

Lycée technique
pour professions de santé
Ettelbruck



5 Préfaces

Ministre François Bausch

Ministre Claude Meisch

8 Le nouveau lycée, un lieu d'éducation pour préparer les jeunes aux professions de santé

Carlo Gudenburg

10 Un projet pilote réalisé avec une équipe soudée, forte et engagée

Martine Schmitt

14 Für die Schüler sollte ein grosses Holzhaus gebaut werden

Jens Letzel

42 Graue Energie und Zertifizierung

Sabrina Krank

50 Tragwerksentwurf und Planung der Aussenanlagen

Marc Prommenschenkel

60 Les techniques au service d'un bâtiment plus positif

Gilles Christnach

76 Chiffres clés Les intervenants



Les bâtiments scolaires ont évolué et évoluent encore à ce jour, au vu de l'importance que prend la place de l'éducation et la qualité de la formation, notamment dans le domaine de la santé.

En effet, le Lycée technique pour professions de santé à Ettelbruck fait actuellement partie des projets pilotes de l'Administration des bâtiments publics, qui s'inscrivent dans une stratégie d'ensemble de bâtiments durables. En tant que bâtiment à énergie positive, le bâtiment produira plus d'énergie pendant son cycle de vie qu'il n'en consommera y inclus l'énergie grise.

Les bureaux d'architecture et d'études ont développé dans un esprit d'équipe des solutions innovantes sur mesure. La conception novatrice en matière énergétique et technique mise en œuvre dans ce bâtiment vient d'être récompensée par deux prix internationaux. Parmi huit lauréats européens, le prix « European solar Prize award » a été attribué au bâtiment avec la mention « first public school in Luxembourg built to the ambitious technical standard of a Positive Energy Building ». Il a aussi obtenu une mention spéciale au prix international « Green Solutions awards » dans le domaine de la construction durable. En outre, le bâtiment a reçu en 2020 la certification suisse Minergie P Eco, un label de santé et d'écologie de la construction.

La société est aujourd'hui plus que jamais confrontée à une forte demande de professionnels dans le domaine de la santé. C'est par une formation adéquate et dans un milieu architectural contemporain que les futurs agents de santé, soignants et infirmiers, seront formés dans une structure professionnelle adaptée, dans des lieux d'apprentissage spécifiques, notamment des laboratoires de simulations de haute technicité. Les gestes théoriques appris à l'école seront perfectionnés par la suite dans le milieu hospitalier.

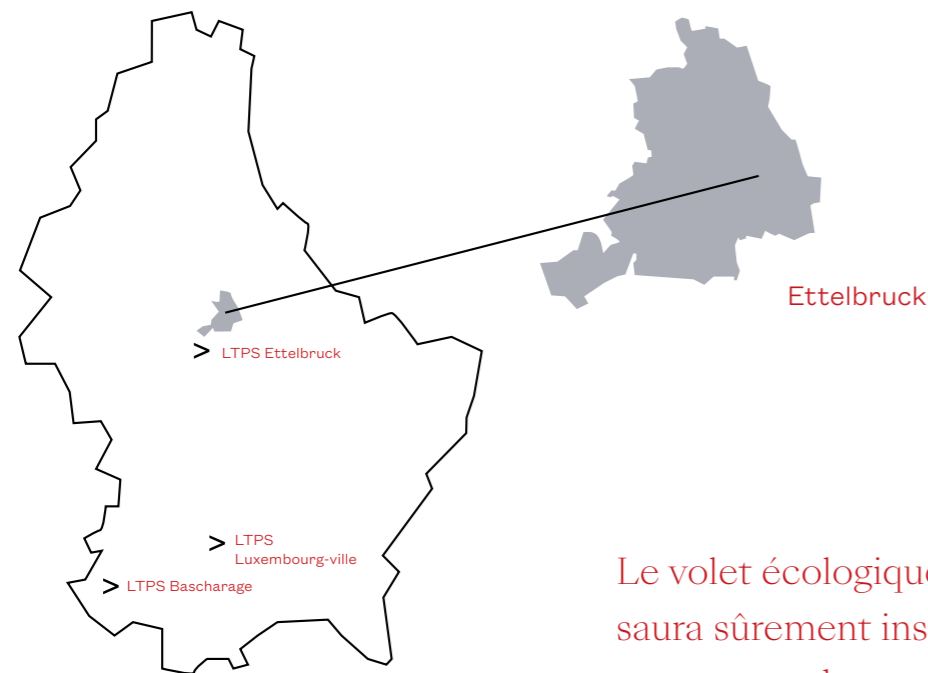
L'Administration des bâtiments publics, en tant que maître d'ouvrage, a veillé au bon déroulement de ce projet scolaire, dont la mise en chantier a eu lieu en juin 2016 et la rentrée des classes en septembre 2019.

Je remercie tous les collaborateurs de mon administration ainsi que les bureaux d'architectes et d'ingénieurs et toutes les entreprises pour leur engagement à la réussite de ce projet phare. Je suis convaincu qu'il va servir d'exemple aux futures constructions. Les élèves, les enseignants et la direction trouveront dans ce lycée un environnement agréable et sain avec des matériaux écologiques. Aussi ce lieu présente des conditions optimales pour la tenue des différentes formations paramédicales tant nécessaires au vu des besoins urgents du secteur des soins.

François Bausch

Vice-Premier ministre

Ministre de la Mobilité et
des Travaux publics



Le volet écologique de l'école saura sûrement inspirer les apprenants de poursuivre une attitude écoresponsable tout au long de leur parcours éducatif et au-delà.



Depuis la mise en service d'une annexe temporaire du Lycée Technique pour Professions de Santé (LTPS) à Warken en 1997, la nécessité d'un nouveau bâtiment a très vite été mise en évidence par une évolution toujours croissante du nombre d'élèves inscrits. Ainsi je suis enchanté d'avoir été témoin de l'occupation par les premiers élèves du nouveau centre de formation à Ettebruck pour la rentrée scolaire 2019/2020.

Grâce à une étroite collaboration entre les concepteurs et les utilisateurs tout au long de l'évolution du projet, le nouveau bâtiment répond de façon exemplaire aux besoins d'une architecture éducative contemporaine : les espaces sont stimulants et adaptables et sont compatibles avec différentes approches d'enseignement et d'apprentissage. En plus, les équipements sont à la hauteur des besoins pour un enseignement en conditions quasiment réalistes avec notamment les salles de simulation. La proximité du nouveau bâtiment au Centre Hospitalier du Nord favorise l'échange et la collaboration intense entre mondes professionnel et éducatif.

Dans le nouvel établissement, les élèves disposent d'espaces réservés au travail en autonomie, d'espaces de détente et de lieux d'expression. Les enseignants disposent de locaux réservés au travail en équipe, et le mobilier est adapté à la pédagogie différenciée. Sur les créneaux horaires pendant lesquels les élèves n'ont pas cours, ils ont accès à des espaces de travail dans lesquels ils peuvent se rendre de leur propre initiative : le Centre de documentation et d'information, les salles d'étude, mais aussi les salles d'informatique et les salles de classes peuvent être utilisées.

Au vu des contraintes énergétiques auxquelles est confronté le monde d'aujourd'hui, l'une des principales exigences qui pèsent sur la conception des infrastructures éducatives a trait à la responsabilité environnementale. Les installations doivent en effet tirer parti des innovations environnementales et intégrer l'architecture solaire passive ainsi que des matériaux et des finitions écologiques, l'objectif final étant de réduire au maximum l'impact des installations sur l'environnement. Ce principe a été appliqué de manière cohérente et exemplaire pour le nouveau centre de formation du LTPS. Le volet écologique de l'école saura sûrement inspirer les appre-

nants de poursuivre une attitude écoresponsable tout au long de leur parcours éducatif et au-delà.

Je suis particulièrement fier de pouvoir héberger les élèves dans un des premiers bâtiments « énergie plus » du pays, reflétant ma volonté d'accompagner les jeunes aux défis d'un comportement écoresponsable. D'autant plus que cette conception s'inscrit parfaitement dans la philosophie du LTPS « gesond liewen ». Ainsi, l'éducation au développement durable et au respect de l'environnement pourra se vivre au jour le jour.

J'anticipe d'ores et déjà le jour où le LTPS Ettebruck sera complété par des infrastructures telles que restaurant scolaire et halls sportifs qu'il partagera avec le Lycée technique d'Ettebruck.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements envers tous ceux qui ont contribué à la conception de ce projet et je souhaite tout le succès à la nouvelle communauté scolaire.

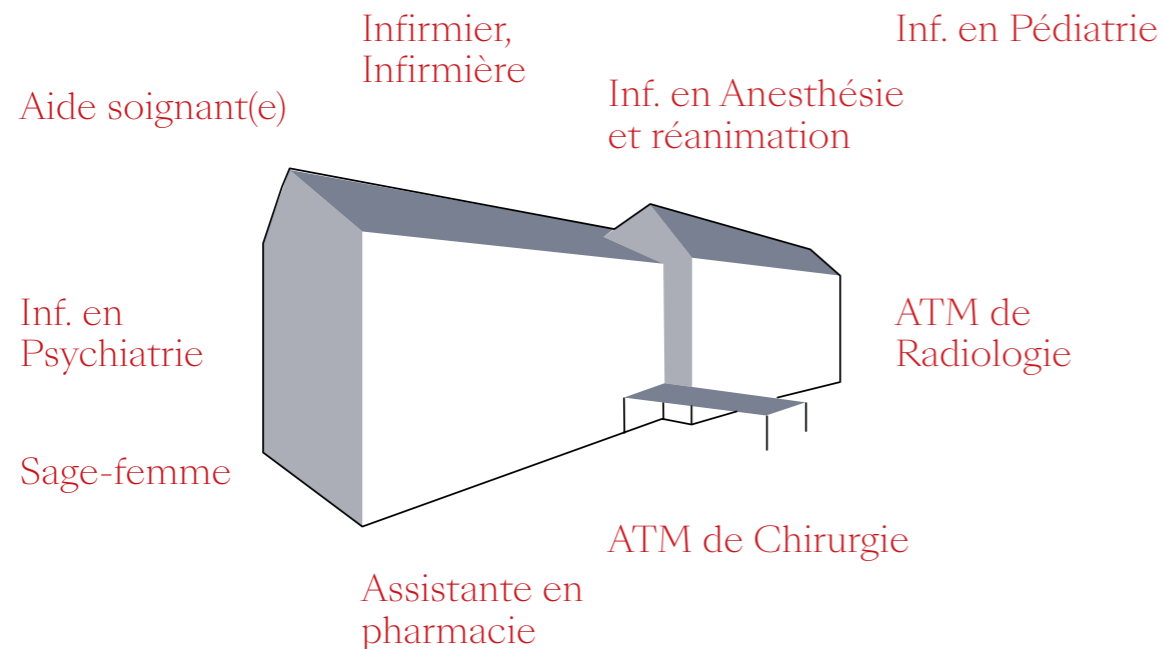
Monsieur Claude Meisch

Ministre de l'Éducation nationale,
de l'Enfance et de la Jeunesse

Les offres pédagogiques des formations aux professions de santé

8

Le nouveau lycée, un lieu d'éducation pour préparer les jeunes aux professions de santé



Le Lycée technique pour Professions de Santé (LTPS) a été créé par la loi du 11 janvier 1995 portant réorganisation des écoles publiques et privées d'infirmiers.

Il regroupa dès lors les différentes écoles d'infirmiers et d'infirmières ayant fonctionné auparavant auprès des grands hôpitaux du pays. A Ettelbruck, c'était l'ancienne école paramédicale, créé en 1970 et annexée à la Clinique St. Louis, qui devint en 1995 le Centre de Formation Ettelbruck du LTPS. L'école paramédicale en question avait fonctionné depuis 1970 dans des locaux à l'intérieur même de la Clinique St. Louis avant d'être transférée en septembre 1982 dans une ancienne maison familiale dans l'avenue Salentiny à Ettelbruck.

En 1997 et vu l'évolution du nombre d'élèves, le nouveau Centre de Formation Ettelbruck du LTPS déménagea dans un pavillon scolaire à Warken, infrastructure caractérisée à l'époque comme provisoire mais qui n'en finissait pas moins à rester l'adresse du lycée jusqu'en juillet 2019. Au fil des années néanmoins, le nombre croissant d'élèves et d'étudiants mais aussi les exigences multiples d'une école contemporaine et d'un enseignement professionnel attractif et moderne finissaient par dépasser largement les ressources modestes du pavillon. C'était donc avec une grande joie, et plein d'espoir que le centre de formation Ettelbruck déménagea en juillet 2019 dans son actuel bâtiment scolaire près du Centre Hospitalier du Nord à Ettelbruck.

Le LTPS en tant que lycée sectoriel offre actuellement la formation de base du BTS infirmier en soins généraux et ses différents BTS spécialisés (ATM chirurgie, infirmier en anesthésie et réanimation, infirmier psychiatrique, infirmier en pédiatrie). Il offre en outre les BTS spécialisés sage-femme et ATM en radiologie. Au niveau de l'enseignement secondaire général, le LTPS propose la nouvelle formation des sciences de la santé qui prépare d'une manière très ciblée à des études supérieures ou universitaires dans le domaine de la santé. Pour le compte de la formation professionnelle, le LTPS offre le DAP assistant en pharmacie et pas moins que trois différents types de formations menant au DAP aide-soignant.

Le centre de formation à Ettelbruck compte actuellement quelque 300 élèves et étudiants. Il est pos-

sible d'y suivre la formation de l'infirmière en soins généraux, ainsi que les trois types de formations de l'aide-soignant, à savoir la formation initiale, la formation en cours d'emploi et la formation de l'apprentissage adulte. Depuis septembre 2019, la nouvelle formation des sciences de la santé est également offerte à Ettelbruck.

Le nouveau bâtiment scolaire à Ettelbruck ne se singularise pas seulement pour sa construction en bois, très accueillant en soi, et son concept énergétique avant-garde, qui permet à la vie scolaire de se dérouler dans des conditions propices au bien-être mais il se démarque aussi par un concept d'espace intra et extra muros qui offre la possibilité de se retirer, de se réunir et de collaborer en petits ou en grands groupes, pendant les cours tout comme pendant les temps libres. Il en découle qu'une large variété de méthodes pédagogiques peuvent s'exercer au quotidien et que les apprentissages peuvent s'organiser sous différentes formes sociales.

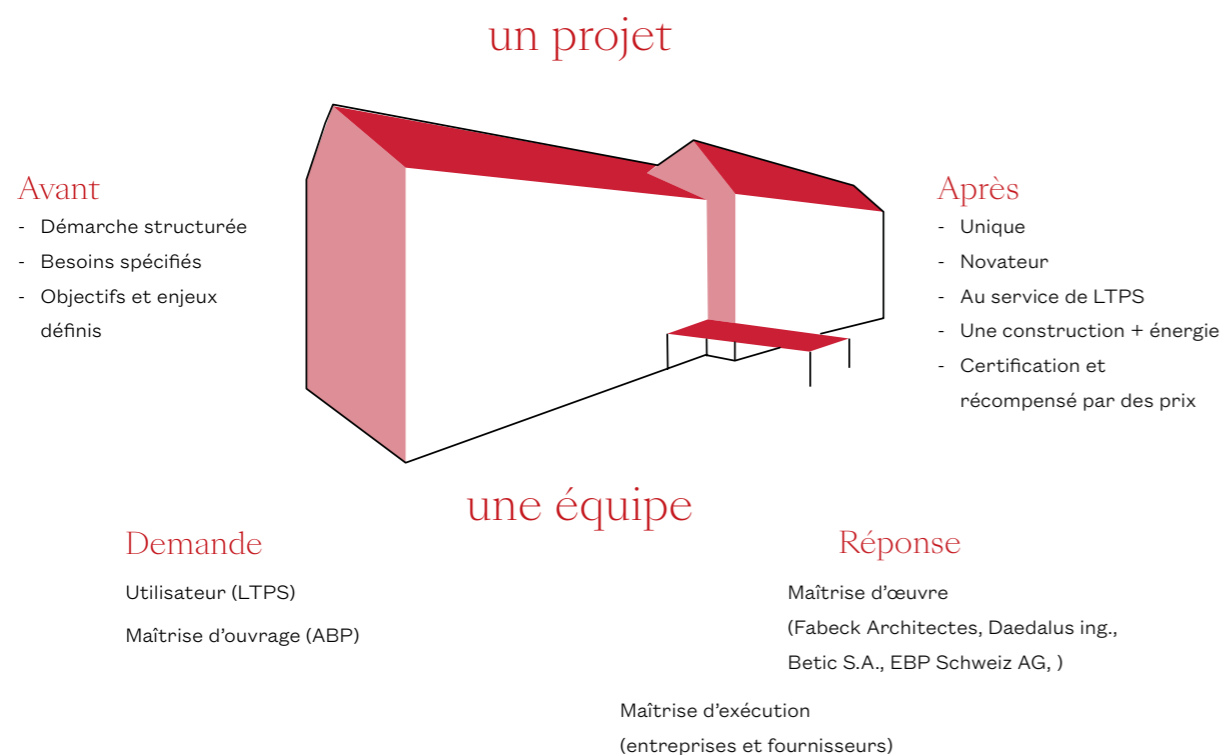
Les 18 salles de classe, les 3 salles de sciences, les 6 laboratoires professionnels et tous les autres locaux à visée pédagogique sont tous équipés d'un matériel électronique, informatique et didactique capable de répondre entièrement aux critères de durabilité, de connectivité et de flexibilité. L'école, son infrastructure et son concept pédagogique resteront ainsi en mesure de s'adapter aisément aux évolutions technologiques et pédagogiques futures.

En parlant de conceptions pédagogiques, il reste à mettre en exergue le concept de la simulation en santé, que le LTPS vient d'intégrer dans toutes ses formations au cours des dernières années. La simulation en santé n'est rien d'autre qu'une méthode pédagogique active au cœur de laquelle se trouve le laboratoire de simulation qui permet aux élèves / étudiants de développer davantage leurs compétences professionnelles en s'exerçant dans des situations de soins simulées mais réalistes. Les exercices en laboratoire de simulation peuvent être enregistrés en temps réel et retransmis dans une salle à distance pour permettre une observation et une analyse approfondie des événements. Les 4 salles de simulations hypermodernes à Ettelbruck, équipées d'un matériel audio-visuel du plus performant, permettront à la communauté scolaire une mise en scène exceptionnelle du concept.

9

La gestion du projet

10 Un projet pilote réalisé avec une équipe soudée, forte et engagée



Même s'il y a déjà plus de quinze ans que les concepts énergétiques sont au centre des réflexions de l'Administration des bâtiments publics, le développement de stratégies toujours plus performantes reste plus que jamais un sujet d'actualité. Ainsi trois projets pilotes visant un bilan à énergie positive ont été lancés dans les domaines scolaire, administratif et logement. Le nouveau lycée technique pour professions de santé à Ettelbruck a donc été retenu pour appliquer ce concept dans le cadre de sa construction, un vrai challenge.

Le programme de construction du lycée ainsi que le terrain, situé à proximité du Centre Hospitalier du Nord, se prêtait parfaitement à la mise en œuvre des principes de construction à énergie positive.

Quelles sont les différences entre ce projet pilote et d'autres projets que l'administration réalise?

Dès le départ, le projet se voulait non seulement positif au niveau de l'énergie opérationnelle, mais aussi en y incluant l'énergie grise des matériaux de construction, à savoir l'énergie primaire non renouvelable, nécessaire à sa construction et à sa déconstruction, donc la prise en compte du cycle de vie entier du bâtiment.

Ainsi le maître d'ouvrage a encouragé toute l'équipe à remettre en question les principes de construction standard et de s'ouvrir à toutes les pistes de réflexion, rien n'était prédéfini. Ce projet a donc naturellement nécessité l'étude de plusieurs variantes par exemple au niveau du choix constructif (béton, bois, acier, systèmes mixtes, mais aussi la comparaison de plusieurs systèmes de construction bois, ...), des matériaux, des installations techniques, afin de voir se dégager des solutions constructives et techniques intelligentes mais simples, qui vont permettre d'arriver à des consommations énergétiques réduites, aussi bien pour la construction que l'exploitation. Certes, cet exercice a permis de révéler que certaines idées de départ ne sont pas valables si l'on prend en considération tous les aspects de l'énergie grise (p.ex. type d'isolation à utiliser, choix du système de chauffage). Un autre enseignement était celui qu'il faut se fixer un objectif clair; on ne peut pas tout faire sur un même projet. Ce but permet aussi de motiver ses choix et de rester focalisé sur la mise en œuvre du projet tout au long du processus de sa réalisation.

Cette remise en question a certes pris plus de temps, mais était nécessaire pour développer le nouveau concept énergétique, tout en n'oubliant pas le confort thermique dans le bâtiment et les matériaux écologiques.

Un élément très important à la réussite d'un tel projet est l'esprit d'équipe : le maître d'ouvrage doit composer son équipe, puis définir le rôle de chaque participant, motiver les intervenants, coordonner la consultation de nombreux experts. Un dialogue régulier était indispensable, car un tel projet ne peut réussir que dans un esprit d'équipe entre les architectes et les ingénieurs; avec l'aide des experts chacun dans son domaine; notamment en énergie, en calcul d'énergie grise, en construction bois, en acoustique, ...

L'objectif pour faire certifier le projet par le label suisse Minergie P-Eco a été un défi supplémentaire, s'agissant d'un type de certification que l'ABP a visé pour la première fois. Finalement, la procédure de certification oblige le maître d'ouvrage de bien préparer le projet, les bureaux à travailler de façon structurée et les entreprises de tout documenter. Ainsi par exemple des centaines de fiches de produits ont été validées avant la mise en œuvre pour assurer la qualité.

Sur le terrain, rien ne peut devenir réalité sans les entreprises qui ont su apporter leur expérience et leur savoir-faire, ainsi qu'un très grand engagement. Les instructions et les objectifs doivent passer jusqu'à chaque ouvrier, fournisseur, ... Tous, entreprises et maîtrise d'œuvre, ont été motivés par le fait de participer à ce projet architectural qui va servir de référence dans le futur.



14 Für die Schüler sollte ein großes Holzhaus gebaut werden

Eine Schule ist ein Lernort, der vielen Anforderungen gerecht werden muss. Und wie auch die Herausforderungen an die Schüler, mit einer immer komplexer werdenden Umwelt steigen, so steigen auch die Ansprüche an die Gebäude.

Aber wie auch die didaktischen Konzepte sich bisweilen auf Ihren Ursprungsgedanken zurückbesinnen, um einen einfacheren und fokussierten Blick auf den Sinn der Schule zu bekommen, so wurde auch hier die Konstruktion und die Technik in Ihrer gesamten architektonischen Ausgestaltung soweit zurückgenommen, dass wieder altbekannte Baustoffe wie Holz und Lehm, sowie die Technik der natürlichen Lüftung zur Ausführung kam.

Das Ergebnis ist ein zukunftsträchtiges Pilotprojekt das sich in den städtischen Kontext eingliedert.



Konzept und stadträumliche Struktur

Der Grundgedanke des Entwurfs lässt sich in einem reduzierten Leitbild ausdrücken: Einen komfortablen Ort zum Lernen und Lehrern in einem nachhaltigen Baukörper und ökologischen Umfeld zu schaffen.

Der Entwurf versucht die Prämisse, das Gebäude so kompakt wie möglich umzusetzen, um Kosten und Energie zu sparen, ohne der reinen Funktionalität anheim zu fallen.

Damit zeigt sich, dass das Konzept von Anfang an integral gedacht werden musste. Hier waren das Volumen und der Gestaltungswille mit der Struktur der Statik eines Holzbaus, dem innovativen Heiz- und Lüftungskonzept und der Zielsetzung eines ökologischen Gebäudes in Einklang zu bringen.

Das Leitmotiv folgt der Philosophie, dass jedes Bauteil, welches nicht verbaut wird, auch nicht produziert und später recycelt werden muss. Dies gilt sowohl für technische Installationen, als auch für statische und architektonische Bauteile.

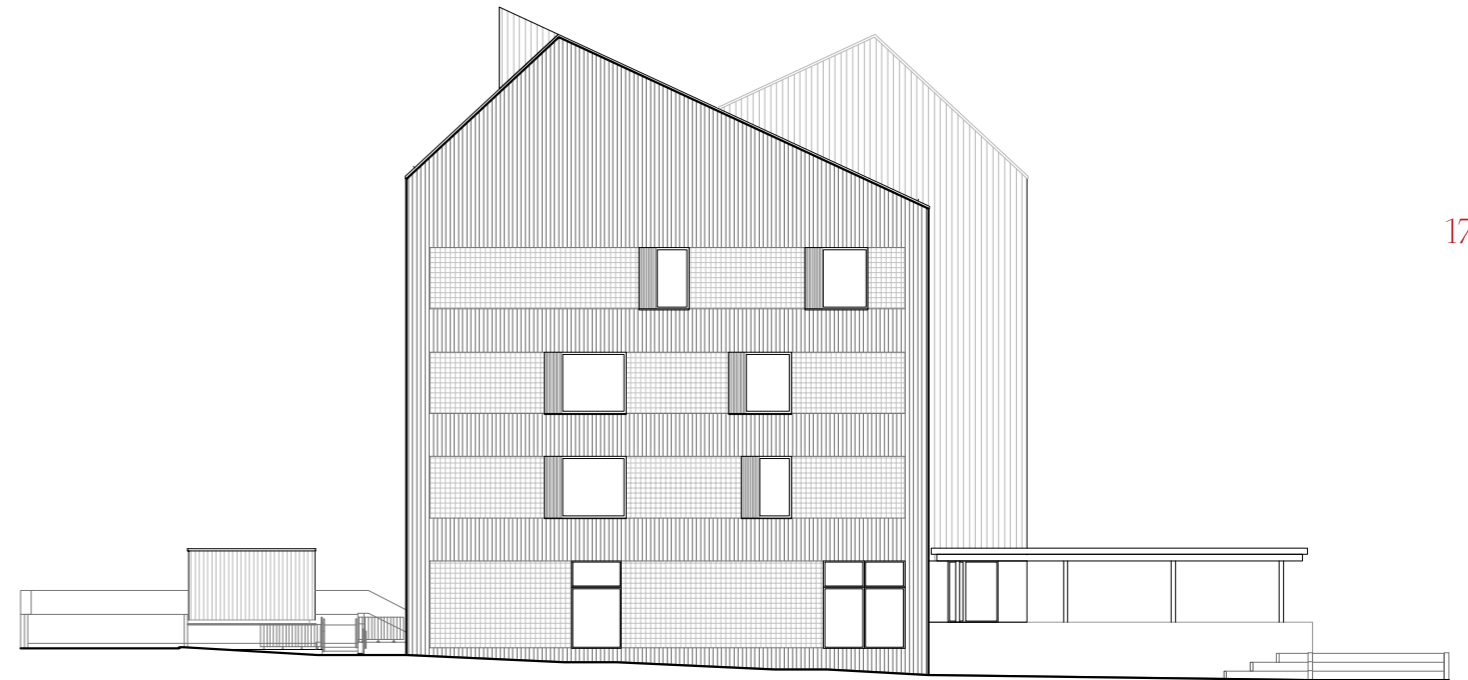
Das Gebäude wurde auf einem ehemaligen Parkplatz errichtet, sodass mit dieser Baumaßnahme keine zusätzlichen Flächen versiegelt wurden, als vor der Baumaßnahme schon versiegelt waren. Der Wille des Bauherrn war es, ein Gebäude zu errichten, welches, den Fokus auf den Ort, intelligente energetische Lösungen und den Komfort des Nutzers als oberste Prämisse in den Mittelpunkt der Planungsziele legte.

Die viergeschossige Schule bietet eine sehr komfortable Lernumgebung für 450 Schüler.

Im Ost-West ausgerichteten Gebäude sind 27 Klassenräume, ein administrativer Bereich, ein Mehrzweckraum und eine Cafeteria untergebracht.

Ein kompakter und funktionaler Grundriss und ein Gebäudevolumen in ländlicher Formensprache, welches Bezug auf die Lage nimmt, waren die Herangehensweisen um der Bauaufgabe gerecht zu werden.

Die Volumetrie ist eine reinterpretierte Zusammenführung von zwei asymmetrisch geneigten Dächern einer Scheune oder eines großen Landhauses. Damit nimmt man die Silhouette des Gebäudes von der Straße aus, als Teil der städtischen Raumordnung wahr. Diese Ansicht der geneigten Giebel wird vorrangig wahrgenommen und in dieser zeigt sich auch die unterschiedliche Neigung der beiden Dachhälften, welche sich über dem Haupteingang verschneiden.

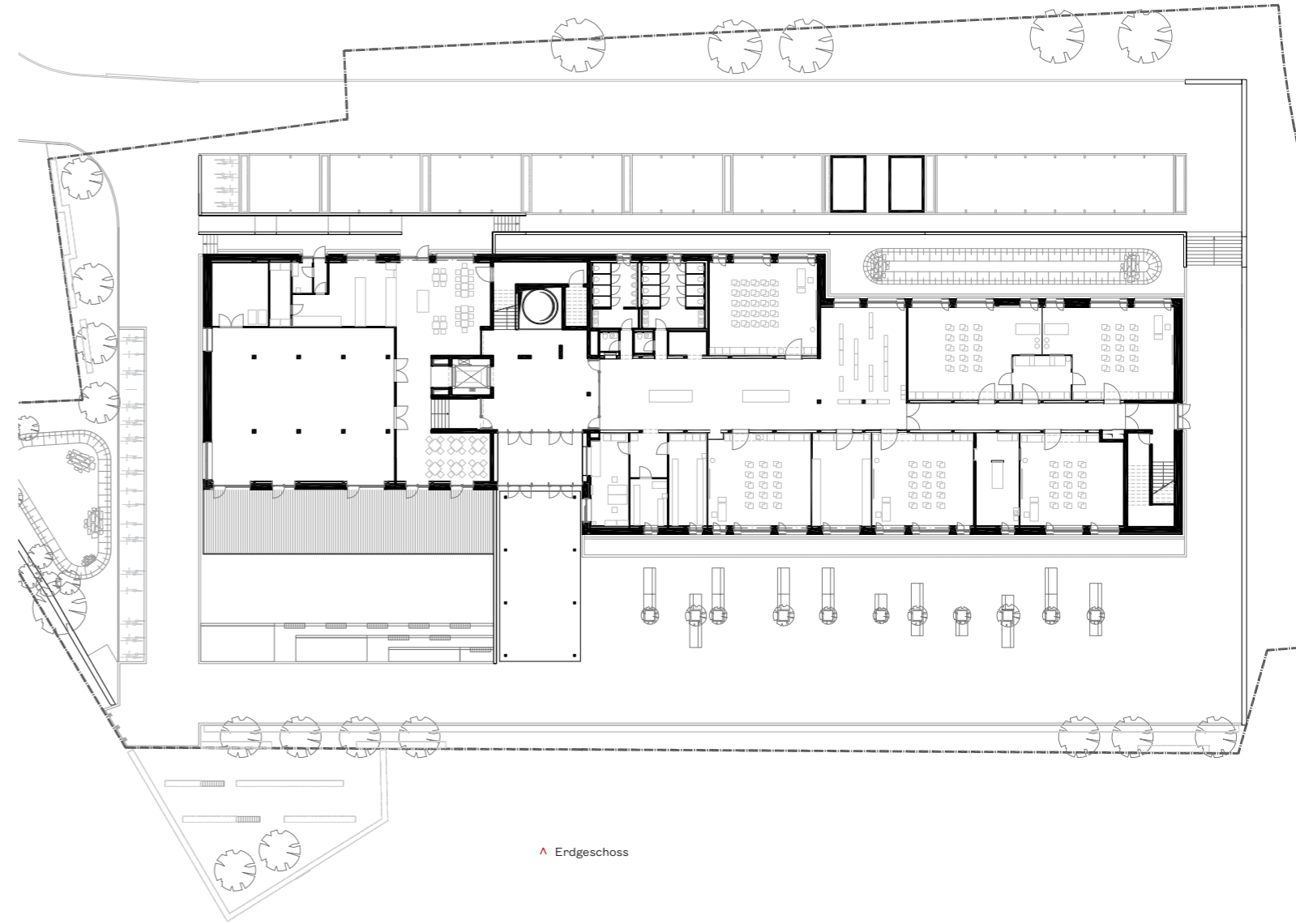


Die Volumetrie ist eine reinterpretierte Zusammenführung von zwei asymmetrisch geneigten Dächern einer Scheune oder eines großen Landhauses. Damit nimmt man die Silhouette des Gebäudes von der Straße aus, als Teil der städtischen Raumordnung wahr.

Der Entwurf versucht die Prämisse, das Gebäude so kompakt wie möglich umzusetzen, um Kosten und Energie zu sparen, ohne der reinen Funktionalität anheim zu fallen.

Damit zeigt sich, dass das Konzept von Anfang an integral gedacht werden musste. Hier waren das Volumen und der Gestaltungswille mit der Struktur der Statik eines Holzbaus, dem innovativen Heiz- und Lüftungskonzept und der Zielsetzung eines ökologischen Gebäudes in Einklang zu bringen.

Im Ost-West ausgerichteten Gebäude sind 27 Klassenräume, ein administrativer Bereich, ein Mehrzweckraum und eine Cafeteria untergebracht.



Ein kompakter und funktionaler Grundriss und ein Gebäudevolumen in ländlicher Formensprache, welches Bezug auf die Lage nimmt, waren die Herangehensweisen um der Bauaufgabe gerecht zu werden.



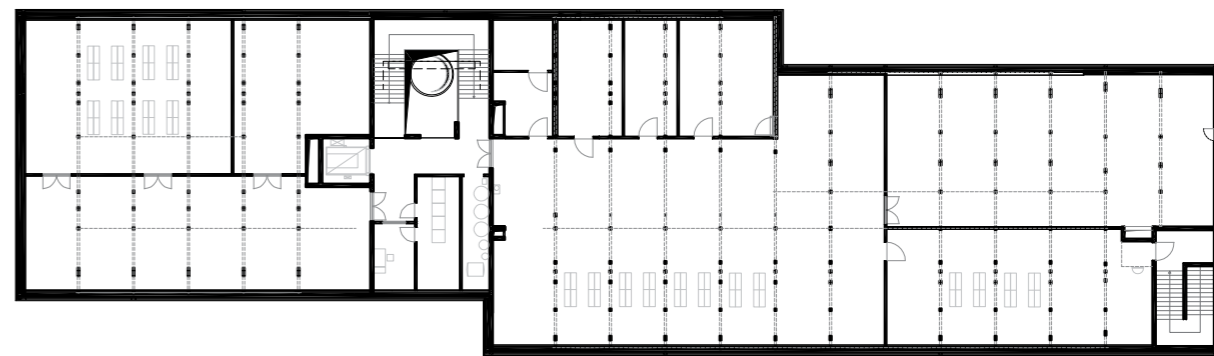
▲ Erstes Obergeschoss



▲ Drittes Obergeschoss



▲ Zweites Obergeschoss



▲ Dachgeschoss



Struktur und Hülle

Aus intensiven Vorstudien hat sich ergeben, dass die Grundstruktur des Gebäudes optimalerweise aus Holz sein sollte, damit die Graue Energie (die Energie, die zur Herstellung von Gütern sowie für Transport, Lagerung und Entsorgung benötigt wird), in diesem Fall am geringsten ist. Nach grundlegenden Überlegungen und Variantenabwägungen der unterschiedlichen Bauprinzipien im Holzbau, wurde eine Stützen-Träger-Konstruktion zurückbehalten, welche zwei wichtige Punkte löste:

1. Die Struktur selbst ist so flexibel, dass das Gebäude später leicht umgenutzt werden kann. Die leichten Trennwände zwischen den Räumen können z.B. einfach herausgenommen werden und eine freie Geschossfläche zur neuen Raumdisposition entstehen.
2. Der konsequente Einsatz von Holz als Baustoff hat einen positiven Einfluss auf die graue Energie. Das verbaute Holz bindet das CO₂ aus der Umwelt und im Falle eines Abrisses, kann das Holz demontiert und in den Kreislauf zurückgeführt werden.

Die tragenden Decken sind ebenfalls aus Holz und vereinen einerseits den Nutzen des tragenden Elements, und andererseits eine optimierte Akustik durch eine Perforierung der Deckenuntersicht in den Räumen. Auf Grund der grossen Spannweite von über 8m und zur Reduzierung der Holzmasse sind die Decken nicht aus Vollmaterial hergestellt, sondern als Hohlelemente, die den Anforderungen gerecht werden. Auch die Rückwände sind aus Holzplatten erstellt, welche als Pinwand genutzt werden können und die Sprachverständlichkeit im Raum optimieren.

Um dem Genius Loci gerecht zu werden und eine ehrliche Haut zur Struktur zu finden, ist die Fassade mit Holzlamellen bekleidet und die innenliegenden Wandelemente ebenfalls aus einer Holzstruktur erstellt. Lediglich die Fluchttreppenhäuser sind als aussteifende Elemente mit den entsprechenden Brandchutzanforderungen aus Beton hergestellt worden.

Um den statisch notwendigen Anteil an Beton so gering wie möglich zu halten und den möglichen Rückbau bis zum Ende durchzudenken, wurde auch

die Gründung mit in Betracht gezogen. Dazu wurden zum einen auf ein Kellergeschoss verzichtet, aber auch statt Betonpfählen, Rüttelstopfsäulen eingebracht. Das Prinzip besteht darin, dass in den Bodentiefe Löcher gebohrt werden, in welche Schotter eingebracht und verdichtet wird. Damit entstehen lokale Zonen erhöhter Festigkeit, welche die Lasten des Gebäudes tragen bzw. verteilen können. Diese Methode hat den Vorteil, dass im Sinne der Nachhaltigkeit bei einem Rückbau des Gebäudes kein Betonfundament in der Erde, sondern lediglich ungebundener Schotter bleibt.

Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit, Ökologie und Energieeffizienz bilden die Eckpfeiler für die Planung des neuen Schulgebäudes. Merkmale, wie optimierte Tageslichtverhältnisse, geringe Lärmemissionen, schadstoffarme Innenräume, gutes Innenraumklima und Baustoffe mit geringer Umweltbelastung stellen für die Planung des Lyzeums noch zusätzliche Anforderungen dar. Zusammengefasst wurden diese durch konsequente Planung und danach entsprechend des Schweizer Zertifikats Minergie-P-Eco umgesetzt.

Zusätzlich zu diesem Zertifikat war der Anspruch ein Plusenergiegebäude zu errichten. Dies wird durch zwei Maßnahmen ermöglicht:

1. Minimierung der Energieverluste durch die Außenhülle, durch eine sehr gute Dämmung aller Bauteile und eine kompakte Bauweise.
2. Einsatz erneuerbarer Energien. In diesem Fall Photovoltaikmodule auf dem Dach zur Erzeugung elektrischer Energie und Solarpaneele an den Fassaden zur Beheizung des Gebäudes.

wie bei dem architektonischen Konzept, der Planungsgrundidee zum Tragen, dass Weniger Mehr ist.

Im Vorfeld wurden zur Verifizierung der Annahmen dynamische Simulationen erstellt um das beste und effizienteste energetische Resultat zu erzielen.

Resümee

Dieses nachhaltige Gebäude ist aus architektonischer, wie auch technischer Sicht ein Pilotprojekt beruhend auf einem innovativem Konzept, sodass es in erster Linie dem Nutzer und im gleichen Zuge der Gemeinschaft zuträglich ist. Es zeigt, dass durch intelligente Planung ein Gebäude geschaffen werden kann, welches nicht teurer sein muss, als ein vergleichbares, konventionelles Gebäude und zugleich schneller errichtet werden kann. Damit kann ein ökologisches und ökonomisches Gebäude entstehen, welches durch die Flexibilität über Jahrzehnte genutzt werden kann.

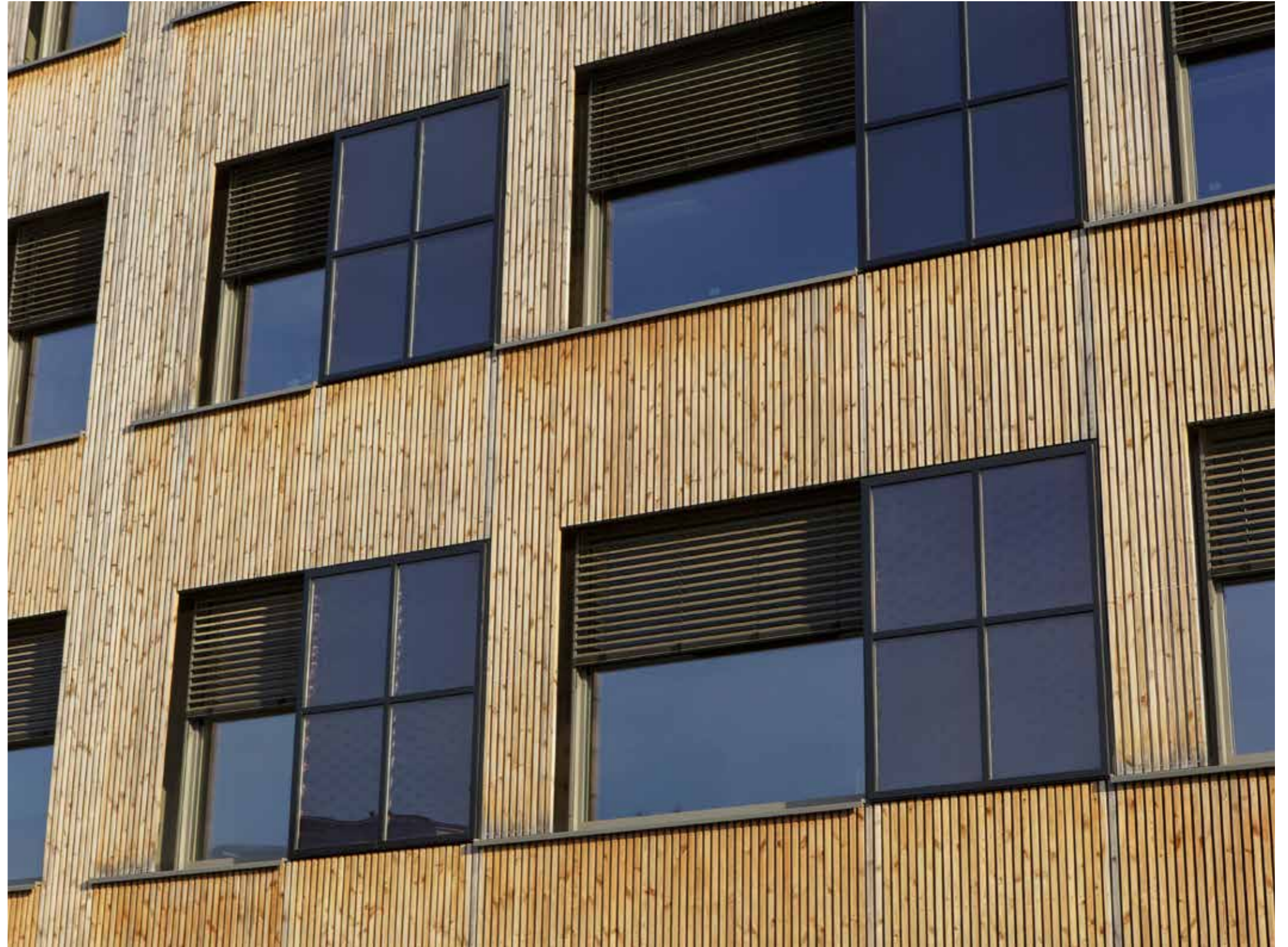
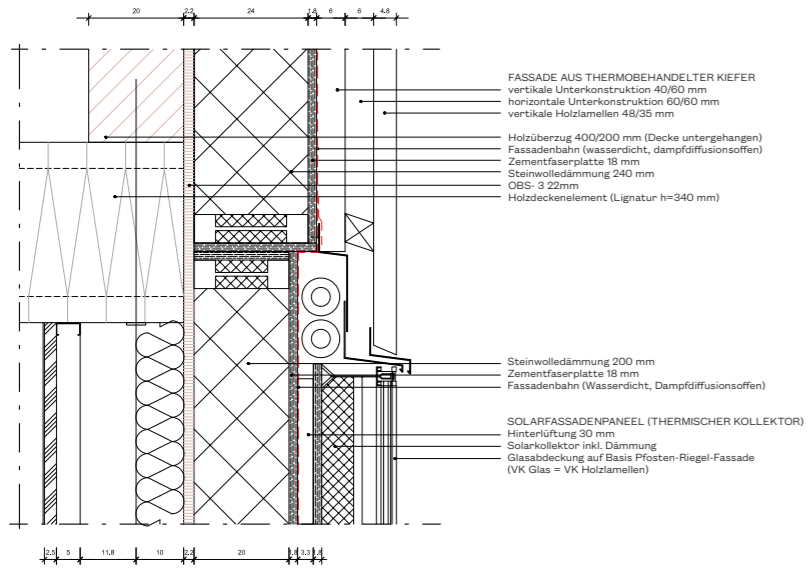
Wir wünschen uns, dass dieses Pilotprojekt viele Nachfolger findet und ermutigt für alle Bauaufgaben einen Schritt zurück zu gehen, um dann einen neuen Blick auf diese zu werfen um zukunftssträchtige Wege zu gehen.

Nimmt man dann die produzierte Energie, zieht die benötigte Energie zum Betrieb ab, so bleibt weiterhin ein Plus. Es erweist sich, dass ein aktuelles Gebäude mehr als nur autark betrieben werden kann.

Die genannten Kriterien haben Einfluss auf die gesamte Grundrissorganisation. Um die Tageslichtverhältnisse zu optimieren wurde der viergeschossige Baukörper in sich verschoben. Im mittleren Bereich der Flurzone, entsteht somit eine offene Begegnungs- und Kommunikationszone.

Durch die gewählte Neigung des Daches, die für die Fotovoltaikanlage notwendig ist, entsteht ein großzügiger Dachraum, der das Kellergeschoss ersetzt und für die Technik- und Nebenräume genutzt werden kann. Die Fotovoltaikmodule dienen gleichzeitig zur Dacheindeckung und bilden eine geschlossene und homogene Dachhaut als dachintegrierte Bauweise.

Die West- und die Südwestfassade sind mit Solarpaneelen belegt, welcher einen 90.000L großen Wassertank, im Mittelpunkt des Gebäudes mit Energie betankt. Dieser speichert die Energie für den Winter, welcher auch bei tiefen Temperaturen und in der Übergangszeit bei sonnigem Wetter wieder aufgeladen wird, und gibt die Energie über neu entwickelte Ventilator-konvektoren an die Nutzräume ab. Dieses Vorgehen hat zwei Hauptaspekte. Erstens wird die Energieversorgung sichtbar und greifbar. Der Tank steht im Zentrum des Haupttreppenhauses. Jeder Nutzer und Besucher läuft um ihn herum und wird sich des Ausmaßes bewusst. Und zweitens kommt ein Konzept zum Einsatz, welches nicht durch hochtechnische Raffinesse besticht, sondern auf physikalischen Grundregeln basiert und somit „smart“ ist. Dies kommt,



Um dem Genius Loci gerecht zu werden und eine ehrliche Haut zur Struktur zu finden, ist die Fassade mit Holzlamellen bekleidet und die innenliegenden Wandelemente ebenfalls aus einer Holzstruktur erstellt.

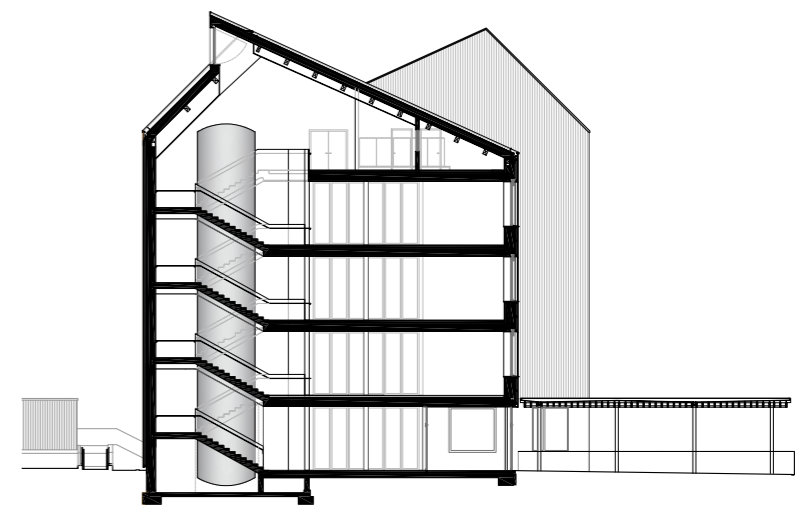
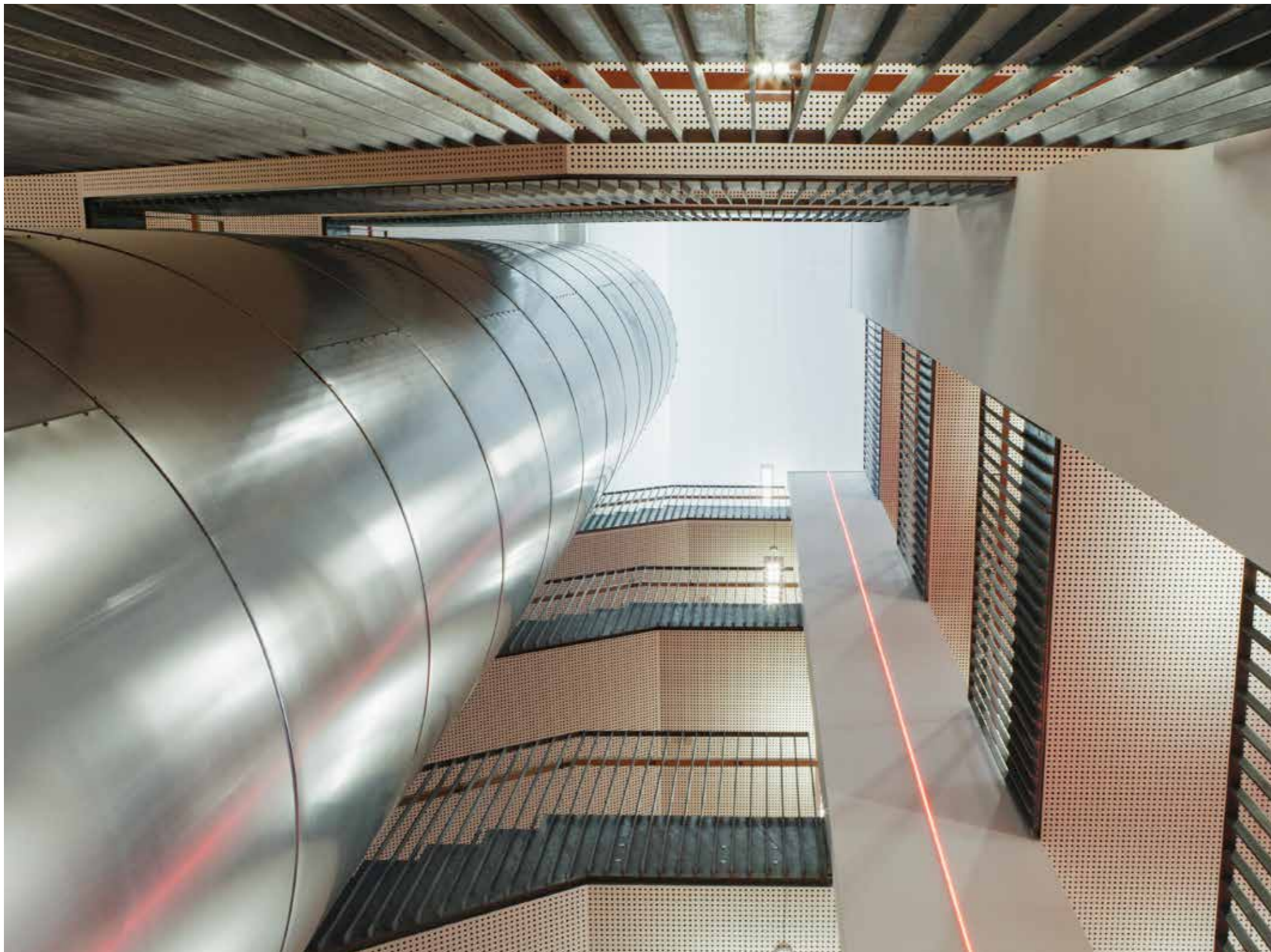


▾ Lehm-trockenbau im Flur
 ▲ Lehm-bauplatten
 ▲ Holz-unterkonstruktion

Nachhaltigkeit, Ökologie und Energieeffizienz bilden die Eckpfeiler für die Planung des neuen Schulgebäudes. Merkmale, wie optimierte Tageslichtverhältnisse, geringe Lärmemissionen, schadstoffarme Innenräume, gutes Innenraumklima und Baustoffe mit geringer Umweltbelastung stellen für die Planung des Lyzeums noch zusätzliche Anforderungen dar.

> Aufbau Aussenwand
 ▾ Aufbau Trockenbauwand





Die West- und die Südwestfassade sind mit Solarpaneelen belegt, welche einen 90.000L großen Wassertank, im Mittelpunkt des Gebäudes mit Energie betankt.



> Aufbau der Schrankwand



Die Struktur selbst ist so flexibel, dass das Gebäude später leicht umgenutzt werden kann. Die leichten Trennwände zwischen den Räumen können z.B. einfach herausgenommen werden und eine freie Geschossfläche entstehen kann.









Ein Plus Energie Gebäude

42

Graue Energie und Zertifizierung

Bedingt durch die ambitionierte Zielsetzung einer positiven Energiebilanz einschliesslich der Grauen Energie, d.h. derjenigen Energie, die im Herstellungsprozess der Baustoffe und bei der Erstellung des Gebäudes benötigt wird, war ein sehr bewusster und sorgfältiger Umgang mit den Ressourcen im Zusammenspiel mit der Architektur, Baustatik, Gebäudetechnik und der späteren Nutzung notwendig.

Das Minergie P-ECO Label zeichnet Projekte aus, die in Bezug auf den Primärenergiebedarf in der Erstellung und dem Betrieb, sowie hinsichtlich diverser ökologischen Kriterien höchsten Anforderungen genügen.

43



Nur durch eine deutliche Reduktion der Grauen Energie gegenüber einem herkömmlichen Gebäude war es möglich, ein wahres Plus-Energie-Gebäude mit deutlichem Überschuss in der Energieerzeugung zu realisieren. Denn je geringer der Energiebedarf auch in der Erstellung ist, desto weniger Energie muss die hauseigene Photovoltaikanlage produzieren, um eine positive Energiebilanz zu erzielen.

Zusätzlich sollte das Gebäude einen hohen Komfort aufweisen und eine in Bezug zur Nachhaltigkeit sehr gute Performance aufweisen, d.h. sowohl der Gesundheit der Nutzer, als auch der Umwelt zuträglich sein und keine ökologische Hypothek für zukünftige Generationen darstellen.

Als Nachweis für die Erreichung dieser Ziele entschied man sich für das Label Minergie-P-ECO – ein schweizer Zertifikat für nachhaltige Gebäude. Warum gerade dieses schweizer Label? Einerseits war Minergie-P-ECO zu Beginn der Planungen neu auf den Markt gekommen und galt als sehr innovativ. Andererseits zeichnet es – damals wie heute – Projekte aus, die in Bezug auf den Primärenergiebedarf in der Erstellung und dem Betrieb, sowie hinsichtlich diverser ökologischer Kriterien höchsten Anforderungen genügen. Gleichzeitig ist die Umsetzung des Labels mit einem vertretbaren Aufwand verbunden und ABP war geschlossen, weitere Erfahrungen mit Zertifizierungen zu sammeln. So ist das Projekt heute das erste Objekt in Luxemburg, das das Label Minergie-P-ECO trägt.

Graue Energie als wesentliche Einflussgrösse

Während des gesamten Planungsprozesses wurde grossen Wert daraufgelegt, das Projekt hinsichtlich seiner Energiebilanz zu optimieren. Dies war nicht zuletzt wichtig, um die Einstufung des Gebäudes als Plus-Energie-Haus zu erreichen. Im Hinblick auf die Minergie-P-ECO Zertifizierung ist eine Kontrolle der Grauen Energie zudem ein gutes Indiz für die Qualität eines Gebäudes.

Die Graue Energie setzt sich einerseits zusammen aus den konstruktiven Elementen, wie tragenden Wänden, Stützen und Decken, andererseits aus der Gebäudehülle und dem Ausbau der Gebäudetechnik inklusive der Photovoltaikmodule. Ergänzend sind Aushub und Fundament zu berücksichtigen, die beim

Projekt dank konsequenter Optimierung über den gesamten Planungsprozess jedoch nur einen vergleichsweise kleinen Teil ausmachen.

Variantevergleich unterschiedlicher Baukonstruktionen

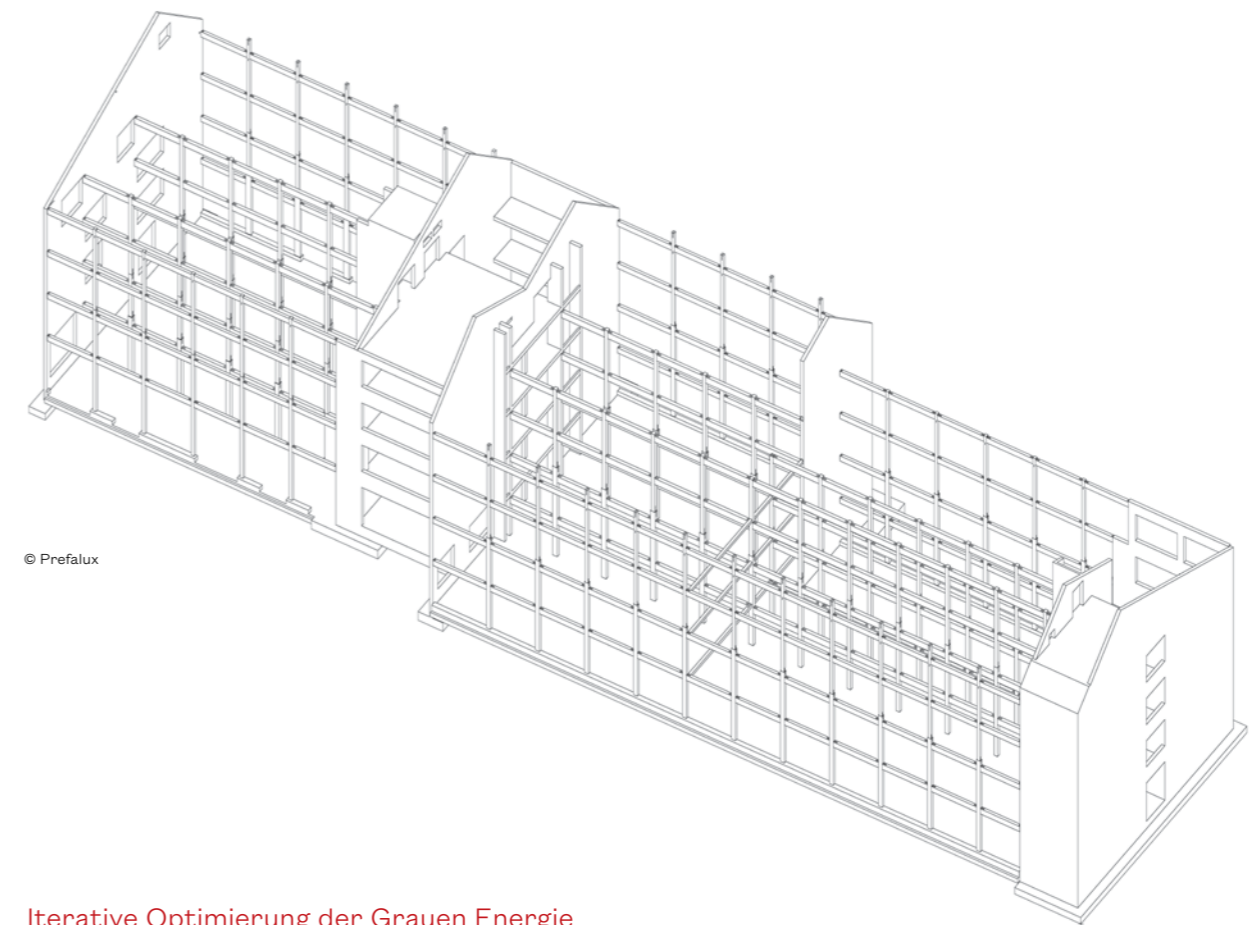
Die Berechnung der Grauen Energie wurde in zwei Schritte unterteilt, um den Planungsfortschritt möglichst gut zu unterstützen.

In einem ersten Schritt wurde die Graue Energie an einem repräsentativen Gebäudeabschnitt ermittelt. Ziel war es, jeweils Konstruktionsentscheide für Decken, tragende Wände, Fassaden, Dach und nicht-tragende Wände zu fällen. Für jedes Element wurden mehrere Varianten untersucht. Dieser Vergleich erfolgte auf Basis der Daten der schweizer Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (KBOB)¹. Sobald die Untersuchung der Varianten vorlag, wurden weitergehende Optimierungen getestet.

Für die Decken wurden beispielsweise folgende Varianten verglichen: Betondecke massiv, Holz-Beton-Verbunddecke als Rippendecke, Cobiax-Decke, Holz-Beton-Verbunddecke als Brettstapeldecke, Holz-Hohlkastendecke, sowie eine Rippendecke mit Brettsperrholz.

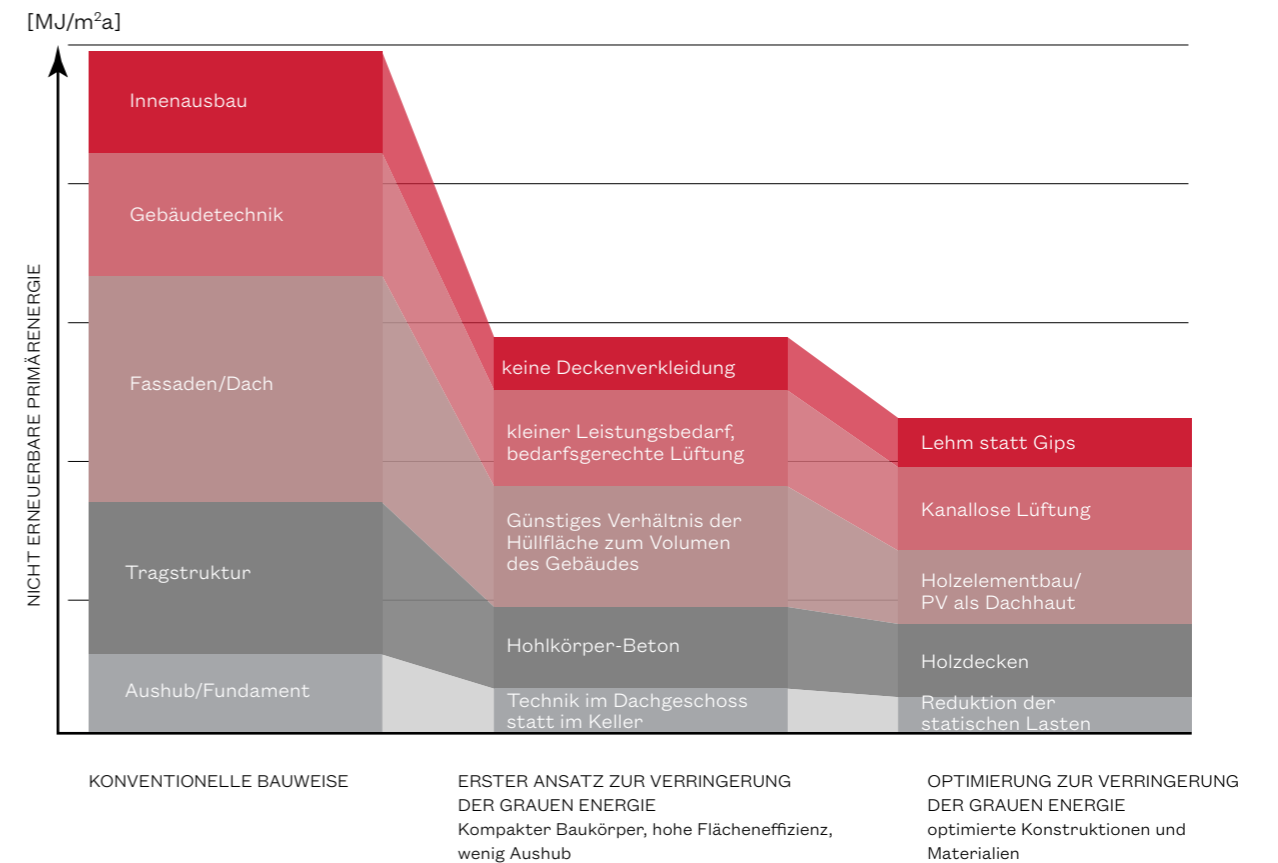
Bezüglich der Aussenwände wurden drei Varianten unter Berücksichtigung des Brandschutzkonzeptes untersucht und einer Variante ohne Einhaltung der Brandschutzanforderungen gegenübergestellt.

¹ Liste «Ökobilanzdaten im Baubereich» der Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren



© Prefalux

Iterative Optimierung der Grauen Energie



Die Ergebnisse der Auswertungen dieser Aussenwand-Varianten können der Abbildung Seite 49 entnommen werden – unter Berücksichtigung der Brandschutzanforderungen schnitt Variante II am besten ab.

Optimierung der Bilanz des Gesamtgebäudes

In einem zweiten Schritt wurde die Graue Energie für das gesamte Gebäude unter Berücksichtigung aller relevanten Gebäudebestandteile ermittelt, d.h. zusätzlich zu den oben genannten Bauteilen wurden Aushub, Fundamente, Gebäudetechnik und Innenausbau berücksichtigt. Auf der Basis dieser Berechnung war eine erste Abschätzung der Plus-Energie-Bilanz des Gebäudes möglich, die iterativ optimiert werden konnte (vgl. Abbildung Seite 45):

- Um im Bereich Aushub und Foundation Graue Energie einzusparen, wurden die Technikräume anstatt in den Keller ins Dachgeschoss verlegt und die Konstruktion in Bezug zu den statischen Lasten optimiert.
- In der Tragstruktur der Decken fiel der Entscheidung auf eine Holzkonstruktion, um auch hier eine möglichst kleine Menge Graue Energie zu erzeugen.
- Die Gebäudehülle ist im Vergleich zu einem herkömmlichen Gebäude enorm sparsam konzipiert. Das Verhältnis von Hüllfläche zum Volumen ist günstig, die Fassaden sind in Bezug zur Materialisierung optimiert und die Photovoltaikanlage ist in die Dachhaut integriert.
- Dank eines ausgeklügelten Gebäudetechnikkonzepts konnten die Anlagen effizient dimensioniert werden und die Lüftung erfolgt ohne Kanäle.
- Im Innenausbau wurde auf Deckenverkleidungen verzichtet und – wo immer möglich – Lehm anstelle von Gips eingesetzt.

Anwendbarkeit von schweizerischen Daten in Luxemburg

Als Basis für die Berechnungen der Grauen Energie dient in der Schweiz das «Merkblatt 2032» des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins

(SIA). Die Erstauflage des Merkblatts erschien zeitgleich mit dem Planungsbeginn im August 2009.

Für die spezifischen Werte der Grauen Energie wurde grundsätzlich die schweizer Liste «Ökobilanzdaten im Baubereich» der KBOB verwendet. Diese Liste beruht auf derecoinvent Datenbank, in der die Werte für eine Vielzahl von Prozessen für die Herstellung von Baustoffen dokumentiert sind.

Doch sind die schweizer Werte der Grauen Energie auf Luxemburg anwendbar? Sind nicht Produktionsprozesse und Transportwege unterschiedlich?

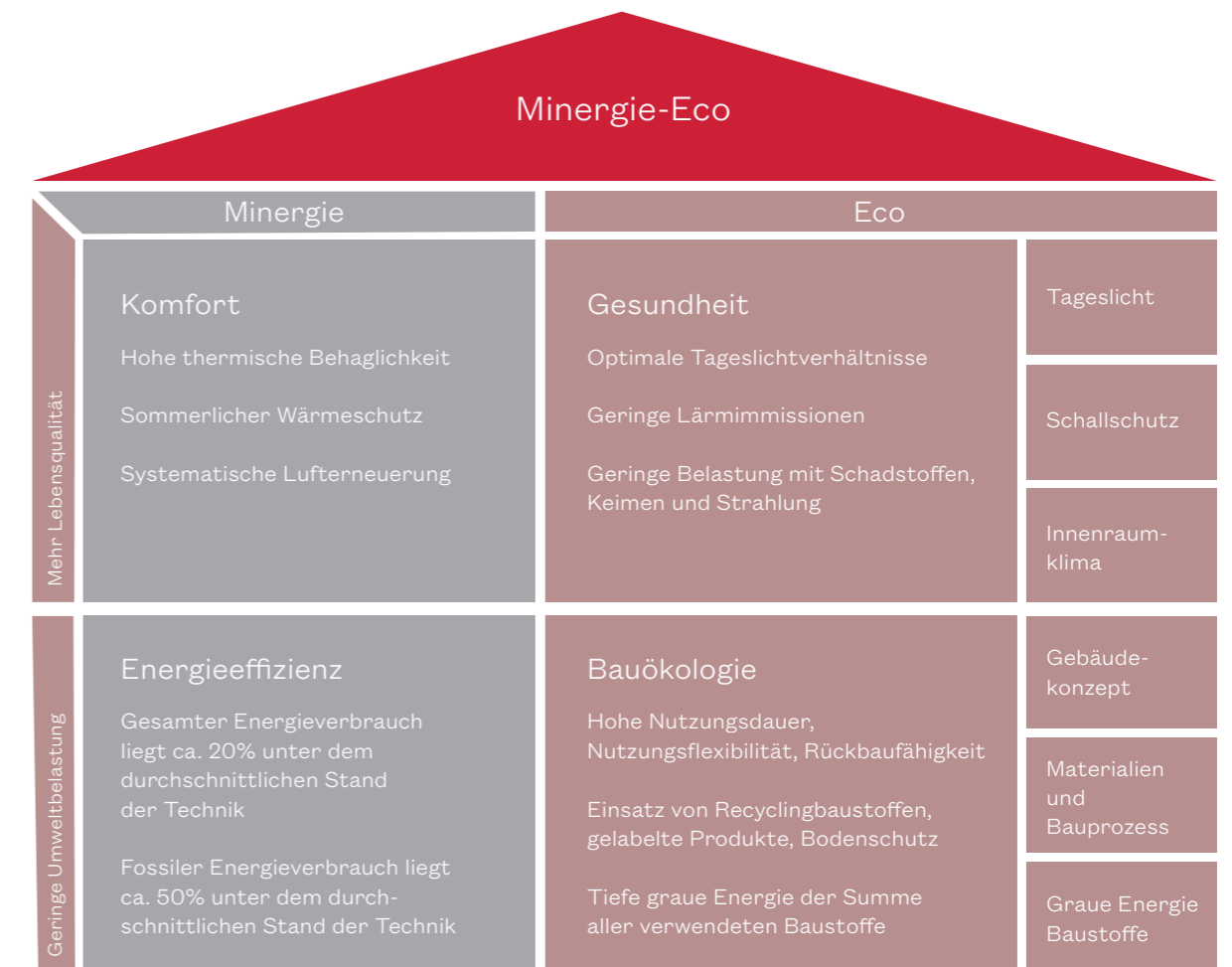
Um eine genauere Beurteilung der Grauen Energie für den Standort Luxemburg zu erhalten, wurden die spezifischen Werte der zu beurteilenden Baustoffe dahingehend überprüft, ob sich die zur Herstellung erforderlichen Prozesse in Luxemburg signifikant von denjenigen in der Schweiz unterscheiden. Wo dies der Fall war, beispielsweise bei Lehmbauplatten, dem Holzträgersystem und der zementgebundenen Spanplatte, wurden neue spezifische Werte für die Graue Energie ermittelt, die in eine parallel geführte Berechnung eingegangen sind. Für diese Beurteilung wurde das EBP-Team von einem externen Experten der schweizer Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) unterstützt.

Die EMPA ist auch in der Schweiz verantwortlich für die Pflege der KBOB-Ökobilanzdatenliste und kennt die Prozesse, die hinter den darin aufgeführten Zahlen stehen. Damit die Vergleichbarkeit mit anderen Projekten erhalten bleibt, wurde der Detaillierungsgrad der KBOB-Liste angeglichen.

Minergie-P-ECO

Das Minergie-P-ECO Zertifikat zeichnet in der Schweiz Projekte aus, die einen sehr niedrigen Energieverbrauch im Betrieb aufweisen und gleichzeitig ökologisch hochwertig erstellt wurden. Die Zertifizierung nach Minergie-P-ECO besteht aus zwei Teilen, dem Nachweis für «Minergie-P» und demjenigen für «ECO». Beide Nachweise mussten zweimal – mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad – erbracht werden. Der erste Nachweis für die Vorzertifizierung wurde auf dem Stand des Vorprojekts eingereicht. Dazu wurde eine erste – der Planungstiefe angepasste – Überprüfung des Gebäudes durchgeführt. Der endgültige Nachweis, bzw. die definitive Zertifizierung, erfolgte nach der Bauvollendung. Die Abbildung zeigt die in Minergie-P-ECO abgebildeten Themen im Detail.

Aspekte einer Minergie-Eco-Zertifizierung



Auswirkungen der Zertifizierung auf das Projekt

Alle Fachplaner und Unternehmer waren gefordert, die Anforderungen von Minergie-P-ECO zu beachten:

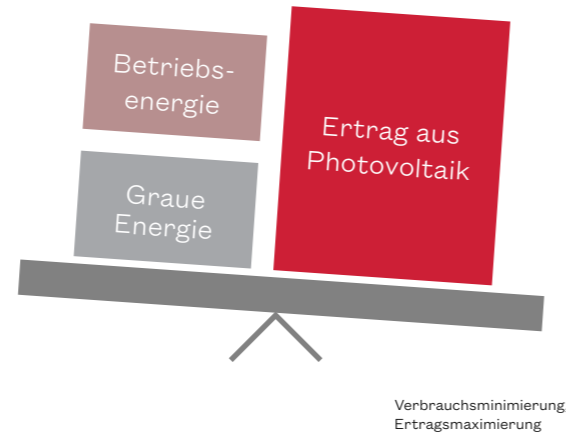
- Für Minergie-ECO bestehen Ausschlusskriterien, die früh im Planungsprozess zu klären und einzuhalten waren. Auch bei kleinen Verletzungen dieser Ausschlusskriterien kann das Zertifikat nicht ausgestellt werden.
- Insbesondere in der Ausschreibung war sicher zu stellen, dass diese Vorbemerkungen bezüglich der Nachhaltigkeitsanforderungen enthalten sind und die Wahl der ausgeschriebenen Materialien gemäss dem Label erfolgt.
- Das Label erfordert eine Sensibilisierung der beteiligten Unternehmen vor und während der Realisierung, sowie die Dokumentation der eingesetzten Materialien gemäss schweizer BKP²-Gruppen.
- Die Qualität wurde mittels Materialdeklarationen, Baustellenkontrollen, einem Blowerdoor-Test und Raumluft- sowie Schallschutzmessungen sichergestellt.

Neben diesen übergeordneten Massnahmen waren punktuell zudem sehr spezifische Herausforderungen zu lösen: Um den saisonalen Solarspeicher optimal nutzen zu können, mussten spezielle Wandheizgeräte entwickelt werden, mit welchen zudem unangenehme Temperaturüberschwingungen in der

² Baukostenplan

Heizperiode verhindert werden können. Für die Umsetzung eines neuartigen Lüftungskonzeptes, welches natürliche und mechanische Lüftung raffiniert kombiniert, mussten zudem projektspezifische Luftüberströmeinheiten entwickelt werden. Dadurch konnte zudem auf Lüftungskanäle an den Korridordecken verzichtet werden, allerdings war für beide Neuentwicklungen der Bau eines Prototyps notwendig. Holzwerkstoffe mit einer MUF-Verklebung, d.h. mit heiss aushärtendem Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Harz, waren aufgrund der Minergie-ECO Ausschlusskriterien nicht zugelassen, wodurch die Auswahl der Hersteller des gewählten Deckensystems weiter eingeschränkt und die Evaluation fachlich und terminlich noch anspruchsvoller wurde.

Nach Abschluss des Projekts wird nun aber deutlich, dass mit dem Gebäude in Bezug zu Energiebedarf und Nachhaltigkeit ein aussergewöhnliches Objekt entstanden ist, das angesichts der aktuellen Klimadebatte eher den neuen State-of-the-Art bilden sollte, denn eine vielbeachtete Ausnahme.



Ausschlusskriterien

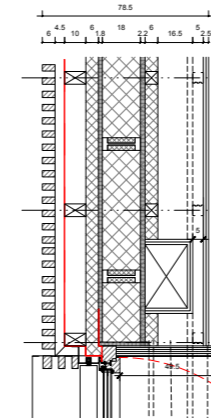
Gesundheit

- Biozide und Holzmittel in Innenräumen
- Lösemittelverdünnbare Produkte in Innenräumen
- Einsatz von Produkten, welche Formaldehyd in relevanten Mengen emittieren
- Fehlender Gebäudecheck auf Schadstoffe bei Modernisierung

Bauökologie

- Schwermetallhaltige Baustoffe (Blei sowie grossflächige Aussenanwendungen von Kupfer und Titan-Zink an Dach oder Fassade ohne Einbau eines Filters für das anfallende Meteorwasser)
- Ungenügender Einsatz von Recycling-Beton
- Aussereuropäisches Holz ohne Nachhaltigkeitszertifikat
- Montage- und Füllschäume

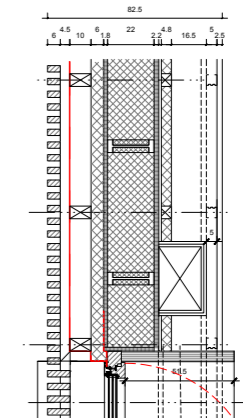
Vergleich der grauen Energie für die Aussenwandvarianten, unter Berücksichtigung des Brandschutzkonzeptes. Gegenübergestellt werden die Dämmstoffe Zellulose u. Mineralwolle



VARIANTE I

A. DÄMMUNG MINERALWOLLE 30 CM

BAUSTOFFKL. A1, DICHTER 80 KG/M ³ , λ = 0,035 W/MK	
0,30 M * 80 KG/M ³ * 21,9 MJ/KG =	525,60 MJ/M ²
B. OSB -PLATTE KL. 3 18 MM, 22 MM	
BAUSTOFFKL. B2, DICHTER 600 KG/M ³	
0,04 M * 600 KG/M ³ * 14,0 MJ/KG =	336,00 MJ/M ²
C. VOLLHOLZPROFILE NH 6/6 CM	
DICHTER 470 KG/M ³	
2(0,06M*0,06M)/0,625M * 470 KG * 2,57MJ/KG =	13,92 MJ/M ²
D. STEICO - HOLZSTÄNDERWANDSTÜTZE	
DICHTER VH GURTE 470 KG/M ³ ,	
DICHTER STEGE HARTFASERPLATTE 800 KG/M ³	
2(0,06M*0,045M)/0,625M*470KG/M ³ *2,57MJ/KG =	10,43 MJ/M ²
(0,006M*0,11M)/0,625M*800KG/M ³ *12,9MJ/KG =	10,90 MJ/M ²
GRAUE ENERGIE	896,85 MJ/M²

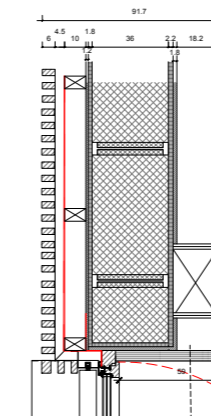


VARIANTE II

A. DÄMMUNG MINERALWOLLE 2 X 6 CM

BAUSTOFFKL. A1, DICHTER 80 KG/M ³ , λ = 0,035 W/MK	
0,12 M * 80 KG/M ³ * 21,9 MJ/KG =	210,24 MJ/M ²
B. OSB -PLATTE KL. 3 18 MM, 22 MM	
BAUSTOFFKL. B2, DICHTER 600 KG/M ³	
0,04 M * 600 KG/M ³ * 14,0 MJ/KG =	336,00 MJ/M ²
C. VOLLHOLZPROFILE NH 6/6 CM	
DICHTER 470 KG/M ³	
2(0,06M*0,06M)/0,625M * 470 KG/M ³ * 2,52 MJ/KG =	13,92 MJ/M ²
D. DÄMMUNG ZELLULOSE 22 CM	
BAUSTOFFKL. B2, DICHTER 70 KG/M ³ , λ = 0,040 W/MK	
0,22 M * 70 KG/M ³ * 7,14 MJ/KG =	114,73 MJ/M ²
D. STEICO - HOLZSTÄNDERWANDSTÜTZE	
DICHTER VH GURTE 470 KG/M ³ ,	
DICHTER STEGE HARTFASERPLATTE 800 KG/M ³	
2(0,06M*0,045M)/0,625M*470KG/M ³ *2,32MJ/KG =	10,43 MJ/M ²
(0,006M*0,15M)/0,625M*800KG/M ³ *12,9MJ/KG =	14,86 MJ/M ²
GRAUE ENERGIE	700,18 MJ/M²

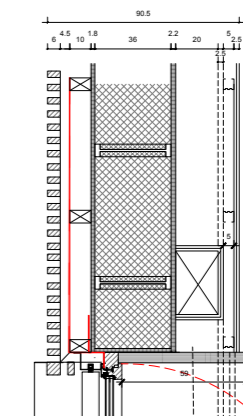
Wandaufbau:
Doppel-T-Träger, Beplankung aussen u. innen mit einer diffusionsoffenen OSB-Platte.
Hinterlüftete Fassade aus Vollholzprofilen.
Stütze mit einer Brandschutzbekleidung vorgesehen (Kapselklasse K2 60).
Raumseitige Bekleidung als Ständerwand doppelbeplankt.



VARIANTE III

A. DÄMMUNG ZELLULOSE 36 CM

BAUSTOFFKL. B2, DICHTER 70 KG/M ³ , λ = 0,040 W/MK	
0,36 M * 70 KG/M ³ * 7,45 MJ/KG =	187,74 MJ/M ²
B. OSB -PLATTE KL. 3 18 MM, 22 MM	
BAUSTOFFKL. B2, DICHTER 600 KG/M ³	
0,04 M * 600 KG/M ³ * 14,0 MJ/KG =	336,00 MJ/M ²
C. FASERZEMENTPLATTE 12 MM	
DICHTER 1450 KG/M ³	
0,012 M * 1450KG/M ³ * 11,0 MJ/KG =	191,40 MJ/M ²
D. GKF- PLATTE 18 MM	
BAUSTOFFKLASSE A2, DICHTER 1150 KG/M ³	
0,018 M * 1150KG/M ³ * 5,01 MJ/KG =	103,70 MJ/M ²
D. STEICO - HOLZSTÄNDERWANDSTÜTZE	
DICHTER VH GURTE 470 KG/M ³ ,	
DICHTER STEGE HARTFASERPLATTE 800 KG/M ³	
2(0,06M*0,045M)/0,625M*470KG/M ³ *2,57MJ/KG =	10,43 MJ/M ²
(0,006M*0,29M)/0,625M*800KG/M ³ *12,9MJ/KG =	28,73 MJ/M ²
GRAUE ENERGIE	858,00 MJ/M²



VARIANTE IV

A. DÄMMUNG ZELLULOSE 36 CM

BAUSTOFFKL. B2, DICHTER 70 KG/M ³ , λ = 0,040 W/MK	
0,36 M * 70 KG/M ³ * 7,45 MJ/KG =	187,74 MJ/M ²
B. OSB -PLATTE KL. 3 18 MM, 22 MM	
BAUSTOFFKL. B2, DICHTER 600 KG/M ³	
0,04 M * 600 KG/M ³ * 14 MJ/KG =	336,00 MJ/M ²
D. STEICO - HOLZSTÄNDERWANDSTÜTZE	
DICHTER VH GURTE 470 KG/M ³ ,	
DICHTER STEGE HARTFASERPLATTE 800 KG/M ³	
2(0,06M*0,045M)/0,625M*470KG/M ³ *2,57MJ/KG =	10,43 MJ/M ²
(0,006M*0,29M)/0,625M*800KG/M ³ *12,9MJ/KG =	28,73 MJ/M ²
GRAUE ENERGIE	562,90 MJ/M²

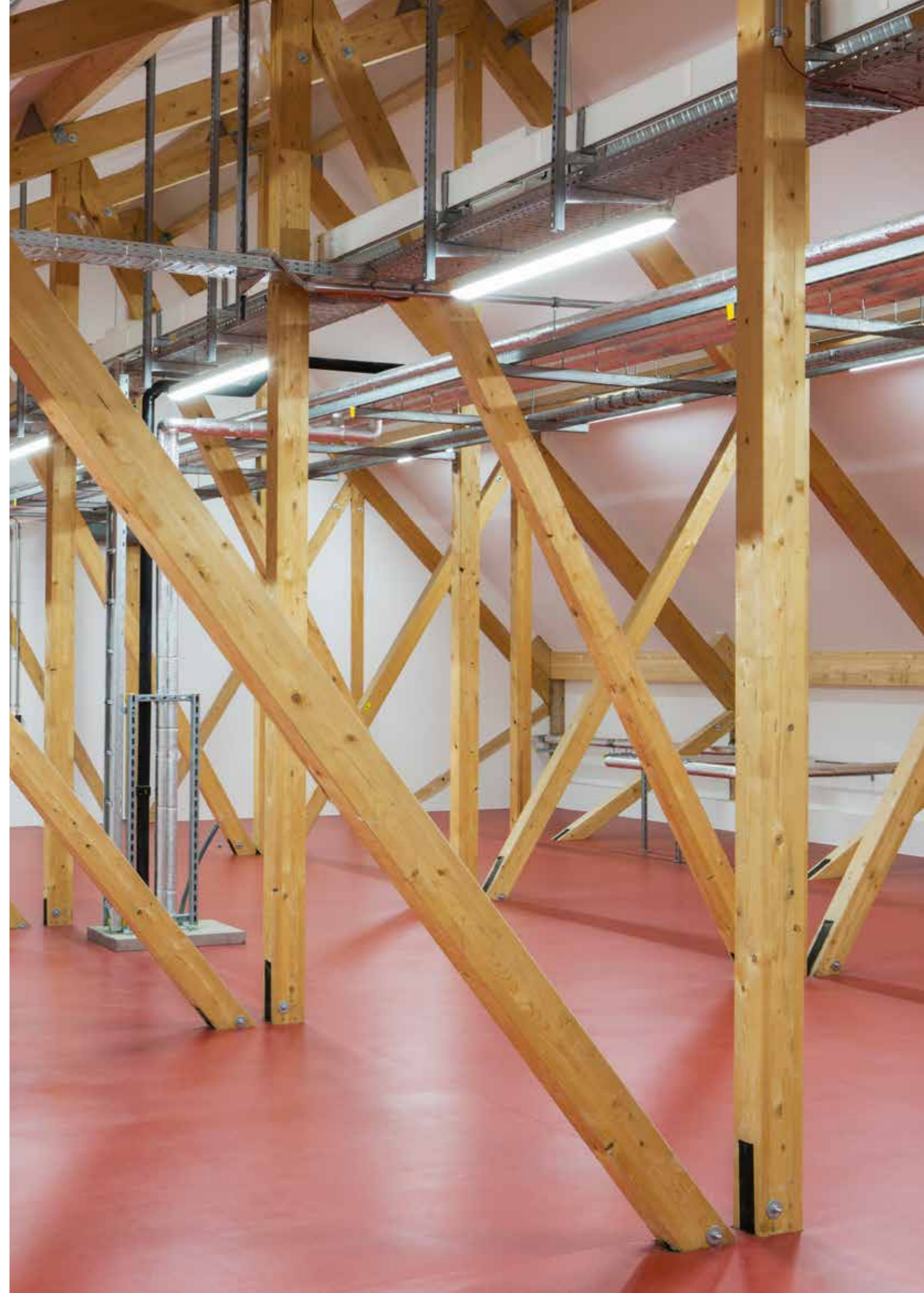
Ingenieurleistungen und
Entwurf des Tragwerkes

50

Tragwerksentwurf und Planung der Außenanlagen

Die Herausforderungen an den Entwurf eines Tragwerkes unter nachhaltigen Zielvorgaben und Zwangspunkten ist nicht mit den herkömmlichen Ingenieurleistungen zum Entwurf des Tragwerkes zu vergleichen.

Bei jedem einzelnen Planungsschritt sowie bei jedem Detailvorschlag sind die Einflüsse aus Entscheidungen des Tragwerksplaners auf die Gewerke anderer Fachplaner sowie auf die Energiebilanzierung des Gebäudes insgesamt vorab zu erkennen, zu untersuchen und im Sinne einer integralen Gesamtprojektplanung zur Erfüllung der gesetzten Zielvorgaben in gemeinsamer Absprache innerhalb des Planungsteams abzuwägen.



Das Fundament

Um den von der Bauherrschaft vorgegebenen Planungsvorgaben des Bauvorhabens Rechnung zu tragen, wurde, trotz des anstehenden, nicht ausreichend tragfähigen Baugrundes, bewusst auf eine Tiefengründung mittels verrohrten Bohrpfehlen verzichtet. Da sich das Baufeld in unmittelbarer Nähe des Flusses Wark befindet, wurde zudem Grundwasserstände oberhalb des tragfähigen Baugrundes sondiert. Somit war klar, dass es zu einer sicheren Gründung des Gebäudes einer Tiefengründung oder mindestens einer statisch wirksamen Baugrundverbesserung bedurfte.

Im Zuge der Baugrunderkundung wurde festgestellt, dass sich ausreichend tragfähige Kies-schichten erst in einer Tiefe von etwa 4,0 bis 5,0 m unterhalb der Urgeländes befinden. Die darüberliegenden sandig-schluffigen Bodenschichten, teilweise aus Auffüllungen bestehend, sind für die abzutragenden Gebäudelasten nicht ausreichend tragfähig. Eine Baugrundverbesserung mittels sogenannten Rüttelstopfsäulen wurde ausgeführt. Bei diesem Verfahren des Spezialtiefbaus wird ein Tiefenrüttler mit ovalem Querschnitt durch die weniger tragfähigen Bodenschichten bis zur tragfähigen Schicht in den Boden eingetrieben. Hierbei fällt kein Aushub an, die weniger tragfähigen Bodenschichten werden durch die Rüttelbewegungen des Tiefenrüttlers verdichtet und durch die Einführung des Gerätes seitlich verdrängte Erdreich trägt zu einer Verfestigung der weniger tragfähigen Bodenschichten bei. Auf dem ausreichend tragfähigen Baugrund angekommen, wird der Tiefenrüttler unter Zugabe von Natursteinschotter stufenweise nach oben zurückgezogen. Der Schotter wird in den entstandenen Hohlraum gestopft und eingerüttelt. Somit entstehen auf tragfähigem Baugrund aufstehende Kiessäulen, welche, zusammen mit dem durch dieses Verfahren verfestigten weniger tragfähigen Bodenschichten sowie einer Schotterpackung oberhalb der Säulenköpfe eine sichere Abtragung der Gründungslasten in den Baugrund bei minimalem Aushub und Materialaufwand ermöglichen. Bei einem Gebäuderückbau bleiben keine Stahlbetonbauteile im Boden zurück. Dieses Verfahren des Spezialtiefbaus war am besten geeignet, um den hohen Zielvorgaben dieses Bauvorhabens gerecht zu werden.

Auf der tragfähigen Plattform, welche durch diese Baugrundverbesserung geschaffen wurde, werden die Gründungslasten des Bauwerks mittels Einzel- und Streifenfundamenten aus Stahlbeton abgetragen. Flächig wurde auf diese Plattform eine nicht-tragende Stahlbetonbodenplatte aufgebracht.

Das Tragwerk

In Anbetracht der klar definierten Zielvorgaben wurde schnell klar, dass eine Entscheidung für ein an dieses Bauvorhaben angepasstes Tragwerkskonzept nicht nur nach statischen, technischen, wirtschaftlichen oder gar philosophischen Gesichtspunkten getroffen werden konnte. Anfangs wurde eine ausgiebige und umfassende Variantenstudie mehrerer Tragwerkssysteme erstellt. Anhand von vorher gemeinsam definierten Spannweiten und Lastannahmen wurde ein an das Gebäude angepasstes Standardsystem entworfen, welche der Grundrissvorplanung der einzelnen Geschossen Rechnung trägt. Insgesamt wurden 14 verschiedene Deckensysteme mit den dazugehörigen Bauteilen zur vertikalen Lastabtragung (Wände, Träger, Stützen) vorbemessen und untersucht. Ziel dieser Studie war es, eine für das zu planende Gebäude maßgeschneiderte, möglichst einfach verständliche sowie nach objektiven Kriterien erstellte Matrix zu entwickeln, welche der Bauherrschaft und dem Planerteam eine klare Basis zur Entscheidungsfindung bei der Festlegung des optimalen Tragwerkskonzeptes liefert.

Im Einzelnen wurden folgende Systeme genauer betrachtet und verglichen: Linien- und punktlagerte Stahlbetondecken mit und ohne eingelassene Verdrängungskörper, Stahl- und Stahlbetonverbunddecke, Holz-Stahlbeton Verbunddecke als Rippendecke oder als Plattendecke mit ebener oder



< Montage des Holzbaus

> Unverkleidetes Holzskelett mit aufliegender Holzhohlkastendecke

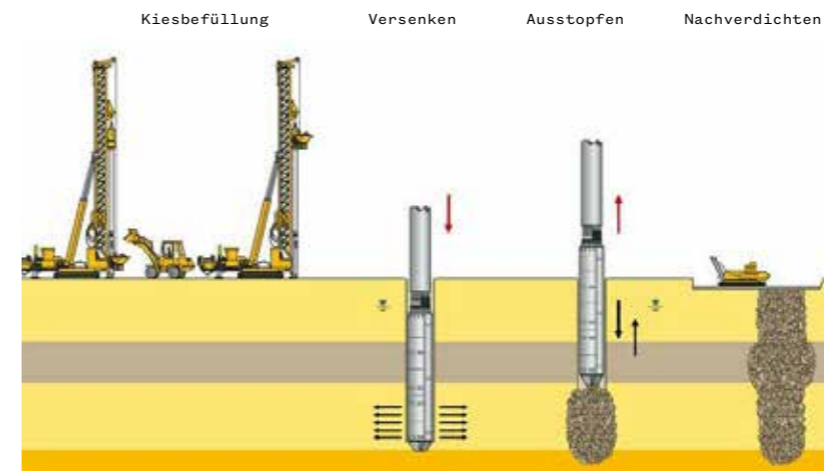


< Einzelfundamente vor dem Einbau der Bodenplatte



> Ausführung der Rüttelstopfsäulen

>> Oberkante einer Rüttelstopfsäule unmittelbar nach Fertigstellung



< Prinzip der Rüttelstopfsäulen
© Keller Grundbau



↗ Detailaufnahme eines Knotenpunktes des Holzskelettes

↗ Tageslichtoptimierung durch sturzfremde Ausbildung im Fensterbereich der Außenfassade

↗ Schnitt in der 3D-Darstellung von der Aussenfassade und der tragenden Decke

Aus sämtlichen vorgenannten Überlegungen und Diskussionen resultierte ein gerichteter Holzbau mit rechtwinklig angeordneten Hauptachsen.



↘ Holzskelett während der Montage

In Anbetracht der klar definierten Zielvorgaben wurde schnell klar, dass eine Entscheidung für ein an dieses Bauvorhaben angepasstes Tragwerkskonzept nicht nur nach statischen, technischen, wirtschaftlichen oder gar philosophischen Gesichtspunkten getroffen werden konnte.





gerippter Unterseite, Massivholzdecke als Brettsperrholz- oder Brettstapeldecke, Rippendecke aus Holz, sowie mehrere Systeme von Holz-Hohlkastendecken. Da auch die nutzbare Massenträgheit in dieser Untersuchung eine wichtige Rolle eingenommen hat, wurden komplette Deckensysteme (also jeweils tragende Decke inklusive Fußbodenaufbau) untersucht. Die Bewertung dieser Systeme wurden nach folgenden Kriterien geführt: Statisch-technische Anwendung und Sinnhaftigkeit, Verbrauch an grauer Energie, Verbrauch an Primärenergie, Emission von Treibhausgasen, Brandschutzanforderungen, Gebrauchstauglichkeitsanforderungen (Empfindlichkeit auf Durchbiegungen und Schwingungsanfälligkeit), Schallschutzanforderungen (Luftschalldämmmaß und Trittschallschutz), Behaglichkeit sowie aus dem Tragwerk resultierende Baukosten umgelegt auf die Deckenfläche.

Zudem wurde auch der Einfluss des Tragwerkes auf die lastabtragenden Bauteile bewertet, um dem Umstand zu erfassen, dass Systeme mit einem geringeren Eigengewicht bei gleichbleibender Nutzlast

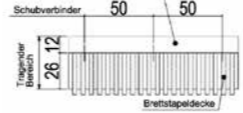

auch zum Beispiel Ersparnisse im Bereich der Fundamente mit sich bringen, dies sowohl wirtschaftlich als auch ökologisch. Auf Basis dieser umfassenden Studie hat sich herausgestellt, dass Holzdecken bestehend aus flächigen Hohlkastenelementen, welche einem Holzskelett aus Brettschichtholz aufliegen, das optimale System in Bezug auf die definierten Randbedingungen darstellen. Um die angestrebte hohe Massenträgheit des Deckensystems zu erreichen, aber auch um den akustischen Anforderun-

Systemvergleich Deckenvarianten (statisch erforderliche Konstruktion)

VARIANTE NUMMER	1	2
SYSTEM	STAHLBETONDECKE	COBIAX-FLACHDECKE
SYSTEMSKIZZE		
SYSTEMBESCHREIBUNG	STAHLBETONDECKE IN ORTBETON- ODER HALBFERTIGTEILBAUWEISE	STAHLBETONFLACHDECKE H=30 MIT VERDRÄNGUNGSKÖRPERN COBIAX CBCM-S-180
RESULTIERENDE BAUHÖHE NUR STATISCHES DECKENSYSTEM	CM	
ANNAHMEN STATISCHES SYSTEM	FLACHDECKE PUNKTGELAGERT TEILS DURCHLAUFEND	FLACHDECKE PUNKTGELAGERT, TEILS DURCHLAUFEND
RESULTIERENDE EIGENLAST DECKENKONSTRUKTION	KG/M2	
SUMME GRAUE ENERGIE (BASIS: KBOB):	MJ/M2	
DIFFERENZ GEGENÜBER VARIANTE 1	%	
SUMME PRIMÄRENERGIE GESAMT (BASIS: KBOB):	MJ/M2	
DIFFERENZ GEGENÜBER VARIANTE 1	%	
SUMME TREIBHAUSGAS- EMISSIONEN (BASIS: KBOB):	KG/M2	
DIFFERENZ GEGENÜBER VARIANTE 1	%	
BRANDSCHUTZ - ANFORDERUNG	F90-B	F90-B
DURCHBIEGUNGSNACHWEISE -	ERFÜLLT (L/500)	ERFÜLLT (L/500; NACHWEIS DURCH HERRSTELLER)
GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT		
SCHWINGUNGSNACHWEISE - GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT	NICHT ERFORDERLICH	NICHT ERFORDERLICH
SCHALLSCHUTZ - LUFTSCHALL	NICHT NACHGEWIESEN	NICHT NACHGEWIESEN
SCHALLSCHUTZ - TRITTSCHALL	NICHT NACHGEWIESEN	NICHT NACHGEWIESEN
GESCHÄTZTE BALKOSTEN NUR DECKE, GERUNDET [€/M2]	150,00	160,00

Aus Brandschutzgründen sowie zur Gebäudeaussteifung wurden die notwendigen Treppenhäuser sowie ein Teil der Giebelwände in Stahlbetonbauweise geplant.

gen des Trittschallschutzes zu genügen, wurde festgehalten, dass ein Fußbodenaufbau mit als oberster Schicht einem Zementestrich auf die Holzhohlkastendecken aufgebracht wird. Die Hohlkastenelemente selbst erlauben durch die Hohlräume einen reduzierten Materialbedarf bei gleichzeitig hoher statischer Tragfähigkeit, nur das statisch erforderliche Material wird verbaut.

3	4
HOLZ-BETON-VERBUNDDECKE	HOLZ-HOHLKASTENDECKE
	
HBV-DECKE ALS PLATTENDECKE F90, STB.-PLATTE 12 CM, BRETTSTAPEL-DECKE 26CM, HBV-SCHUBVERBINDER	HOHLKASTENDECKE F90, Z.B. LIGNATUR LFE SONDERTYP MIT AKUSTIKDÄMMUNG, OHNE KAMMERBEFÜLLUNG
38	36
EINFELDTRÄGER	EINFELDTRÄGER
LINIENGELAGERT	LINIENGELAGERT
419	91
1.627	798
21,9	-40,2
4.876	3.043
249,4	118,1
123	51
-9,2	-62,4
F90-B	F90-B
ERFÜLLT FÜR L/500	ERFÜLLT (L/500; NACHWEIS DURCH HERRSTELLER)
ERFÜLLT, VEREINFACHTES VERFAHREN	ERFÜLLT (NACHWEIS DURCH HERSTELLER)
ERFÜLLT (HBV-SOFTWARE)	ERFÜLLT (NACHWEIS DURCH HERSTELLER)
ERFÜLLT (HBV-SOFTWARE)	ERFÜLLT (NACHWEIS DURCH HERSTELLER)
330,00	260,00

Vereinfacht zusammengefasst wurde festgestellt, dass die untersuchten Holzbauweisen eindeutige Vorteile gegenüber Stahlbetonbauweisen in ökologischen Kriterien haben, welche die Stahlbetonbauweise nicht durch ihre Vorteile bei den technischen Bewertungskriterien (Brandschutz, Schallschutz) kompensieren konnten. Die klaren ökologischen Vorteile der Holzbauweisen gehen, je nach System, mit mehr oder weniger großen Nachteilen bei einzelnen technischen Bewertungskriterien einher, welche nur durch zusätzliche Mittel wettgemacht werden können. In Bezug auf die geschätzten Baukosten der Gesamtsysteme fallen die Unterschiede eher gering aus, wenn auch tendenziell die Holzbauweisen leicht teurer als die Stahlbetonbauweisen sind.

Auf dieser Basis war es möglich, den architektonischen Vorentwurf des Gebäudes zu verfeinern, ein an das Tragsystem angepasstes ästhetisches Konzept zu entwickeln und die durch das haustechnische Planungsbüro vorgelegten Vorgaben zu den maximalen Wärmedurchgangskoeffizienten der einzelnen Bauteile der späteren Gebäudehülle einzuarbeiten. Da die Massenträgheit des Gebäudes bereits über das zurückbehaltene Deckensystem gegeben war, wurde nunmehr angestrebt, eine leichtere, nicht zum Primärtragwerk gehörende, Fassadenkonstruktion bestehend aus entsprechend stark gedämmten Holztafelbauelementen zu planen. Es hat sich deutlich herausgestellt, dass nur eine Kombination von Decken mit hohem Eigengewicht und entsprechender Massenträgheit und leichteren Fassaden in der Lage ist, alle gestellten Anforderungen größtenteils und bestmöglich zu erfüllen. Aus Brandschutzgründen sowie zur Gebäudeaussteifung wurden die notwendigen Treppenhäuser sowie ein Teil der Giebelwände in Stahlbetonbauweise geplant.

Allein durch diese Erkenntnis war aber für das Bauwerk noch keine abschließende Entscheidung der optimalen konstruktiven Durchbildung der einzelnen Bauteile getroffen. Anschließend an die vorgenannte Variantenuntersuchung wurde eine längere Phase der Detailplanung vorgesehen. Mehrere auf dem Markt befindliche Systeme zur Herstellung von Holzdecken aus flächigen Hohlkastenelementen wurden innerhalb des Planungsteams kontrovers diskutiert, in Anbetracht der Tatsache, dass das Bauvorhaben öffentlich ausgeschrieben werden musste, und eine Produktbindung nicht möglich ist,

auch wenn sich innerhalb des Planungsteams eine Präferenz für ein spezifisches Deckensystem herauskristallisierte. Für die einzelnen Produkttypen wurde die Ausbildung einiger charakteristischer Anschlussdetails, wie zum Beispiel der Anschluss der Deckenelemente an den Stahlbetonbau oder aber der Anschluss der Deckenelemente an die Randträger des Holzskelettes aussehen könnte. Diese wurden dann gesondert sowohl jeweils unter der Prämisse einer möglich einfachen und damit schnellen Ausführung, einer einfachen Rückbaubarkeit als auch nach dem jeweils notwendigen Materialverbrauch (in Anbetracht der Vorgabe, graue Energie einzusparen) untersucht und bewertet.

Aus sämtlichen vorgenannten Überlegungen und Diskussionen resultierte ein gerichteter Holzbau mit rechtwinklig angeordneten Hauptachsen. Die Geschossdecken aus Hohlkastenelementen spannen maximal über etwa 8,10 m von Gebäudelängsfassade zur Flurwand. Im Bereich der Flurwand wurden, wie im klassischen Holzbau üblich, Brettschichtholzunterzüge als Linienlager der Deckenelemente eingebracht. Diese Unterzüge lagern auf Brettschichtholzstützen auf. Im Bereich der Außenfassaden werden die Deckenelemente an einem Randträger aus Brettschichtholz hochgehängt. Dieser Randträger dient dem darüberliegenden Geschoss als Brüstung und lagert auf Brettschichtholzstützen auf. Diese Hochhängung, welche über entsprechend lange, von der Deckenunterseite her eingebrachte, Holzschrauben gewährleistet wird entspricht nicht der im Holzbau üblichen flachen Auflagerung von Deckenelementen auf Unterzügen. Diese Wahl ermöglicht es aber, eine im Fensterbereich sturzfremde Konstruktion zu generieren, so dass die Tageslichtausnutzung optimiert wird.

Die durch diese aufwändigere und materialintensivere Anschlussausbildung generierten grauenenergetischen negativen Folgen können im Betrieb durch die bessere Tageslichtausnutzung und die damit einhergehende Reduktion des Energieaufwandes für die Beleuchtung mehr als nur kompensiert werden. Dieses Detail ist ein gutes Beispiel des gelebten Zusammenspiels der einzelnen Fachplaner, welches es ermöglicht hat, gemeinsam die, in Anbetracht der gestellten Randbedingungen, beste Lösung zu finden, auch wenn dieses Detail auf den ersten Blick für die graue Energie des Gebäudetragwerks nicht die beste Wahl wäre. Das hiermit hergestellte Trag-

werk aus Brettschichtholz erlaubt eine im Grundriss sehr flexible Gebäudenutzung und auch -umnutzung, da der Großteil der Raumtrennwände keine tragende Funktion hat und im Prinzip nach belieben entfallen könnte oder verschoben werden kann. Nur eine Skelettkonstruktion konnte diese erforderliche Flexibilität bieten.

Die Aussteifung des Holzskelettttragwerkes erfolgt über die Stahlbetonwände der notwendigen Treppenhäuser. Die statische Scheibe, welche zur Aufnahme von horizontalen Kräften aus Wind- und Imperfektionslasten dient, wird durch die Holzhohlkastenelemente in Verbindung mit lokalen Stahleinlagen (Schubverbinder) hergestellt. Die Befestigung der Scheibe an die Stahlbetonwände erfolgt mittels Verbindungsteilen aus Stahl, welche von oben mit der Scheibe und mit der angrenzenden Wand verbolzt wurden.

Bereits während der Planung wurde darauf geachtet, dass ein Ausgleich von möglichen Bautoleranzen der Ausführung im Bereich der Verbindung zwischen dem Stahlbetonbau und dem angrenzenden Holzbau in 3 Dimensionen möglich ist, insbesondere im Bereich der Decken- und Trägeranschlüsse zur Gebäudeaussteifung.

Hierzu wurden am im Stahlbeton rückverankerte Kopfplatten aus Stahl eingebracht. An diesen wurde nach Herstellung des Rohbaus Stahlwinkel und -laschen befestigt, welche dann auf den Toleranzbereich des Holzbaus ausgerichtet werden konnten. Stellenweise wurde die Verbindung der Holzhohlkastendecken mit den angrenzenden Bauteilen des Stahlbetonbaus auch über mit der Deckenoberfläche verschraubten und mittels Schwerlastanker an den aufgehenden Stahlbetonbauteilen befestigt

ten Stahlwinkel geschaffen. Somit war ein Toleranzausgleich in alle Richtungen möglich, was sich während der Bauausführung dann auch punktuell als notwendig herausgestellt hat. Die Fassadenkonstruktion besteht aus vorgefertigten, stark gedämmten, großformatigen Holzrahmenelementen, welche nur zur Abtragung von horizontalen Lasten mit dem Holzskelettbau verbunden sind. Die Abtragung von vertikalen Lasten (Eigengewicht der Fassadenkonstruktion) erfolgt über Auflagerkonsolen im Fußbereich der Fassade. Die vertikalen Lasten werden so unmittelbar in die Gebäudegründung eingeleitet. Vorteil dieser Wahl der Konstruktion ist die große Flexibilität der architektonischen Gestaltung.

Zur Ableitung der Dachlasten der Schrägdächer in das Skelettttragwerk des Gebäudes wurde im Planungsteam entschieden, ein Tragwerk bestehend aus klassischen Fachwerkbindern, bestehend aus Brettschichtholz- sowie Konstruktionsvollholzquerschnitten, herzustellen. Dieses System erlaubte es einfach der angestrebten Dachform gerecht zu werden und die Lasten sicher in das Skelettttragwerk der untenliegenden Geschosse einzuleiten.

Es war im Endeffekt das einzige System, was es erlaubte, den Tragachsen der Schulgeschosse Rechnung zu tragen ohne erheblichen Materialverbrauch zu generieren. Im Dachgeschoss wurden untergeordnete Funktionen angesiedelt wie z.B. Lagerräume, Archive oder Haustechnikräume, welche in anderen Bauten üblicherweise im Kellergeschoss angesiedelt sind. In Anbetracht des Fachwerkssystems bietet der Dachraum dennoch die notwendige Flexibilität und kann mit sinnvollen Funktionen, ohne größere Einschränkungen, belegt werden.

Das Gebäudetragwerk erhält durch eine sorgsam ausgewählte Kombination aus Brandschutznachweisen auf Abbrand sowie Kapselung einzelner Querschnitte eine Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten. Durch Rücksprache mit den entsprechenden Behörden, durch das Vorsehen von entsprechenden Kompensierungsmaßnahmen sowie durch das Erstellen eines Prüfberichtes konnte von den üblichen Brandschutzanforderungen eines Gebäudes dieser Größenordnung abgewichen werden.

Dies hatte sowohl technisch und wirtschaftlich als auch in Bezug auf die Bilanzierung der grauen Energie des Gebäudes einen positiven Einfluss.

Die Außenanlagen

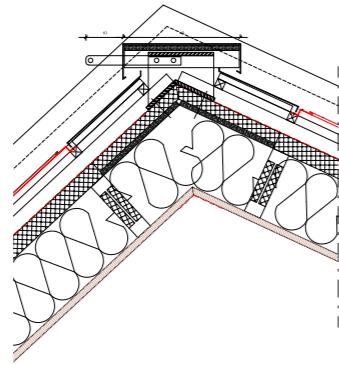
Auch bei der ingenieurtechnischen Planung der Außenanlagen wurde den projektspezifischen Planungszielen Rechnung getragen. Die versiegelten Flächen und damit der Versiegelungsgrad der Gesamtparzelle wurden von vornherein planmäßig auf das absolute Minimum begrenzt. Generell wurde die Gebäudeimplantation so gewählt, dass für dieses Bauvorhaben nur ein Minimum an Aushubmaterial respektiv an Auffüllung angefallen ist. Das in Anbetracht der Gesetzgebung notwendige Regenwasserrückhaltevolumen wurde auf mehrere Becken aufgeteilt, um eine bestmögliche Integration dieser Bauwerke in die Außenflächengestaltung zu ermöglichen bei gleichzeitig möglichst geringem Materialaufwand. Hier wurde auch, wenn möglich, ein Mehrfachnutzen für die Bauwerke angestrebt. So dient zum Beispiel eines der Becken als Unterbau einer Außenterrasse im Bereich des Festsaales im Erdgeschoss. Eine Regenwassernutzung wurde eingeplant. Um die unnütze Versiegelung weiterer Flächen zu verhindern, wurde vorgesehen, die Erschließung des Grundstückes über bestehende Zufahrten des an das Baufeld angrenzenden Krankenhauses vorzusehen. Bei notwendigen Hangsicherungen wurde soweit wie technisch möglich weitestgehend auf die Verwendung von Stahlbetonstützwänden verzichtet und Sicherungen mittels großformatiger Zyklopensteine bevorzugt, dies um einerseits den grauenenergetischen Fußabdruck dieser Bauwerke so klein wie möglich zu halten und um andererseits die Rückbaubarkeit der Außenanlagen zu vereinfachen.

Les réflexions pour
un équipement technique performant
à consommations réduites

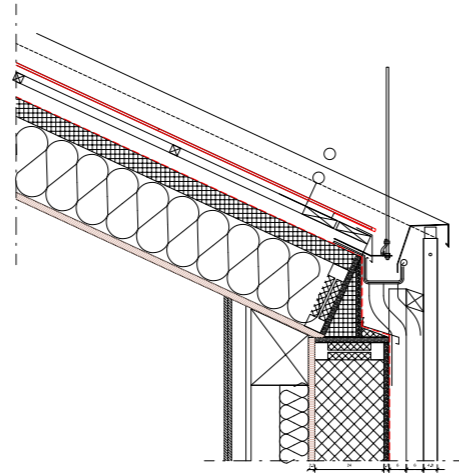
60 Les techniques au service d'un bâtiment plus positif

Créer un bâtiment scolaire à énergie positive, tel était le défi lancé par l'Administration des bâtiments publics à la maîtrise d'œuvre en 2009. Ce projet a donc naturellement entraîné des réflexions allant au-delà des standards de construction pour les établissements scolaires. Des solutions constructives et techniques intelligentes mais simples vont permettre d'arriver à des consommations énergétiques réduites.





^ Ventilation en crête intégrée dans la passerelle d'entretien
 < Panneaux solaires intégrés faisant office de toiture



^ Gouttières dissimulées derrière le bardage en bois



La maîtrise d'œuvre a élaboré pour l'Administration des bâtiments publics, avec l'assistance d'un conseiller en énergétique, le bureau suisse EBP, différentes variantes à tous les niveaux pour aboutir à un projet novateur, logique et cohérent en termes de construction et d'exploitation.

Les grands principes résultant de ces réflexions stratégiques sont essentiellement les suivants :

- Le matériau de construction principal est le bois. Il demande peu d'énergie lors de la production et de la construction pour autant que l'assemblage soit bien pensé. Il pourra en outre être réutilisé plusieurs fois. Le bilan de CO₂ est donc réduit.
- La toiture est recouverte de panneaux photovoltaïques aux multiples fonctions. Ils servent en effet à produire de l'énergie électrique mais constituent également la couverture de la toiture.
- Pour réduire les consommations énergétiques, une ventilation centralisée hybride, c'est-à-dire mécanique et naturelle, a été étudiée et mise en place pour limiter à la fois les déperditions thermiques dues à la ventilation naturelle en hiver et les consommations électriques dues à un fonctionnement mécanique en hiver et en été.
- Les couloirs destinés à la circulation des étudiants, agissent comme réservoir d'air frais et sont ainsi exploités pour véhiculer l'air frais et l'air vicié plus chaud, qui pendant les cours ne se mélangent pas grâce à une stratification de couches d'air à températures différentes. Ce concept a permis de supprimer la majorité des gainages de ventilation horizontaux.
- L'énergie des capteurs solaires en façade, ainsi que celle du local des onduleurs est récupérée dans un réservoir d'accumulation de longue durée. Ce système permet de chauffer l'eau d'un réservoir vertical de 91.000 litres, installé de manière visible dans la cage d'escalier.
- Le besoin en chauffage d'appoint est ainsi réduit à une valeur < 4 W/m² pour atteindre une puissance de chauffage d'environ 36 kW pour un bâtiment de 8.800 m². Les deux petites

63 pompes à chaleur, installées dans le rejet de la centrale de ventilation, assurent cette fonction.

Les installations techniques

Les installations techniques suivantes ont permis de répondre aux objectifs de construction durable souhaités par le maître de l'ouvrage de ce projet.

1. Installations de chauffage

a) Production de chaleur

La façade avec ses panneaux solaires de 350 m², parfaitement intégrés, constitue la source d'énergie thermique principale. Un vrai travail de recherche de sous-construction, d'étanchéité et de fixation a été réalisé afin de concilier les contraintes de production d'énergie, de circulation hydraulique, de surchauffe et de condensation derrière les panneaux. L'objectif était d'arriver à un résultat aussi bien fonctionnel qu'esthétique :

- Des circuits séparés avec régulation et pompes individuelles permettent de transporter l'énergie collectée sur les façades sud-est et sud-ouest vers un réservoir de stockage saisonnier.
- Deux pompes à chaleur de 18 kW chacune assurent le solde d'énergie nécessaire au cas où le réservoir soit vide avant la prochaine période ensoleillée.

b) Réservoir de stockage de chaleur saisonnier

L'énergie récoltée par les panneaux solaires est stockée dans un réservoir rempli de 91.000 litres d'eau.

Les dimensions sont impressionnantes :

- Diamètre sans isolation : 2.500 mm
- Diamètre avec isolation : 3.100 mm
- Hauteur totale : ca. 20 m
- Isolation en laine de verre
- 4 niveaux d'injection différents

Le réservoir trouve sa place dans l'œil de la cage d'escalier de manière ostensible, permettant à chacun de comprendre l'importance du principe de stockage de la chaleur pour le bâtiment. La phase d'études a permis d'analyser deux types de réservoirs : le réservoir isolé par des panneaux sous vide et le réservoir isolé par laine minérale.

C'est l'isolation par laine minérale qui a été retenue en regard au bilan d'énergie grise plus favorable.

c) Système de chauffage

Le système de chauffage n'est pas conventionnel. Il fait partie intégrante du concept novateur contribuant aussi à un bilan faible en ce qui concerne l'énergie grise du bâtiment.

En effet, tous les éléments de chauffage sont dimensionnés sur une même température d'alimentation basse (26°C - 28°C). Le régime de distribution à très basse température permet de réaliser un réseau de conduites sans isolation afin de réduire l'énergie grise.

- La zone d'entrée, la cafétéria et la salle polyvalente disposent d'un chauffage au sol. La régulation est simple en fonctionnant en mode ON/OFF par sonde thermostatique pour chaque zone.
- Toutes les salles de classe et la zone administrative sont chauffées par des ventilo-convecteurs développés spécifiquement pour ce projet avec une puissance de chauffage de 500W pour une alimentation à 26°C. La régulation est simple : une tête thermostatique dans chaque salle de classe pour l'arrivée d'eau de chauffage et un

mode de fonctionnement ON/OFF du moteur du ventilateur en cas de présence dans la salle.

- Le groupe de ventilation alimentant les zones administratives dispose d'un échangeur de chaleur avec une vanne 2 voies.

d) Concept de régulation du réservoir de stockage

Le remplissage du ballon se fait au niveau de température le plus élevé, le puisage d'énergie au niveau de température le plus faible. La température la plus basse du ballon est de 20°C, permettant à la pompe à chaleur de fonctionner avec un coefficient de performance des plus hauts, garantissant une production d'eau de chauffage à 26°C.

2. Principe de ventilation

Si l'on veut réduire l'impact de l'énergie grise, il faut réduire la mise en œuvre de matériaux de construction qui sont énergivores lors du processus de fabrication. L'acier galvanisé en faisant partie, le concept de ventilation déployé renonce en grande partie à un réseau de distribution et de reprise de l'air frais et vicié à l'intérieur du bâtiment. Le couloir, qui pendant les cours est généralement déserté, prend la fonction de gaine.

Le principe de ventilation centrale hybride prévoit pendant les périodes froides et très chaudes une ventilation mécanique où l'air frais est pulsé dans les couloirs en trois endroits centralisés par un réseau de gainage vertical très court, se développant simplement en tronçons verticaux depuis l'étage technique sous la toiture. Lors de conditions climatiques modérées en intersaisons, la ventilation mécanique est éteinte en vue de favoriser l'utilisation des



ouvrants motorisés en bout de couloir assurant l'amenée d'air frais de façon naturelle. L'air frais, en règle générale plus froid et plus sec, se répand au sol du couloir et y crée une zone d'air frais.

Pour les salles de classe, des ventilo-convecteurs ont été installés dans la cloison entre le couloir et la salle de classe. Le moteur du ventilateur est mis en marche lors d'une présence dans la salle de classe permettant d'amener l'air frais depuis le couloir dans la salle de classe.

66

Quant à l'air vicié, il est automatiquement expulsé de la salle de classe vers le couloir via des ouvertures de transfert statique installées au-dessus des portes d'accès aux salles de classe. Le ventilo-convecteur met en effet la salle en surpression par rapport au couloir et l'air vicié est donc évacué sans énergie mécanique complémentaire.

La stratification thermique des couches d'air dans les couloirs, créée grâce à la chaleur dégagée par les personnes présentes dans la salle qui transforment l'air froid et sec en air chaud et humide, assure que cet air vicié ne se mélange pas avec l'air frais en partie inférieure.

L'air vicié est ensuite aspiré vers la cage d'escalier centrale du bâtiment pour être récupéré au point haut de celle-ci par effet de cheminée.

C'est seulement à partir d'ici que des éléments « classiques » d'une installation de ventilation mécanique sont en place, à savoir une grille de reprise et un gainage horizontal vers le groupe de ventilation.

Seulement deux groupes de traitement d'air installés dans les combles du bâtiment sont nécessaires :

température représentatives permettent d'en déduire le besoin en air frais pour les différentes zones.

Pour les zones des sanitaires, vestiaires, locaux copieurs et locaux intérieurs secondaires, seule une installation d'extraction basée sur un réseau gainé a été mise en place.

L'extraction au niveau des surfaces sanitaires est réalisée par deux petits extracteurs supplémentaires. Il s'agit des deux seules installations qui sont en service en mode ventilation mécanique et ventilation naturelle. En mode ventilation naturelle, le rejet se fait directement à l'extérieur. En mode ventilation mécanique cependant, l'air extrait est injecté dans l'extraction de la centrale de traitement d'air afin de profiter des calories pour la récupération.

67

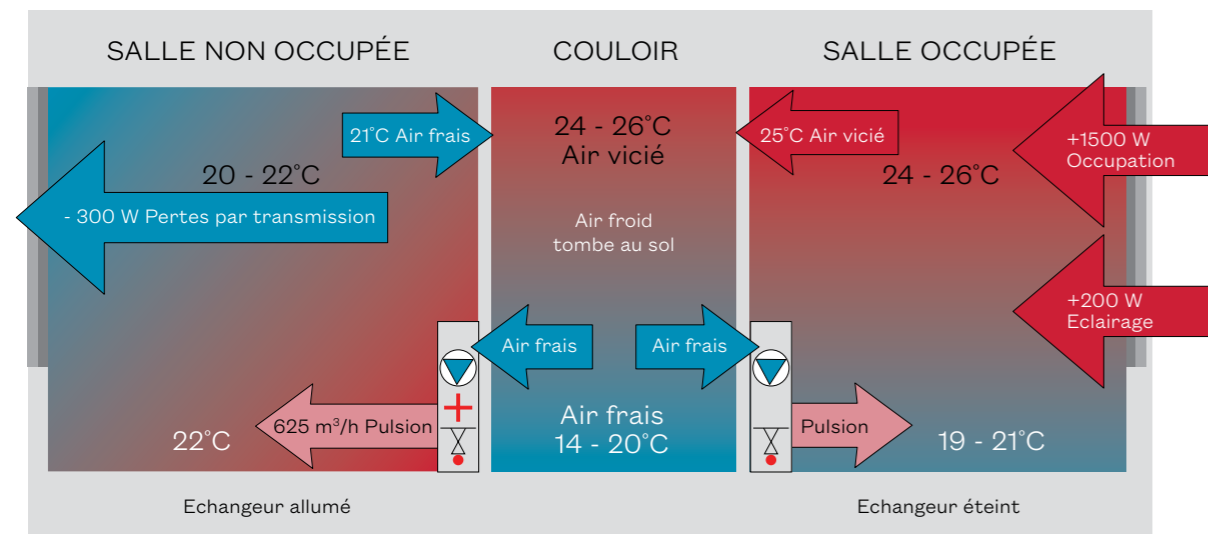
Ventilation naturelle

- La centrale de traitement d'air « administration » a un débit variable entre 1.000 et 4.000m³/h.
- La centrale de traitement d'air « salles de classe » a quant à elle un débit variable entre 3.800 et 10.000m³/h.

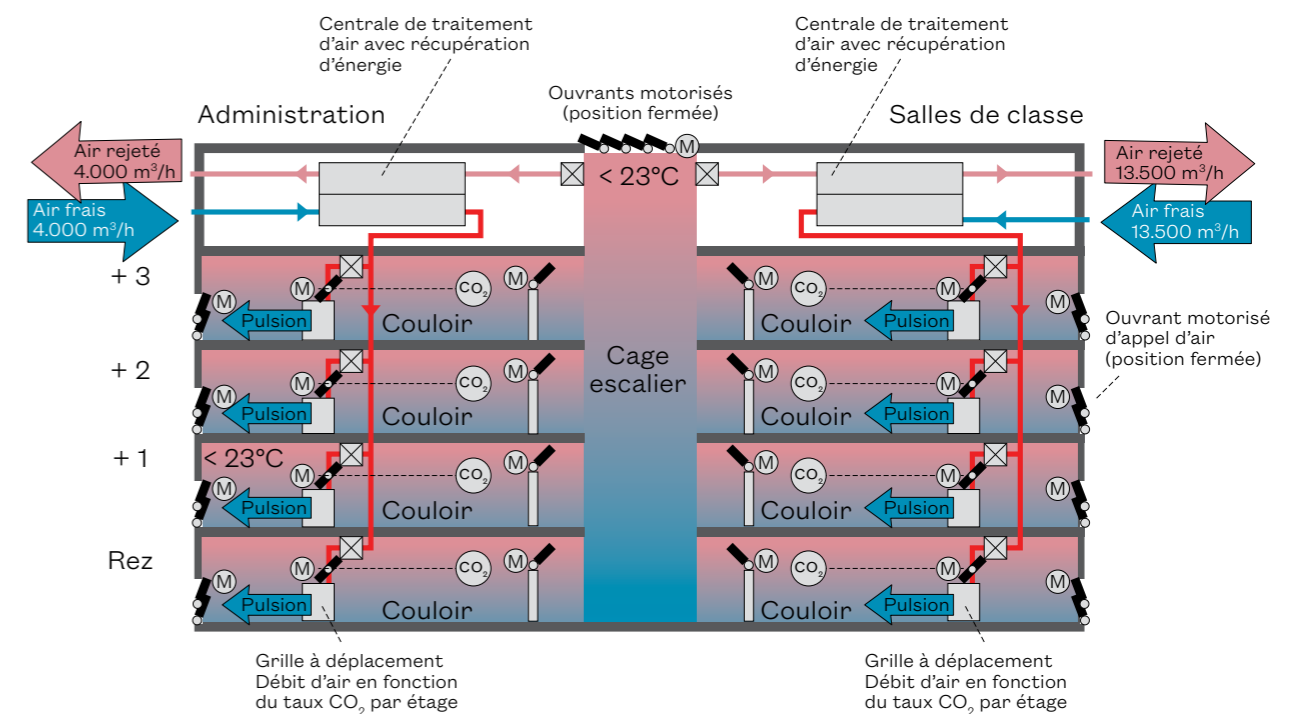
La modulation du débit des deux groupes est commandée pour tout le bâtiment via un contrôle de la qualité d'air dans les couloirs. Pour cela, les sondes de CO₂ installées dans les couloirs des étages ou encore dans la salle polyvalente et des sondes de

En mode « ventilation naturelle », les deux groupes sont hors service. La ventilation naturelle a la même fonction que la ventilation mécanique : amener de l'air frais dans les couloirs.

Principe de distribution de l'air entre le couloir et les salles



Principe de ventilation hybride (naturelle/mécanique)



La pulsion en trois endroits dans les couloirs et la reprise en haut de la cage d'escalier est simplement remplacée par des ouvrants motorisés en fin de couloir et en haut de la cage d'escalier. Chaque étage dispose de trois ouvrants motorisés disposés en façade et permettant d'assurer un apport d'air au moins égal à celui du groupe de ventilation. Le rejet d'air vicié se fait alors moyennant des ouvrants motorisés en haut de la cage d'escalier vers l'extérieur.

Les sondes installées aux endroits spécifiques déclenchent l'ouverture automatique d'ouvrants en façade, en fonction des valeurs mesurées au niveau de la qualité d'air présente dans le couloir et ceci individuellement pour chaque étage.

Les bénéfices sont multiples.

- Réduction de l'énergie électrique pour la ventilation mécanique. En dehors de la période de chauffage, l'air frais extérieur peut directement être amené dans les couloirs.
- Rafraîchissement naturel contrôlé pendant la nuit. En été, le bâtiment est rafraîchi par l'air plus froid à l'extérieur qu'à l'intérieur.
- Récupération de la chaleur des onduleurs photovoltaïques. En hiver, l'énergie dissipée par les onduleurs est stockée dans le réservoir. Si ce dernier est déjà rempli, la chaleur dissipée est alors injectée au point haut de la cage d'escalier et soutient l'effet cheminée pour créer une dépression supplémentaire dans le bâtiment et augmenter le débit d'air frais aspiré en façade.

Ventilation et chauffage des salles de classe

Les salles de classe sont ventilées et chauffées par des ventilo-convecteurs développés spécifiquement pour les besoins du projet. Sur base des principes de fonctionnement, des contraintes techniques et d'intégration dans le bâtiment, un appel d'offres pour le développement et la production a été lancé au niveau européen et a été remporté par une entreprise luxembourgeoise.

Les données techniques d'un ventilo-convecteur de ce type sont :

- Débit d'air brassé : 360m³/h
- Puissance électrique absorbée : < 8W
- Puissance de chauffage pour alimentation en 26°C et température d'air à 18°C : 500W
- Pression acoustique mesurée dans le local : < 30 dB(A)
- Atténuation acoustique entre couloir et salle de classe : R'w 34 dB

Ces ventilo-convecteurs aspirent l'air depuis le couloir et le soufflent dans la salle de classe en passant par un échangeur air/eau. Une sonde thermostatique déportée ouvre ou ferme la vanne de l'échangeur et permet de régler la température de la salle entre 19 et 23°C.

Le ventilateur est enclenché dès occupation de la salle de classe afin d'amener l'air frais du couloir dans la salle de classe. Le ventilateur tourne en moyenne 6 heures par jour pendant les jours d'occupation du bâtiment. Ainsi, sa consommation électrique pendant toute une année est moins élevée que celle d'une sonde de température et de son régulateur (environ 2W de puissance en stand-by).

Pour le chauffage, une tête thermostatique assure l'arrivée d'eau de chauffage dans le ventilo-convecteur en fonction de la température réelle dans la salle de classe.

En plus de cette commande locale du ventilateur en cas de présence, les ventilateurs sont enclenchés de façon centralisée pour le rafraîchissement nocturne en été ou la mise en chauffe matinale en été en fonction de la température mesurée dans les couloirs.

3. Eclairage

Le bâtiment est équipé à 100 % de la technologie LED. Les luminaires ont été optimisés pour réduire autant que possible la puissance installée. La commande des luminaires se fait principalement par détecteurs de présences locaux. Aucune régulation supplémentaire compliquée ou énergivore en stand-by n'a été installée.

4. Panneaux photovoltaïques

Les toitures inclinées respectivement à 45° et 22,5° permettent un ensoleillement sans ombrage des panneaux. Pour l'auvent, la répartition des strings permet d'absorber un léger ombrage en après-midi. La puissance installée est de 320 kVA alors que la production maximale se situe autour de 280 kVA suite à l'orientation des différentes zones. Le transformateur qui injecte sur le réseau a une puissance de 300 kVA.

5. Equipement sanitaire

Au niveau des installations sanitaires les eaux pluviales sont utilisées pour les WC et des urinoirs sans eau sont installés. Un rinçage automatique des conduites d'eau froide est fait pour des raisons hygiéniques. L'eau chaude sanitaire est produite par des préparateurs électriques décentralisés.

6. Régulation

Malgré la réduction souhaitée des composants techniques, la régulation de ce bâtiment demande un système de surveillance d'asservissement performant. Beaucoup d'algorithmes n'existent pas

dans les bibliothèques des intégrateurs et ont dû être décrits explicitement.

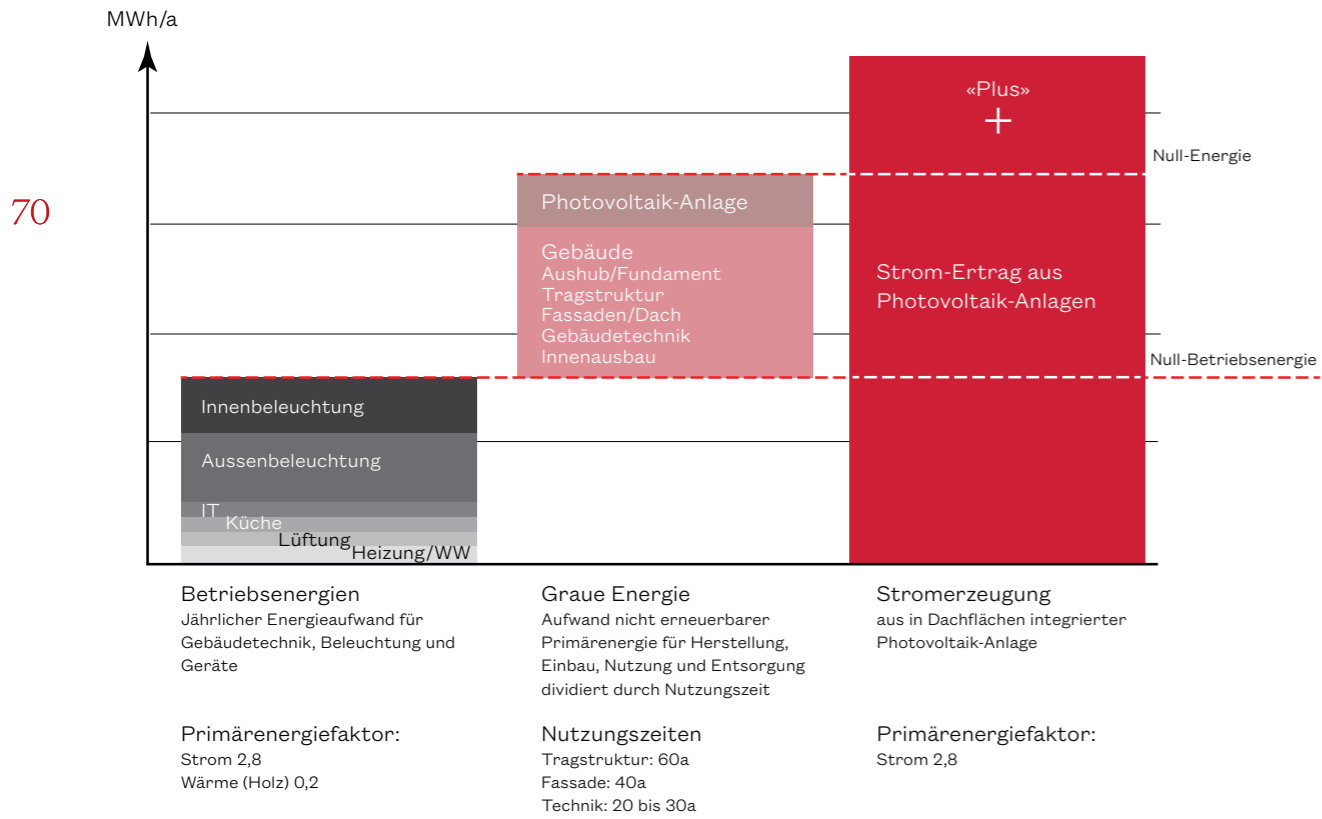
L'utilisation, aussi importante que la conception

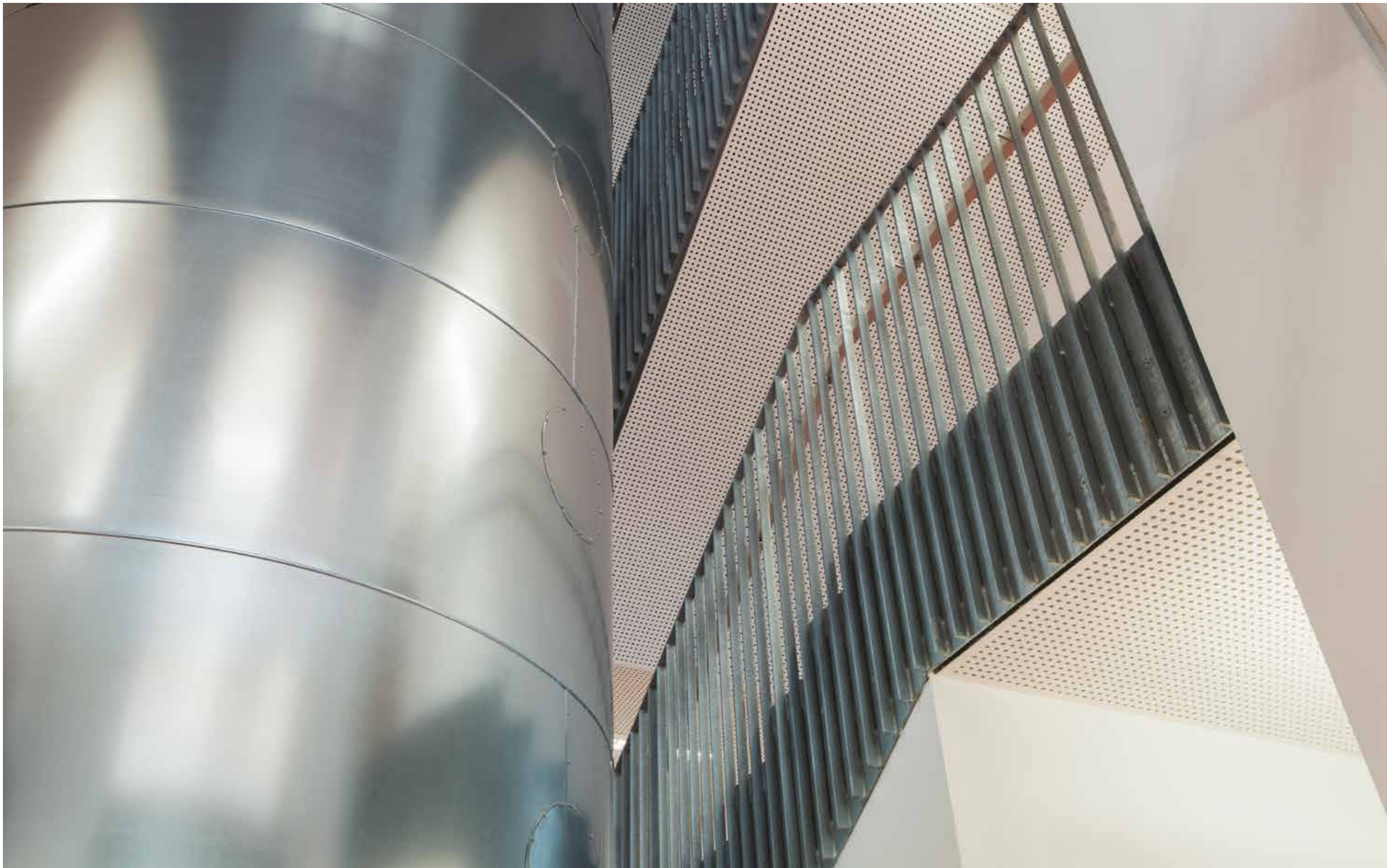
Très clairement, de par sa conception, le Lycée technique pour professions de santé à Ettelbrück fait apparaître l'importance de l'énergie grise dans la vie d'un bâtiment. Ce constat laisse penser qu'il faut poursuivre les efforts pour définir le « bâtiment à énergie positive » comme un bâtiment dont la production locale d'énergie renouvelable est au moins aussi importante que la somme des consommations de tous les postes, de l'énergie grise et pourquoi pas, même au-delà, de l'énergie nécessaire aux transports.

Bien entendu, les retours d'expérience seront indispensables pour ajuster les nouvelles solutions déployées et s'assurer ainsi que les simulations et premiers tests d'exploitation sont bien conformes aux consommations réelles. Aujourd'hui, une chose est cependant sûre, à savoir que pour réaliser un « bâtiment à énergie positive », l'utilisation du bâtiment est aussi importante que la conception. Autrement dit, pour reprendre un terme de plus en plus employé, les occupants devront devenir des « consomm'acteurs ».

Le système de chauffage n'est pas conventionnel. Il fait partie intégrante du concept novateur, contribuant également au résultat d'un bilan faible en ce qui concerne l'énergie grise du bâtiment.

Primärenergie Jahresbilanz von EBP Schweiz AG aufgestellt







Chiffres clés

Programme

- Lycée pour 450 élèves
- 6 salles d'enseignement clinique, dont 2 salles de simulation
- 17 salles de classe
- 3 salles de sciences
- Administration
- Salle polyvalente de 200 m²

Energies renouvelables

- Installation photovoltaïque
2'120 m² ; 258'000 kWh/a
- Collecteurs thermiques en façade
350 m² ; 155kW
- Réservoir de stockage d'énergie
90'000 l d'eau, diamètre 2.5 m
hauteur 20 m
- Pompe à chaleur
24 kW

Surfaces et volume

Superficie du terrain

65 a

Emprise au sol

1.710 m²

Surface utile totale

4.615 m²

Surface nette totale

7.315 m² (y inclus surfaces techniques, circulations)

Surface brute totale

8.555 m²

Volume brut construit

36.025 m³

Coût du projet

EUR 30.000.000.- TTC

Dates

Travaux préparatoires

Démolitions et assainissement

Juillet 2014

Début des travaux

Juillet 2016

Mise en service

Juillet 2019



Maître d'ouvrage

Administration des
bâtiments publics

Directeur
Jean Leyder

Architecte
Martine Schmitt

Ingénieurs
Marc Turpel, Sascha Urbanzick,
Fernand Weydert et Paul Weydert

Travail d'édition
Isabelle Becker, Martine Schmitt

Maîtrise d'œuvre

Architecte
Fabek Architectes s.à r.l.

Ingénieur en génie civil
Daedalus Engineering s.à r.l.

**Ingénieur en génie
technique**
Betic S.A.

**Consultant en énergie et
certification MINERGIE-P-ECO**
EBP Schweiz AG (avec la collaboration
de Beat Kämpfen)

Expert sécurité incendie
Dehne, Kruse Brandschutz-
ingenieure GmbH & Co. KG

**Assistance pour
la certification**
e3consult s.à r.l.

Simulations énergétiques
Equa Solutions AG

Bureau de contrôle
Secolux S.A.

Organisme agréé
Secolux a.s.b.l.

**Coordinateur sécurité
et santé**
D3 Coordination S.A.

Expert Blower Door
Inergie S.A.

Analyses de l'air
eco-Luftqualität + Raumklima GmbH

**Assistance technique phase
de réception et démarrage**
Global Facilities S.A.

Œuvre d'art
Stina Fisch

Les corps de métier

**Travaux de démolition
et d'assainissement**
Tragelux Constructions s.à r.l.
(sous-traitant Horsch)
**Travaux de
décontamination**
Depolux Works S.A.

TRAVAUX D'ENTREPRISE GÉNÉRALE

AM CDCL / Reckinger / Prefalux
**Terrassement, gros-œuvre et
aménagements extérieurs**
CDCL S.A.
HVAC/sanitaire
Reckinger S.A.
**Charpente bois,
ferblanterie, étanchéité
et façade bois**
Prefalux S.A.
Expert en certification
e3consult s.à r.l.
Mesures acoustiques
Betavi s.à r.l.

AVEC LES SOUS-TRAITANTS

Colonnes ballastées
Keller Fondations Spéciales
Travaux de ferrailage
Stellpolux
Travaux d'enrobés
Wickler frères Exploitation s.à r.l.
**Travaux d'étanchéité et
d'isolation**
Batiso s.à r.l.
**Travaux de resserage
coupe-feu**
Centre d'Isolation S.A.
**Travaux d'installations
photovoltaïques**
Electro-Center s.à r.l.
**Travaux d'installations
électriques**
FD Electric S.A.
Installation de cuisine
Josy Juckem s.à r.l.

**Installation centrale
téléphonique**
CEL S.A.
Installation de laboratoire
Laborbau Systeme Hemling
GmbH & co Kg
Installation d'ascenseur
Schindler s.à r.l.
Système antichute
Safetyconcept S.A.

Echafaudage
Secher Exploitation S.A.
Travaux de soudure
Nic Oliinger S.A.
Travaux de chapes
Rinnen Constructions s.à r.l.
Travaux de carrelage
Rinnen Constructions s.à r.l.
**Travaux de cloisons et
plafonds**
Plafotech S.A.
Travaux d'enduit en argile
Decorlux S.A.

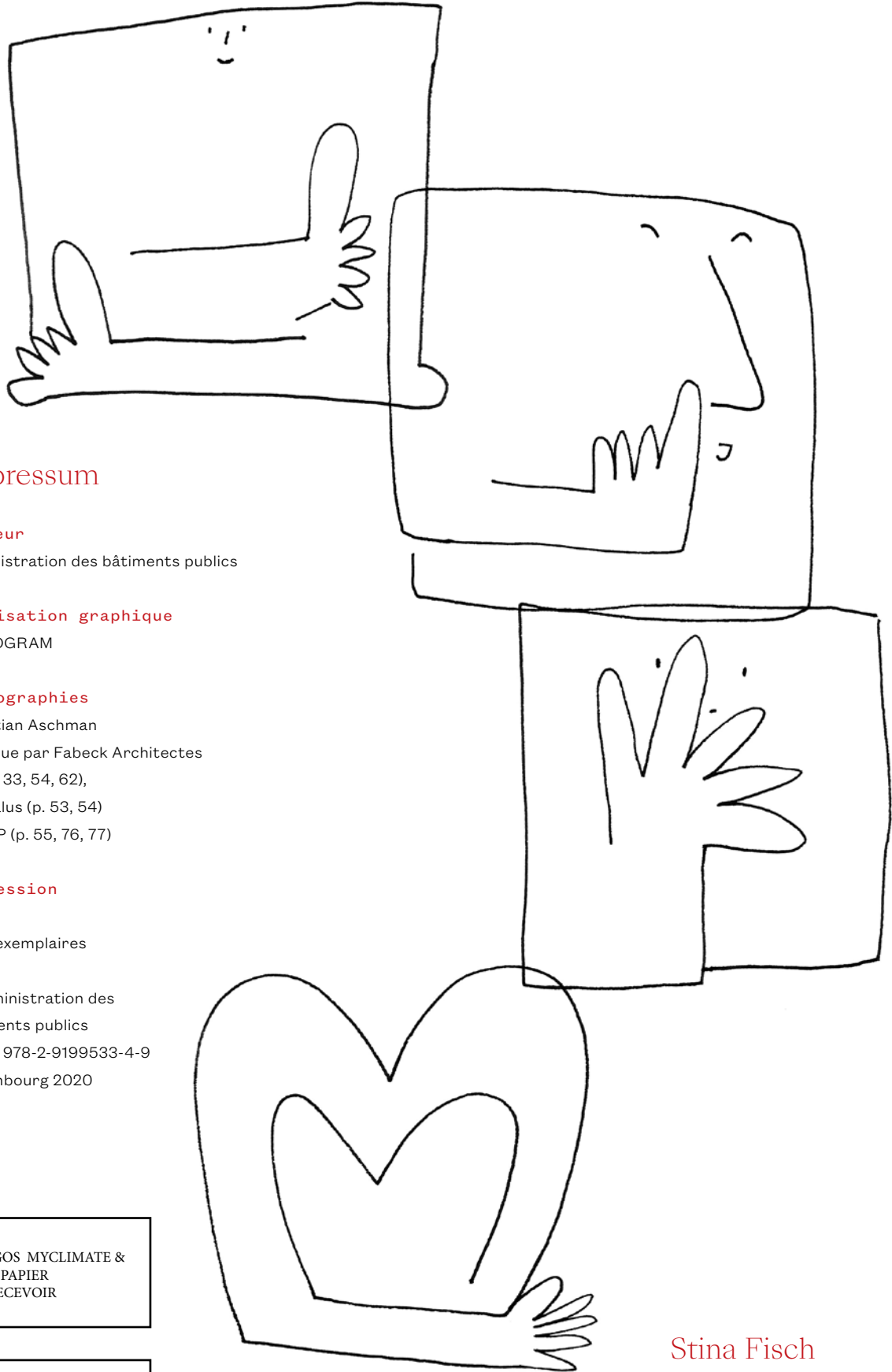
**Travaux de serrurerie
et ferronnerie**
Guy Gardula S.A., Beweng S.A.
**Travaux de menuiserie
extérieure**
Menuiserie Hoffmann S.A.
Travaux de peinture
Dave Feltus s.à r.l.
**Travaux de revêtements
de sols**
Project Partner s.à r.l.
**Travaux de menuiserie en
bois, mobilier intégré**
Lignatech s.à r.l.
**Travaux d'installation
du système de fermeture**
FD Electric S.A.
Travaux de nettoyage
N.C.I.E.C. Services s.à r.l.

**Travaux de ventilo-
convecteurs**
Climalux S.A.
Travaux de signalétique
Georgs(s) s.à r.l. / D'co s.à r.l.
Travaux de plantations
Stefan Altmeyer s.à r.l.
Service de gardiennage
Dussmann Security s.à r.l.
**Travaux de désinfection
du réseau d'eau**
Wester Wassertechnik s.à r.l.
**Travaux de lavage des
vitres**
Précise s.à r.l.

Fourniture de mobilier
Maurer Project Intérieur s.à r.l.,
Kichechef exploitation s.à r.l.
**Fourniture de mobilier
hospitalier**
Stiegelmeyer GmbH & Co. KG,
Medirel s.à r.l.
Matériel médical
Hospilux S.A., Secta Medical

**Equipements multimédia,
tableaux et matériel
audio-vidéo**
Einhorn Medientechnik GmbH
& Co. KG
Equipements informatique
Lineheart s.à r.l., RCube,
Ramirez Data S.A.
**Equipements pour cuisine
didactique et cafétéria**
Jucalux s.à r.l.
Equipements didactique
Phywe Systeme GmbH & Co. KG,
Reichelt Elektronik GmbH & Co. KG,
CLA - Coburger Lehrmittelanstalt
e.K., Holleen bvba, Miele s.à r.l.
**Système audio-visuel de
simulation médicale**
SIMStation GmbH
Equipements machines-outils
Bësch a Gaarden Zenter Kellen
s.à r.l. ; NORDPARTS s.à r.l.,
Steinhäuser Nord S.A
Appareils ménagers
Electro-Center s.à r.l.





Impressum

Editeur

Administration des bâtiments publics

Réalisation graphique

MONOGRAM

Photographies

Christian Aschman
ainsi que par Fabeck Architectes
(p. 28, 33, 54, 62),
Daedalus (p. 53, 54)
et ABP (p. 55, 76, 77)

Impression

REKA
1500 exemplaires

© Administration des
bâtiments publics
ISBN : 978-2-9199533-4-9
Luxembourg 2020

LOGOS MYCLIMATE &
FSC PAPIER
A RECEVOIR

LOGOS MYCLIMATE &
FSC PAPIER
A RECEVOIR

Stina Fisch

« Flex Dekomplex »
Projet d'œuvre d'art,
encre sur papier