

Strohgedämmte Wohnhäuser und öffentliche Gebäude in Frankreich

Thomas Steuerwald
Ingenieurbüro INGENIERIE BOIS
Bischheim, Frankreich



Strohgedämmte Wohnhäuser und öffentliche Gebäude in Frankreich

1. Ein bisschen Theorie und Grundlagen

1.1. Wie wird Stroh als Baustoff verwendet?

Stroh kann in verschiedenen Formen als Baustoff verwendet werden

- Als lose Einblasdämmung ähnlich wie z.B. Zellulosedämmung,



Bild 1: Einblasdämmung

- Als Großballen mit üblichen Abmessungen von ca. 80 x 120 x 250 cm



Bild 2: Großballen

oder

- Als Kleinballen mit üblichen Abmessungen von ca. 38 x 48 x 80...120 cm, d.h. die Länge ist normalerweise variabel zwischen 80 und 120 cm



Bild 3: Kleinballen

Im Bauwesen werden überwiegend Kleinballen verwendet, daher werden diese im Folgenden näher beschrieben.

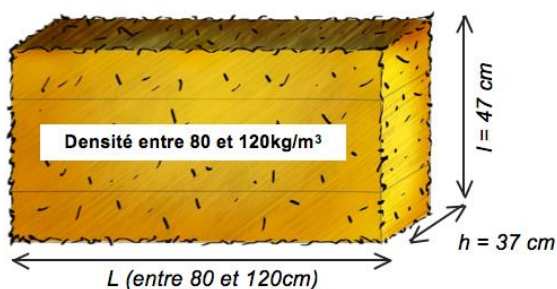


Bild 4: Abmessungen Kleinballen

1.2. Herstellung von Kleinballen

Beim Abernten der Ähren bleiben die Strohhalme auf dem Feld liegen und werden in einem zweiten Durchgang mit einer Ballenpresse gesammelt und gepresst.

Während des Pressvorgangs werden die einzelnen Ballen in Längsrichtung durch 2 oder 3 Schnüre fest gebunden.

Der Presskanal der Ballenpresse ist in zwei Richtungen fest (Dicke und Breite), die Länge kann voreingestellt werden zwischen ca. 80 und 120 cm.



Bild 5: Ballenpresse für Kleinballen

1.3. Verfügbarkeit von Stroh für Bauzwecke

Der größte Anteil des Strohs, das nach dem Ernten der Ähren übrig bleibt, wird in der Landwirtschaft als Einstreu oder Dünger verwendet. Ein Teil des Strohs dient zur Gewinnung von Biogas. Nur ein relativ kleiner Anteil des anfallenden Strohs (ca. 20%) kann für Bauzwecke genutzt werden. Da jedoch die Gesamtanbaufläche und -menge groß ist, ist auch die verbleibende Menge für die Bauwirtschaft wie in der folgenden Tabelle dargestellt, relativ bedeutend.

	Frankreich (Zahlen von 2020)	Deutschland (Zahlen von 2021)
Gesamtmenge produziertes Getreide	71 Mio to	42 Mio to
Davon Weizen und Roggen (am besten geeignet zur Herstellung von Dämmelementen)	40 Mio to (5 Mio Hektar)	24 Mio to (3,2 Mio Hektar)
Ca. 50% der produzierten Getreidemenge ist verwendbares Stroh	20 Mio to	12 Mio to
Davon für Bauzwecke verfügbare Menge	4,0 Mio to	2,4 Mio to
Ergibt eine mögliche Dämmfläche bei einer Dicke der Strohballen von 38 cm und einem Massegewicht von ca. 100 kg/m ³	105 Mio m ²	64 Mio m ²
Oder die komplette Außendämmung für ca. folgende Anzahl von Einfamilienhäusern:	280.000	170.000

Wenn auch Stroh von anderen Getreidesorten (Dinkel, Gerste, ...) verwendet wird und ein größerer Prozentsatz der anfallenden Strohmenge zur Dämmung verwendet wird, kann die mögliche Dämmfläche erheblich vergrößert werden.

1.4. Physikalische Eigenschaften

Die physikalischen Eigenschaften einer Dämmung mit Kleinstrohballen gelten, wenn die folgenden Bedingungen bei der Herstellung eingehalten sind:

- Verwendung von trockenem Stroh mit einer massebezogenen Feuchte <18%
- Kein Schimmelbefall
- Möglichst geringer Beikraut-(Unkraut-)anteil
- Pressung der Strohballen um eine Dichte von 80 bis 120 kg/m³ zu erreichen
- Das Stroh sollte nicht gehäckselt, sondern langhalmig sein

1.4.1 Wärmeschutz

Die Wärmeleitfähigkeit beträgt bei einer Orientierung der Halme überwiegend senkrecht zur Wärmestromrichtung

- nach deutschen Regeln (ETA-17/0247): $\lambda = 0,045 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
- nach französischen Regeln (RFCP, Règles professionnelles de la construction en paille)

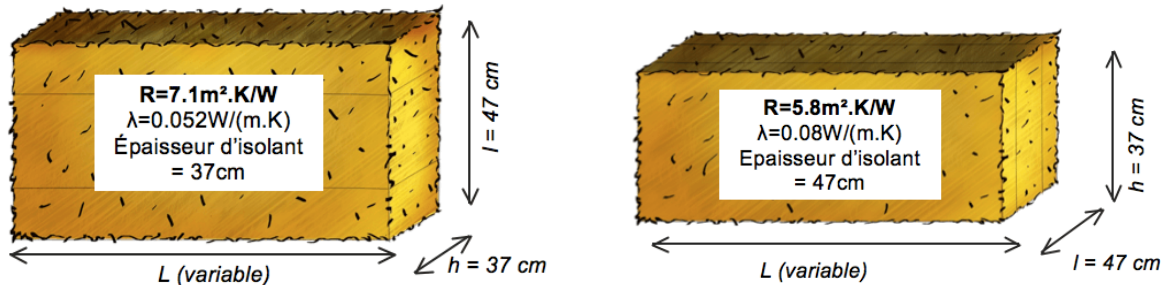


Bild 6: Wärmedämmwerte nach französischen Regeln

zum Vergleich:

Mineralfaserdämmung:	$\lambda = \text{ca. } 0,035$
Holzfaserdämmung:	$\lambda = \text{ca. } 0,040$
Zelluloseeinblasdämmung:	$\lambda = \text{ca. } 0,042$

1.4.2 Brandschutz

Stroh ist brennbar. Durch die Pressung bei der Herstellung der Strohballen wird der Ballen verdichtet und dadurch die Abbrandgeschwindigkeit verringert.

Baustrohballen als normalentflammbar (Baustoffklasse E) klassifiziert. Mit einem relativ dünnen Lehm- oder Kalkputz kann die Feuerwiderstandsklasse «feuerhemmend» F30-B oder «feuerbeständig» F90-B erreicht werden.

1.4.3 Dampfdiffusionswiderstand

Mit einer Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl $\mu = 2,0$ und einer Dicke von 38 cm ergibt sich ein s_D -Wert von: $s_D = 0,76 \text{ m}$.

1.4.4 Phasenverschiebung

Der Wert der Phasenverschiebung ist wichtig für den sommerlichen Hitzeschutz. Da die spezifische Wärmekapazität von Strohballen relativ hoch ist, wurde bei Versuchen in Frankreich eine Phasenverschiebung zwischen 8 und 12 Stunden gemessen. Daher hat ein mit Stroh gedämmtes Haus im Tagesverlauf im Sommer wenig Temperaturunterschied in den Innenräumen.

1.4.5 Schallschutz

Weder in der deutschen, noch in der französischen aktuellen Normung gibt es exakte Werte zum Schallschutz. Diese liegen jedoch im gleichen Bereich wie bei Holzfaserdämmstoffen mit einer ähnlichen Dichte. Für einen spezifischen Wandaufbau ist das Schalldämmmaß auf Basis von Versuchen zu ermitteln, falls keine Werte vorliegen.

1.5. Schimmelbefall

Zur Bildung von Schimmel ist eine Bauteilfeuchte von $>20\%$ notwendig. Da bei der Herstellung der Strohballen gefordert wird, eine maximale Bauteilfeuchte von $<18\%$ einzuhalten, kann sich kein Schimmel bilden. In der Bauphase ist darauf zu achten, dass die Dämmung vor Feuchtigkeitsaufnahme geschützt ist. In der Planungsphase ist der geplante Wandaufbau durch eine instationäre biohygrothermische Berechnung (z.B. WUFI) zu untersuchen und das Risiko einer Schimmelbildung durch Kondensat auszuschließen. Im Außenwandaufbau muss immer innen eine luftdichte Ebene und außen eine winddichte Ebene vorhanden sein.

1.6. Insekten- oder Nagerbefall

Die Getreidehalme, aus denen die Strohballen bestehen, stellen keine Nahrungsquelle für Insekten dar. Außerdem ist beim Einbau der Strohballen darauf zu achten, dass diese allseitig geschützt sind durch eine Putzschicht, Holzfaserplatten oder Insektenschutzgitter.

1.7. Nachhaltigkeit

Da das verwendete Stroh praktisch ein Abfallprodukt aus der Landwirtschaft ist, entstehen keine zusätzlichen Herstellkosten.

Das Produkt ist regional verfügbar, so dass keine langen Transportwege entstehen.

Die Primärenergie, die zur Herstellung eines strohgedämmten Gebäudes erforderlich ist, ist nur halb so groß wie der erforderliche Energieaufwand bei einem herkömmlichen Massivbau. Anders gesagt: Für den Primärenergiebedarf, den ein Massivbau allein für die Errichtung braucht, kann ein strohgedämmtes Gebäude rund 70 Jahre lang beheizt werden.

Das folgende Schaubild zeigt einen Vergleich der Gesamtenergiebilanz im Verlauf von 100 Jahren (= angenommene gesamte Lebenszeit) für ein Einfamilienhaus, das zu gleichen Randbedingungen, aber mit unterschiedlichen Materialien gebaut ist.

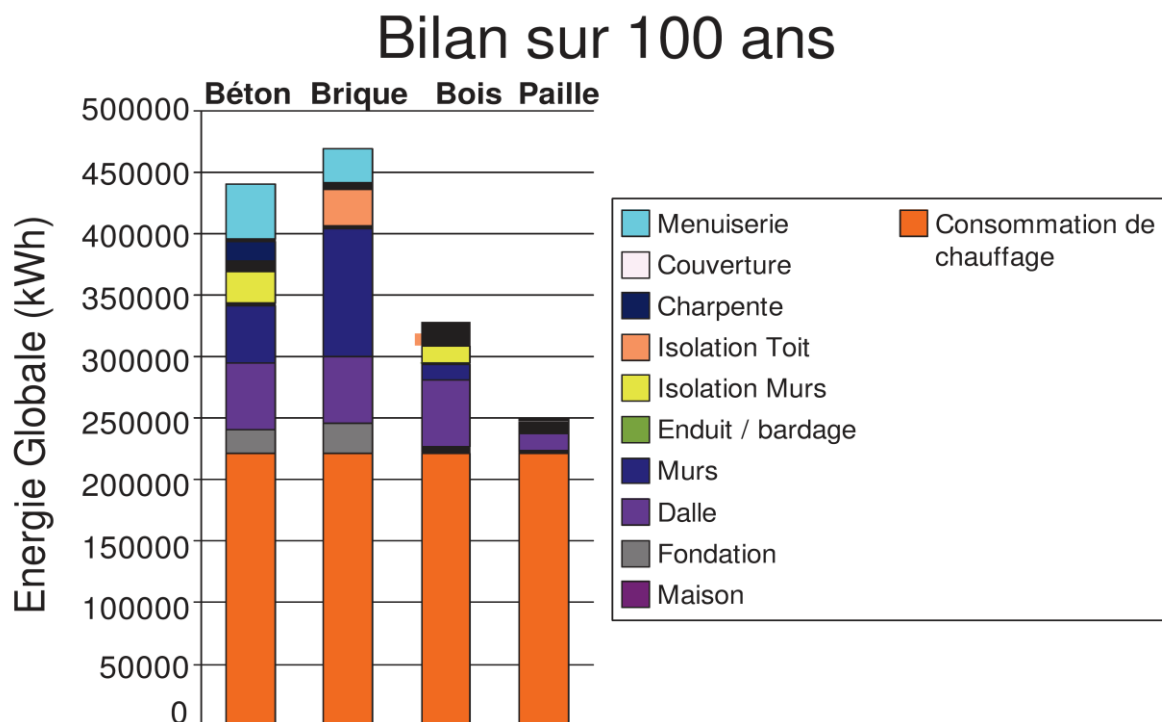


Bild 7: Vergleich der Gesamtenergiebilanz zwischen verschiedenen Bauweisen bei gleichen Randbedingungen

2. Einige Beispiele, realisiert im Bau oder in Planung

2.1. Die unterschiedlichen Arten mit Strohballen zu konstruieren

TECHNIQUE : **PAILLE EN CAISSONS**



Quelle: RFCP

Bild 8: Vorfertigung (die Strohballen werden in Kastenelementen vorgefertigt, die auf der Baustelle zusammengesetzt werden)

TECHNIQUE : **REMPLEMENT**



Quelle: RFCP

Bild 9: Einbau auf der Baustelle (die Strohballen werden auf der Baustelle in eine vorgefertigte Rahmenkonstruktion eingebaut)

TECHNIQUE : **ISOLATION THERMIQUE PAR L'EXTÉRIEUR (ITE)**



Quelle: RFCP

Bild 10: nichttragende Außendämmung (die Strohballen werden als zusätzliche Dämmschicht auf eine tragende Wand aufgebracht)

TECHNIQUE : **PAILLE STRUCTURELLE**



Quelle: RFCP

Bild 11: lastabtragende Strohballen (die aufeinandergeschichteten Ballen werden mit Baumbusstangen, Zugbändern o.ä. miteinander verspannt – diese Bauweise ist in Deutschland nicht allgemein zugelassen)

Sonderform

2.2. Mehrfamilienwohnhaus mit 13 Wohnungen in Colmar

- Stahlbetonkonstruktion mit nichttragenden Holzrahmenbau-Außenwänden und Isolierung mit Strohballen, Mineralputz außen
- Zellulosedämmung im Dach
- Passivhausstandard
- Fertigstellung 2019
- Architekt: ASP Architektur, Saint Dié
- Gebäudetechnik: Terranergie, Saulcy-sur-Meurthe



Bild 12: Teilansicht des Gebäudes



Bild 13: Einbau der Strohballen



Bild 14: Glätten der Fassade
(Abschneiden überstehender Halme)



Bild 15: Aufbringen der verschiedenen Putzschichten

2.3. Passivhaus mit 4 Wohnungen in Plainfaing (Vogesen)

- Holzrahmenkonstruktion mit 38 cm Strohballen + 6 cm Holzfaserdämmung
- Passivhausstandard
- Zellulosedämmung auf der obersten Geschossdecke
- Lärchenholzschalung und Schindeln
- Fertigstellung 2018
- Architekt: ASP Architektur, Saint Dié
- Gebäudetechnik: Terranergie, Saulcy-sur-Meurthe

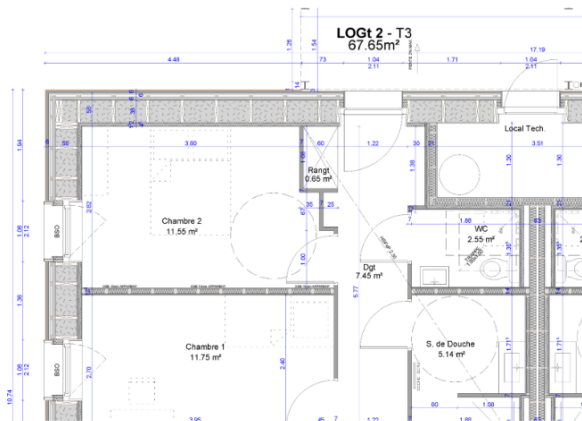


Bild 16: Teilausschnitt Grundriss

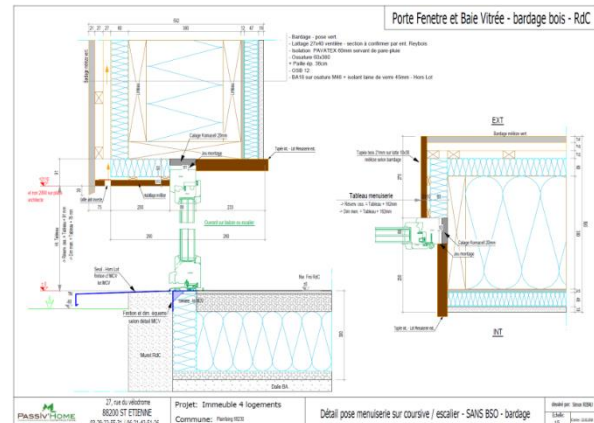


Bild 17: Detailschnitt



Bild 18: Vorfertigung der Wände



Bild 19: fertiges Gebäude

2.4. Weinproduktions- und -lagerhalle in Scherwiller (Elsass)

- Produktions- und Lagerhalle, 2200 m²
- 1,2 m dicke Wände (Strohballen) erzeugen ein gleichbleibendes Raumklima
- Lastabtragende Strohballen: ca. 174 to mit einem Massegewicht von 170 kg/m³
- Nichttragende Strohballen: ca. 54 to mit einem Massegewicht von ca. 120 kg/m³
- Geschwärzte Lärchenholzschalung außen
- Fertigstellung 2017
- Architekt: Architecture & Paysages, Strasbourg
- Gebäudetechnik: Terranergie, Saulcy-sur-Meurthe
- Ingenieurbüro Holzbau: Meistersheim, Saulcy-sur-Meurthe

DETAIL D'UNE JONCTION MUR / PLANCHER BAS

LEGENDE

P : poteau moisé et fourré formant une gaine électrique ventilée
 E : enduit à la chaux, ép. 40mm en moyenne (de chaque côté du mur)
 Ar : toile d'armature d'enduit tendue avec 300mm minimum de recouvrement, agrafage
 M : double montant de retenue du mur, en mélèze 80x80mm
 Ipa : isolation en paille, ép. 1200mm
 Re : remplissage en billes d'argile expansé ou pouzzolane
 Bh : bordure haute continue en bois de mélèze 50x200mm
 T : traverse en bois de mélèze 50x200x150mm entraxe 800mm
 Bb : bordure basse discontinue en bois de mélèze 50x200x600mm
 Pp : pied de poteau en acier galvanisé
 Ra : raccord d'étanchéité à l'air
 Eb : écran bitumineux contre les remontées capillaires
 As : assise de mur en BA, surfacée, hauteur 100mm
 Pf : protection d'isolation, ép. 25mm
 Da : dallage BA ép. 200mm

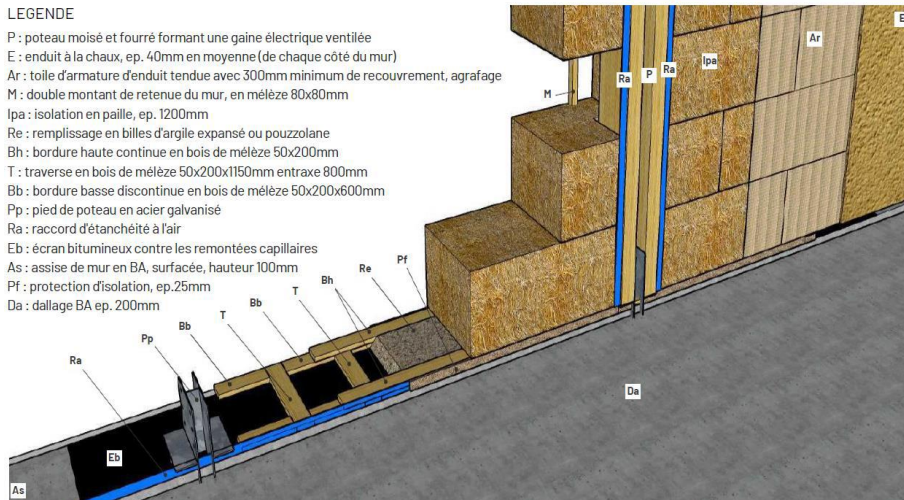


Bild 20: Detail Wandaufbau

COUPE VERTICALE : JONCTION MUR / TOITURE

La toiture est dimensionnée pour pouvoir supporter des panneaux solaires.

L'eau de pluie et de condensation en été est récupérée en toiture, stockée dans une cuve puis utilisée pour le nettoyage et pour l'arrosage. Le puisage de cette eau se fait par une pompe dont le départ en cuve est accroché à un flotteur de façon à ne pas puiser l'eau en surface ni au fond de la cuve.

Voile travaillant en panneaux OSB3 19mm avec adhésifs couvre-joints
 Isolation en paille comprimée (80kg/m³) entre ossatures en bois 350mm
 Ecran pare-pluie en panneaux de laine de bois bitumineux (joints collés)
 Ossature horizontale de bardage mini 30mm
 Ossature verticale de bardage mini 30mm
 Planchette de protection de tête de panne (mélèze purgé d'aubier) 25mm
 Grille inox de protection anti-rongeurs et anti-insectes

Mur extérieur en paille autoportée (de l'intérieur à l'extérieur)

Enduit à la chaux 40mm en moyenne
 Panneau d'accrochage 25mm
 Raccord d'étanchéité à l'air
 Isolation en paille autoportée 1200mm
 Voile travaillant en panneaux OSB3 19mm (avec adhésifs couvre-joints)
 Enduit à la chaux 40mm en moyenne

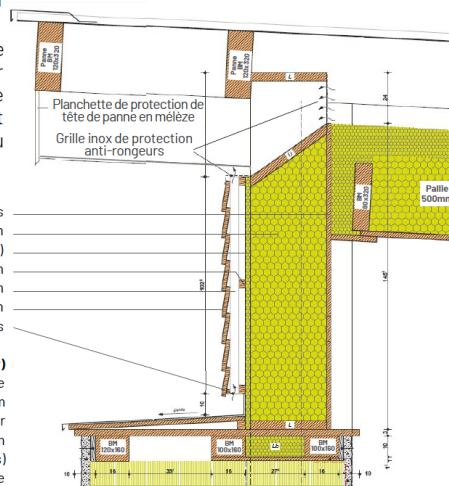


Bild 21: Schnitt durch Wand und Dach



Bild 22: Ansicht Halle

2.5. Grundschule in Bernwiller (Elsass)

- Tragende Innenwände in Stahlbeton
- Außenwände in Holzrahmenbau mit Strohballenfüllung
- Fertigstellung 2016
- Architekt: d-Form, Strasbourg und Husser, Wintzenheim
- Gebäudetechnik: Terranergie, Saulcy-sur-Meurthe



Bild 23: Außenansicht



Bild 24: Innenansicht im Bauzustand

2.6. 8-stöckiges Wohnhaus «Jules Ferry» in Saint Dié (Vogesen)

- Komplette Tragkonstruktion mit CLT und Brettschichtholz
- Strohballendämmung in Kästen aus Holzfaserplatten
- Passivhaus zertifiziert
- Energieoptimiert, 26 Sozialwohnungen mit minimalen NK: 60 €/Monat
- Fassaden mit Tonziegeln verkleidet
- Fertigstellung 2014
- Architekt: ASP architecture, Saint Dié
- Gebäudetechnik: Terranergie, Saulcy-sur-Meurthe
- Ingenieurbüro Holzbau: Ingénierie Bois, Bischheim

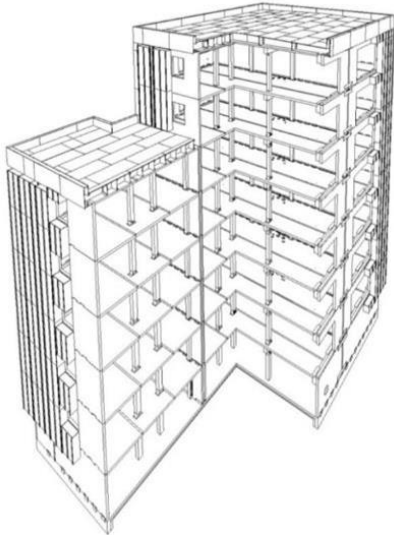


Bild 25: Prinzip der Tragstruktur



Bild 26: Tragkonstruktion während der Montage



Bild 27: Vorfertigung der Isolierung

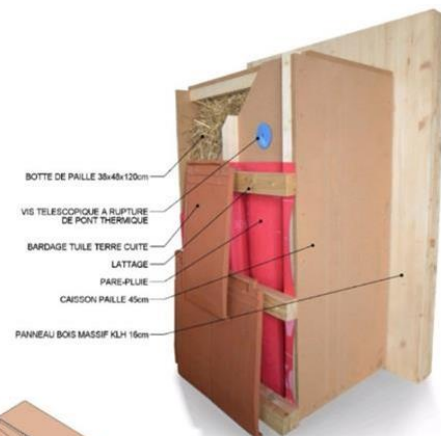


Bild 29: Detail zum Wandaufbau

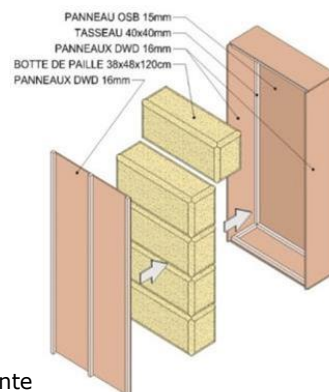


Bild 28: Detail der vorgefertigten Kastenelemente

2.7. Schulgebäude in Strasbourg-Neuhof

- Komplette Tragkonstruktion mit CLT und Brettschichtholz
- Strohballendämmung für Fassaden und Dächer
- Fassade holzverschalt
- Geplante Fertigstellung 2024
- Architekt: nunc architectes, Eckbolsheim
- Gebäudetechnik: Solares Bauen, Strasbourg
- Ingenieurbüro Holzbau: Ingénierie Bois, Bischheim



Bild 29: Gesamtansicht von außen



Bild 30: Detailschnitt Fassade

2.8. «Résidence Quai Carnot» in Saint Dié

- 11-stöckiges Wohngebäude, Passivhausstandard
- Massiver Treppenhauskern mit Tragkonstruktion mit CLT und Brettschichtholz
- Fassaden mit Pfosten-Riegel-Konstruktion, dazwischen Strohballendämmung
- Fassaden teilweise verkleidet mit Tonziegeln, teilweise verputzt
- Geplante Fertigstellung 2023
- Architekt: ASP architecture, Saint Dié
- Gebäudetechnik: Terranergie, Saulcy-sur-Meurthe
- Ingenieurbüro Holzbau: Ingénierie Bois, Bischheim



Bild 31: Gesamtansicht

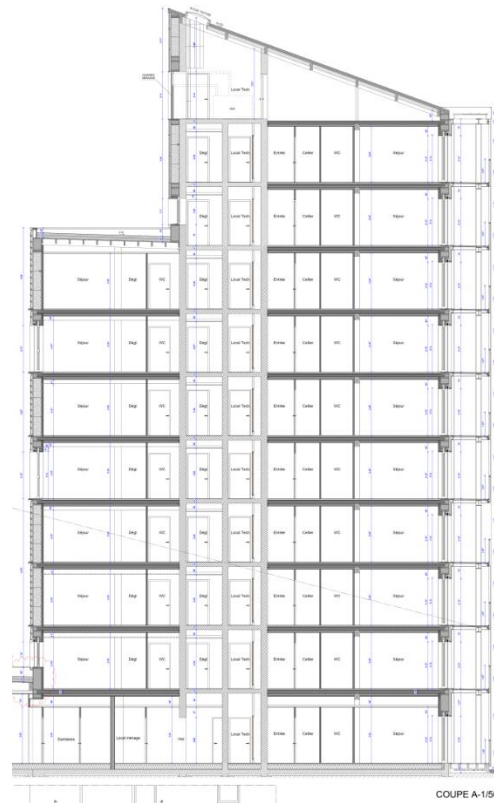


Bild 32: Schnitt

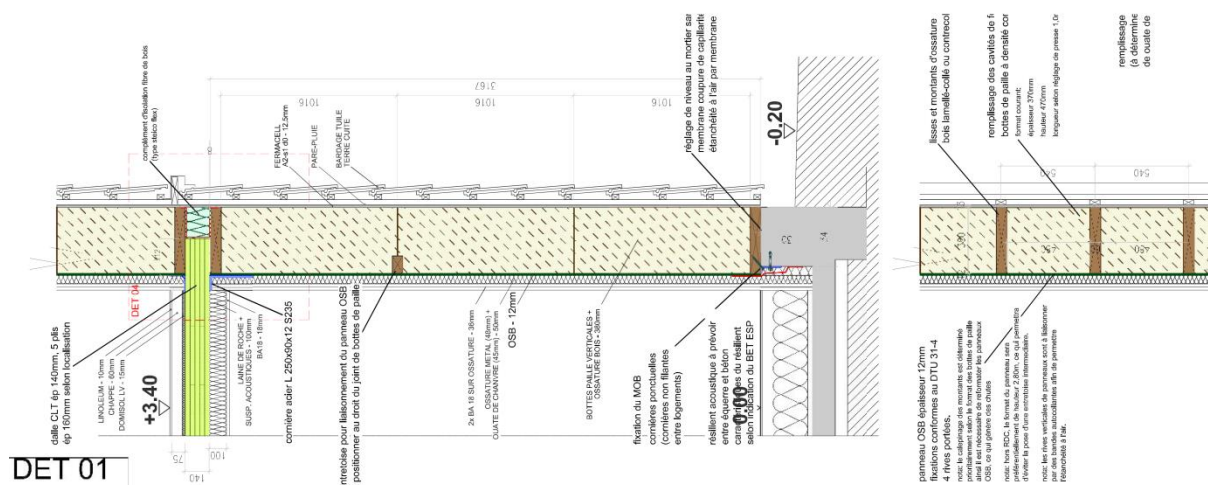


Bild 32: Detail Fassade (gekippt), mit Deckenanschluss