 3 Produktion&Trocknung Gusslehmfertigteile | Teilprojekt 5 Recycling und Wiederverwendung von Holz | | | | |
| ETH-De Wolf ETH-Habert ETH-Georessourcen Wirtschaftspartner IG Lehm S-WIN GS1-Switzerland | HSLU ETH-Habert Wirtschaftspartner Marti WaltGalmarini Kibag | ETH-Burgert BFH-Thömen Wirtschaftspartner Swiss Krono Olwo Brawand Pirmin Jung Schneider Umweltservice Stadt Zürich | | | | |



Handlungsbedarf in der Bauwirtschaft

- Reduktion CO₂ => Beton ersetzen wo es geht
- Regenerative Materialien (wie Holz und Lehm) und Kreislaufwirtschaft
- Durch Klimaveränderung mehr Kühlung notwendig => thermische Masse und Nachtauskühlung anstelle mehr Gebäudetechnik