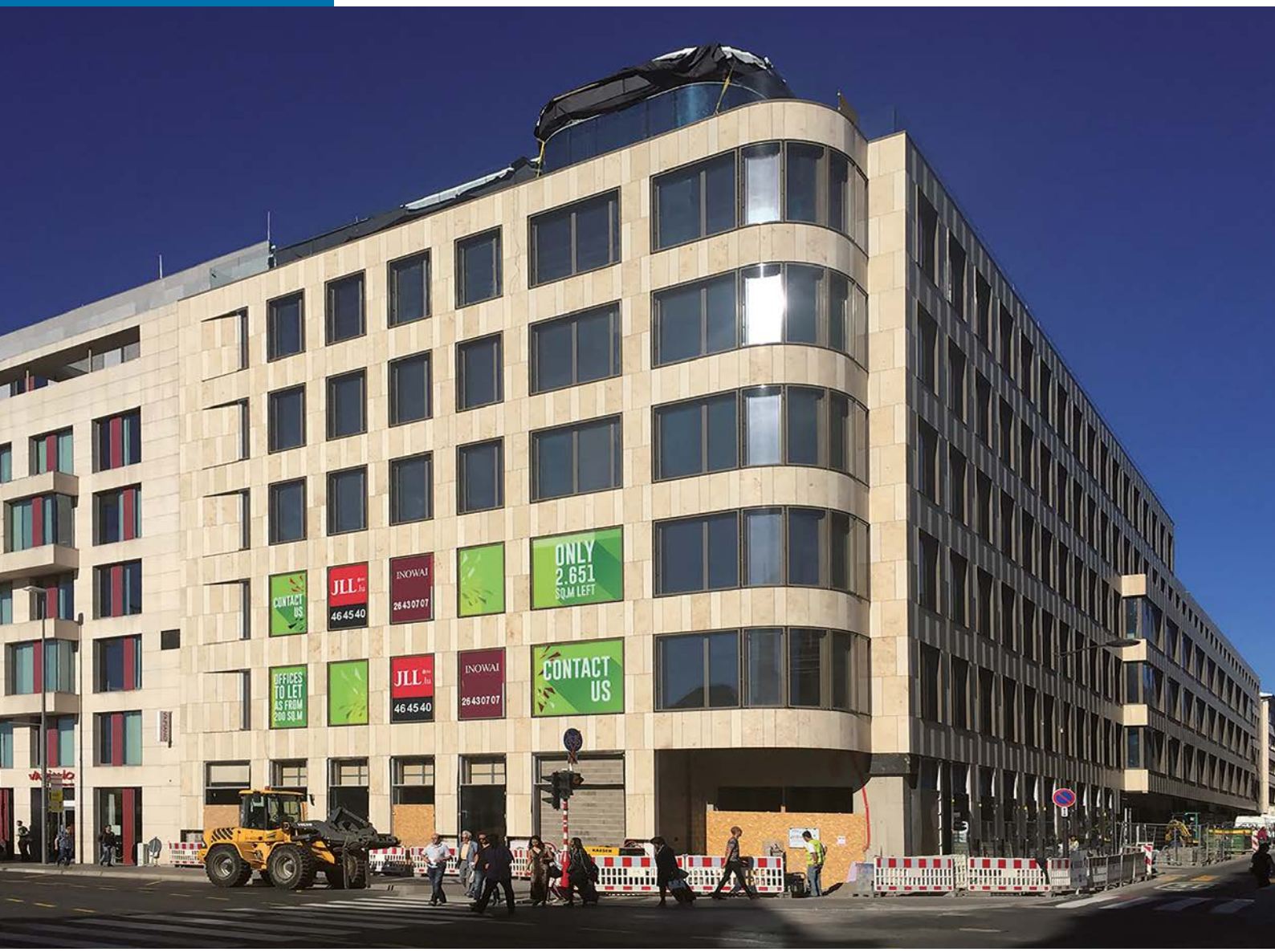
10

85. Jahrgang
Oktober 2016, S. 659–669
ISSN 0038-9145
A 6449

Sonderdruck

Stahlbau



Symbiose aus Stahl und Stein – Eine innovative Stahlverbundlösung für komplexe innerstädtische Bauprojekte

Markus Schäfer
Christoph Radermacher
Matthias Braun
Reinhold Hettinger
Claus Freis
Antoine Pesch
Faiza Benyahia

Ernst & Sohn
A Wiley Brand

ArcelorMittal

Markus Schäfer
Christoph Radermacher
Matthias Braun
Reinhold Hettinger
Claus Freis
Antoine Pesch
Faiza Benyahia

DOI: 10.1002/stab.201610422

Symbiose aus Stahl und Stein – Eine innovative Stahlverbundlösung für komplexe innerstädtische Bauprojekte

Das Immobilienprojekt KONS sieht innerhalb von zweieinhalb Jahren den Abriss und die neue Überbauung eines großen Areals gegenüber des Hauptbahnhofs in zentraler, innerstädtischer Lage der Stadt Luxemburg vor. Die Anforderungen der Investoren wie auch die Auflagen der Verwaltung konnten nur durch einen integrativen und intelligenten Planungsprozess erfüllt werden. Die komplexen Verflechtungen zwischen logistischen und baubetrieblichen Abläufen, konstruktiven Detailfragen und wirtschaftlicher Gesamtbetrachtung fanden ihre Lösung in einer in jeder Hinsicht leistungsfähigen Stahlverbundkonzeption.

Symbiosis of steel and stone – An innovative solution realized by a composite structure in steel and concrete for complex intra-urban projects. *The real estate project KONS encountered a two and a half year process of demolition of an existing building and construction of a new building complex in a central, urban location of Luxembourg City opposite of the main railway station. Thereby the ambitious specifications of the investor as well as the requirements of the local authorities could be met only through a comprehensive and intelligent planning process. The complex interrelation between logistics and construction management processes, detailing and overall economic assessment found the solution of steel-composite design highly performant and efficient in every aspect.*

1 Aufgabenstellung durch den Investor und Anwendung des Bouwteam-Ansatzes

Das alte Gebäude der „Galerie de Kons“ wurde in den 30-er Jahren des vergangen Jahrhunderts ursprünglich als Hotel erbaut und nach dem Zweiten Weltkrieg erweitert. In den 90-er Jahren wurde das zentral, gegenüber dem Luxemburger Hauptbahnhof gelegene Gebäude grundlegend umgebaut. Neben Büroflächen und einer Tiefgarage wurde im Stil einer Galerie ein Einkaufszentrum integriert und so eine Mischnutzung an dem attraktiven Standort realisiert. Die „Galerie de Kons“ gehörte seinerzeit zu den meist frequentierten Einkaufszentren der Luxemburger Innenstadt.

Jedoch konnte das Galerie-Konzept den modernen Anforderungen nicht mehr standhalten. Aufgrund der teils weitläufigen und verzweigenden Innenhalle sowie der versetzt angeordneten Halbniveaus im Erdgeschoss und dem ersten Untergeschoss waren die Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Umnutzung nicht gegeben. So entsprach die Gebäudestruktur nicht mehr den heutigen, baulichen Anforderungen, insbesondere im Hinblick auf das Potential, das eine Immobilie in dieser einzigartigen Zentrumslage bieten kann. Im Jahr 2013 begann daher die Planung, fast 60 % der Bebauung zwischen Avenue de la Gare im Osten und Rue de Reims im Westen sowie Rue Joseph Junck und Rue D’Epernay im Norden bzw. Süden zu überplanen und neu zu entwickeln (s. Bilder 1 u. 2). Als Nutzer konnte ein großer internationaler Banken- und Versicherungskonzern gewonnen werden, der seine Luxemburger Hauptverwaltung an dieser exponierten Stelle konzentrieren wird. Das Projekt zielt wieder auf eine gemischte Nutzung der rund 4400 m^2 Grundfläche ab und umfasst im Ganzen ca. 14600 m^2 Bürofläche, ca. 2400 m^2 für den Einzelhandel im Erdgeschoss, 8 300 m^2 Parkbereich im Untergeschoss und im rückwärtigen Bereich 3500 m^2 zur Wohnnutzung.

Aus diesem neuen Nutzungskonzept leiten sich entsprechende Anforderungen an die neue Gebäudestruktur ab. So müssen die tragenden Bauteile wie Decken und Stützen die Anforderungen an die Feuerwiderstandsklasse REI 90 erfüllen. Darüber hinaus stellen der zukünftige Langzeit-Mieter sowie der Investor weitere Anforderungen, z. B. an die Akustik und Energieeffizienz. Ferner ergeben sich aufgrund der aus dem städtischen Baurecht (gabarit) und der bereits bestehenden Nachbarbebauung festgelegten Bezugshöhen Auflagen an das äußerliche Erscheinungsbild der Natursteinfassade und insbesondere an die maximale Bauhöhe der Fassadenfront (Bild 1). Das einheitliche Bild des gesamten Bahnhofsplatzes soll bewahrt werden und ist somit durch entsprechende Auflagen in der Baugenehmigung geschützt – eine Besonderheit des Projekts, welches für die Planung von großer Bedeutung war, da die Begrenzung der Gesamthöhe im Konflikt zu einer maximalen, lichten Raumhöhe der einzelnen Etagen steht. Das Stützenraster soll eine möglichst flexible Nutzung der Büroflächen erlauben. Ein Teil des Altbestandes weist bis zu fünf Untergeschosse auf. Aus wirtschaftlichen Erwägungen soll teilweise das dritte sowie das gesamte vierte und fünfte Untergeschoss nicht rückgebaut werden, wodurch weitere Randbedingungen an das Eigengewicht der Gebäudestruktur folgen. Zu den Standards des Hauptmieters wie auch zu den Anforderungen der Immobilienentwickler gehört ebenfalls eine BREEAM „excellent“ Gebäude-Zertifizierung (BREEAM Building Research Establishment Environmental Assessment Method, britisches Nachhaltigkeitszertifikat).

Bild 1. Ansicht Projekt KONS von der Place de la Gare mit in der Höhe beschränkter Fassadenfront, gestaltet mit Natursteinplatten (C. Radermacher)
Fig. 1. View on project KONS from Place de la Gare showing the stone facade with its limit in height (C. Radermacher)

Zur Umsetzung dieser Vorgaben wurde auf Anregung des federführenden Generalunternehmers ein sogenanntes „Bouwteam“ etabliert. Hierbei handelt es sich um einen aus dem niederländischen abgeleiteten Ansatz der Projektentwicklung im Team mit dem Bauherrn, Investoren, Projektmanager, Architekten, Ingenieurbüros und dem Generalunternehmer inklusive seiner internen und externen Fachplaner. Letztendlich ein Design & Build-Konzept, bei dem alle Projektpartner frühzeitig mitwirken, um eine, den Kundenwünschen sowie den Lastenheften der Architekten und Ingenieure konforme Projektlösung zu erarbeiten. Dabei werden die Schnittstellen zwischen den Fachplanern und Einzelgewerken bereits im frühen Planungsstadium sehr intensiv analysiert, intensiviert und fortlaufend überprüft. Sofern das abschließend vom GU definierte Budget und die Qualität mit den Erwartungen des Kunden korrelieren, kommt es ohne weitere Ausschreibung des Gesamtprojektes zur Beauftragung. Ingenieurbüros und Architekten können dann, je nach angestrebter Aufstellung, im Auftrag des Kunden oder aber für den Generalunternehmer tätig werden.

Das Bouwteam startete im Frühjahr 2013 seine Planungsarbeit basierend auf dem zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Vorentwurf. Im Mai 2014 wurde mit dem Abriss des Bestandes begonnen, der ca. ein ganzes Jahr andauerte. Der Abschluss der gesamten Arbeiten erfolgt bis Ende des Jahres 2016.

2 Projektbeschreibung

Das Bahnhofsviertel der Stadt Luxemburg mit seinen zum Teil recht engen Straßenzügen ist geprägt von Einbahnstraßenregelungen und einem hohen Verkehrsaufkommen durch Fahrzeuge und Fußgänger. Zudem muss die regelmäßige Belieferung der anliegenden Geschäfte auch wäh-

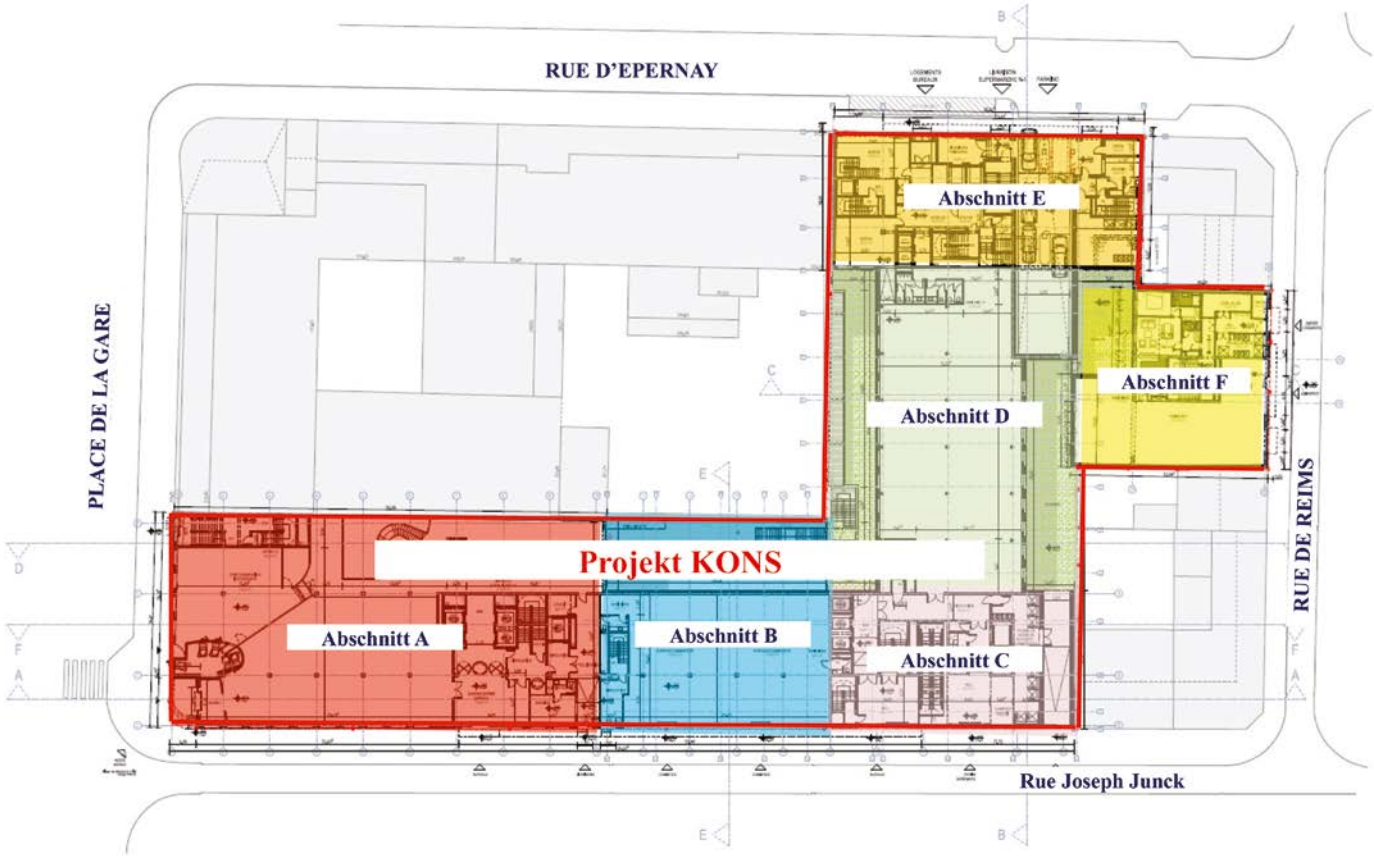


Bild 2a. Lage und Verkehrssituation des Projektes im Bahnhofsviertel sowie Übersicht der Teilabschnitte (Quelle: m3 Architectes/M. Schäfer)
Fig. 2a. Situation and traffic conditions in the district around the main station including plan of the construction sections (source: m3 Architectes/M. Schäfer)

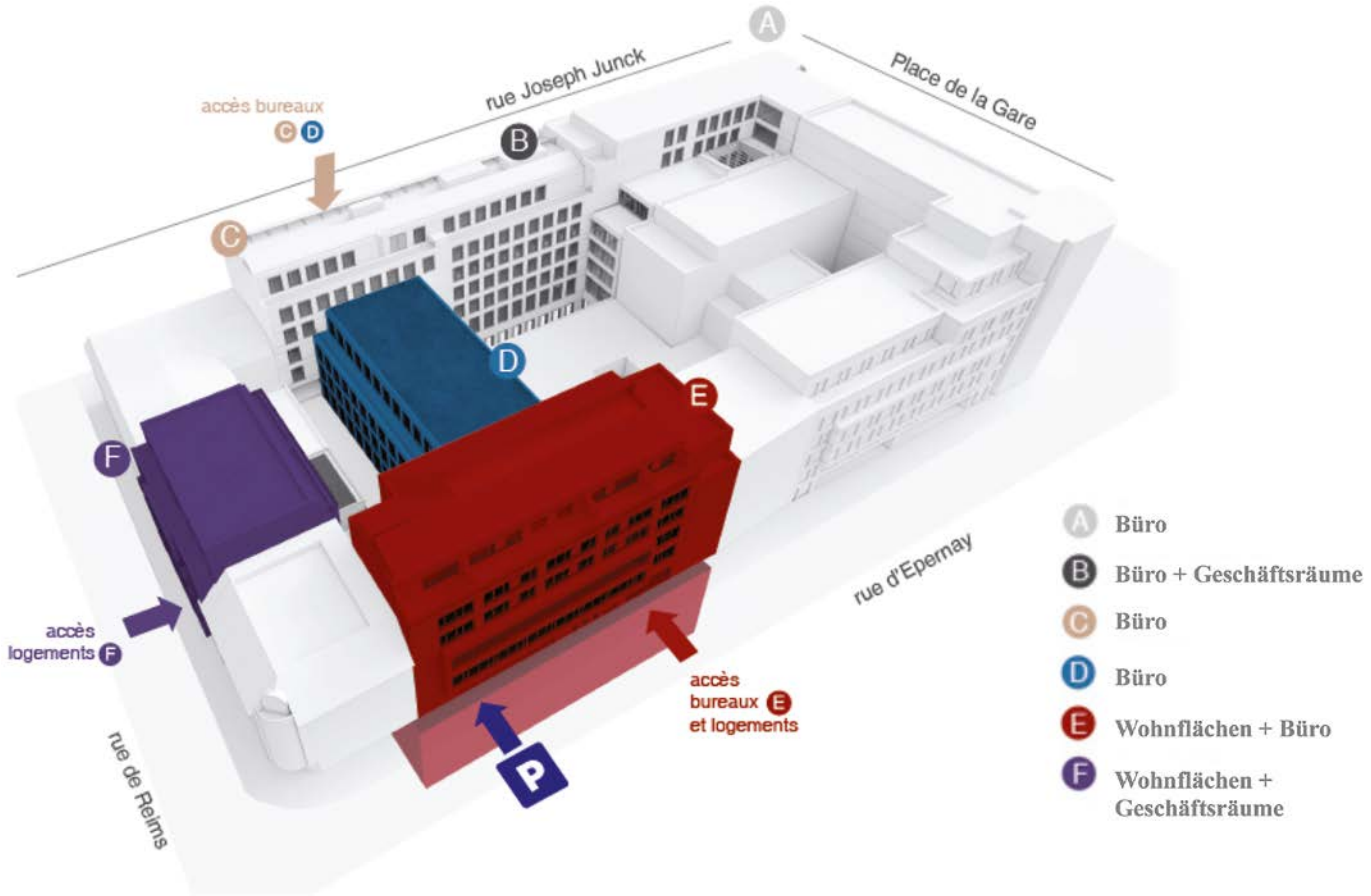


Bild 2b. Übersicht des zu entwickelnden Areals und Nutzung der Teilabschnitte des Neubauprojektes (Quelle: PEF KONS Investissement S.A.)
Fig. 2b. Animation of the area to be developed and the utilisation of the different sections of the new buildings (source: PEF KONS Investissement S.A.)

rend der Bauphase gewährleistet werden. Daher genehmigt die Stadtverwaltung nur vereinzelt baustellenbedingte Straßensperrungen an Wochenenden. Die beengten Platzverhältnisse stellen hohe Anforderungen an die Baustelleneinrichtung und Baustellenorganisation, die somit eine Schlüsselrolle in diesem Projekt einnehmen. Bild 2 zeigt das Projekt im Luxemburger Stadtzentrum mit den verschiedenen Bauabschnitten. Das Projekt ist in die Bauabschnitte A bis F eingeteilt, wobei der Bauabschnitt A die Bebauung der Ecke Avenue de la Gare und Rue Joseph Junck umfasst. Die Abschnitte B und C folgen im Straßenverlauf der Rue Joseph Junck, Abschnitt D bildet die Bebauung im Innenbereich, Abschnitt E grenzt im weiteren Verlauf an die Rue d'Epernay und Abschnitt F an die Rue de Reims.

Vor der Realisierung des neuen Projektes mussten zunächst ca. 83 000 m^3 bestehendes Bauvolumen rückgebaut und 32 000 m^3 umbauter Raum transformiert werden. Aufgrund der beengten Platzverhältnisse und des hohen Verkehrsaufkommens sowie des Schutzes der Nachbarbebauung stellte dies bereits eine Herausforderung für sich dar (Bild 3). Zudem waren die Anforderungen aus dem BREEAM zu berücksichtigen. Dabei sind in den verschiedenen Abschnitten sechs bis sieben Etagen und bis zu drei Untergeschosse abzureißen. In den Abschnitten A und E stand ein kompletter Abriss der Büro- bzw. Wohnflächen an. Dagegen blieben in den Abschnitten B bis C die Untergeschosse -4 und -5 erhalten. Beim Rückbau wurden daher entsprechende Vorplanungen und Schutzmaßnahmen erforderlich. Im Abschnitt F standen ältere Reihenhäuser, die dem Projekt weichen mussten.

Der Neubau des Projektes sieht in den Abschnitten A bis C Büroflächen und im Erdgeschoss Gewerbeflächen vor. Abschnitt E wird überwiegend als Wohnraum entsprechend dem heutigen Standard wieder aufgebaut. Die Untergeschosse werden weitestgehend als Parkfläche genutzt. Im Bereich A, welcher direkt gegenüber dem Bahnhof liegt, wies der Altbestand nur ein Untergeschoss auf. Aufgrund eines geplanten Auditoriums wurden in dieser Zone beim Neubau zwei Untergeschosse sowie ein zentrales bis zu 7 m hohes drittes Untergeschoss für die Anordnung der TGA erstellt. Dies machte erhebliche Terrassierungsmaßnahmen im massiven Luxemburger Fels erforderlich, die nicht unerhebliche Auswirkungen auf die Baustelleneinrichtung hinsichtlich des Schallschutzes mit sich brachten. In den aufgehenden Geschossen beinhaltet der Neubau des zum Bahnhof ausgerichteten Blocks neben dem Erdgeschoss fünf weitere Vollgeschosse und ein zusätzliches oberes, teilweise eingerücktes Staffelgeschoss (Bild 4). Abschnitte B und C umfassen Erdgeschoss und vier Vollgeschosse mit der vorgesehenen Nutzung als Bürofläche sowie einem von der Hauptfront abgesetzten Mansarden-

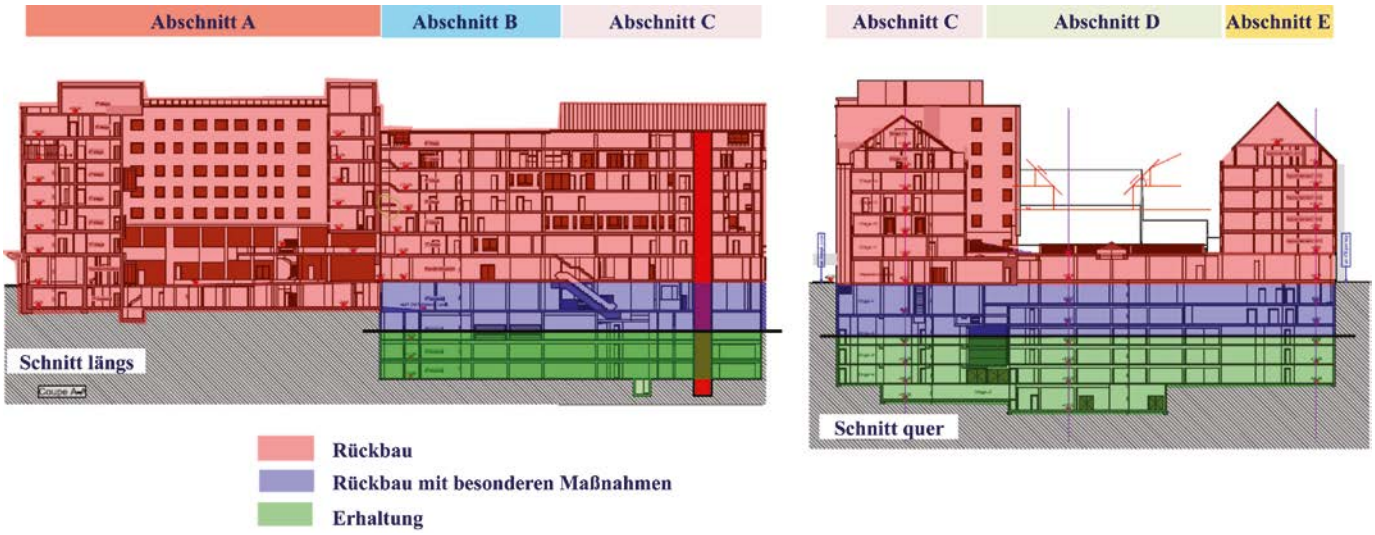


Bild 3. Rückbau des Gebäudebestands sowie Transformation und Erhalt der unteren Geschosse (Quelle: Schroeder & Associés)
Fig. 3. Demolition of existing buildings as well as transformation and preservation of the basement floor levels (source: Schroeder & Associés)

Bild 4. Visualisierung des neuen Gebäudekomplexes zwischen Place de la Gare und Rue de Reims (Quelle: m3 Architectes)
Fig. 4. Visualisation of the new building complex between Place de la Gare and Rue de Reims (source: m3 Architectes)

Niveau, u. a. für die Anordnung von Maschinen für die Gebäudetechnik. Beim Block D wird das erste Untergeschoss als sogenanntes „Rez-de-Jardin“ ebenso wie das Erdgeschoss und die drei aufgehenden Geschosse als Bürofläche vorgesehen. Der Abschnitt F stellt eine Mischnutzung mit Geschäftsflächen im Erdgeschoss, Büroflächen im ersten Obergeschoss sowie Wohnflächen bis zum 5. OG dar. Das letzte Niveau ist dabei leicht zurückgesetzt. Für den Komplex E mit fünf Obergeschossen sind vor allem Wohn-, aber auch Büroflächen vorgesehen.

Die Fassade der Bürogebäude zum Place de la Gare und Rue Joseph Junck werden durch eine äußerst hochwertige, vorgehängte und hinterlüftete Fassade mit Natursteinverkleidung (s. Bild 1) ausgeführt und entspricht somit den vorgegebenen Material- und den Schallschutzanforderungen gegenüber der stark befahrenen Straße. Das zurückgesetzte Staffelgeschoss erhält eine Fassade mit Glaselementen auf einer Stahlunterkonstruktion. Die übrigen Fassaden werden als Wärmedämmverbundsystem ausgeführt.

Als weitere Besonderheit ist das Atrium mit der architektonischen Treppe und den offenen Galerien auf den verschiedenen Etagen im Abschnitt A zu nennen. Diese Galerien werden im Brandfall durch automatische Brandschürzen in einzelne Brandabschnitte unterteilt. Abgeschlossen wird das Atrium durch eine Stahl-Glas-Dachstruktur. Insgesamt werden bei dem Projekt sehr hohe Anforderungen an die Qualität der Fassade, Haustechnik und den Innenausbau gestellt.

3 Planung und Design – Überlegungen zur gesamtheitlichen Optimierung

Bei der Festlegung des Stützenrasters muss zum einen der erhaltene Altbestand mit seinen in nur wenigen Punkten und gering belastbarem Grundriss beachtet werden. Zum anderen soll ein möglichst großer Stützenabstand eine sehr flexible Nutzung und einen hohen Nutzerkomfort der Büroflächen gewährleisten. Zudem müssen unter Berücksichtigung der Höhenbegrenzung der äußeren Fassade die Anforderungen des Bauherrn an die lichte Geschosshöhe im ausgebauten Zustand von mind. 2,70 m und den Forderungen nach entsprechenden Freiräumen für die technische Gebäudeausstattung eingehalten werden. Die schallschutztechnischen Anforderungen an die Rohdecken im Bürobereich sind unter Anrechnung des vorgesehen Doppelbodens und der abgehängten Decken mit einem Wert von R_w = 53 dB zu berücksichtigen. Die Kombination dieser Randbedingungen stellt eine enorme Herausforderung an die Tragwerksplanung dar und erforderte schlanke Geschossdecken mit einer Optimierung der Deckendicke in Abstimmung mit der Haustechnik.

Im Hinblick auf eine ganzheitliche Optimierung wird auf kostenintensive Verstärkungsmaßnahmen für die Fundamente in den nicht rückgebauten Untergeschossen

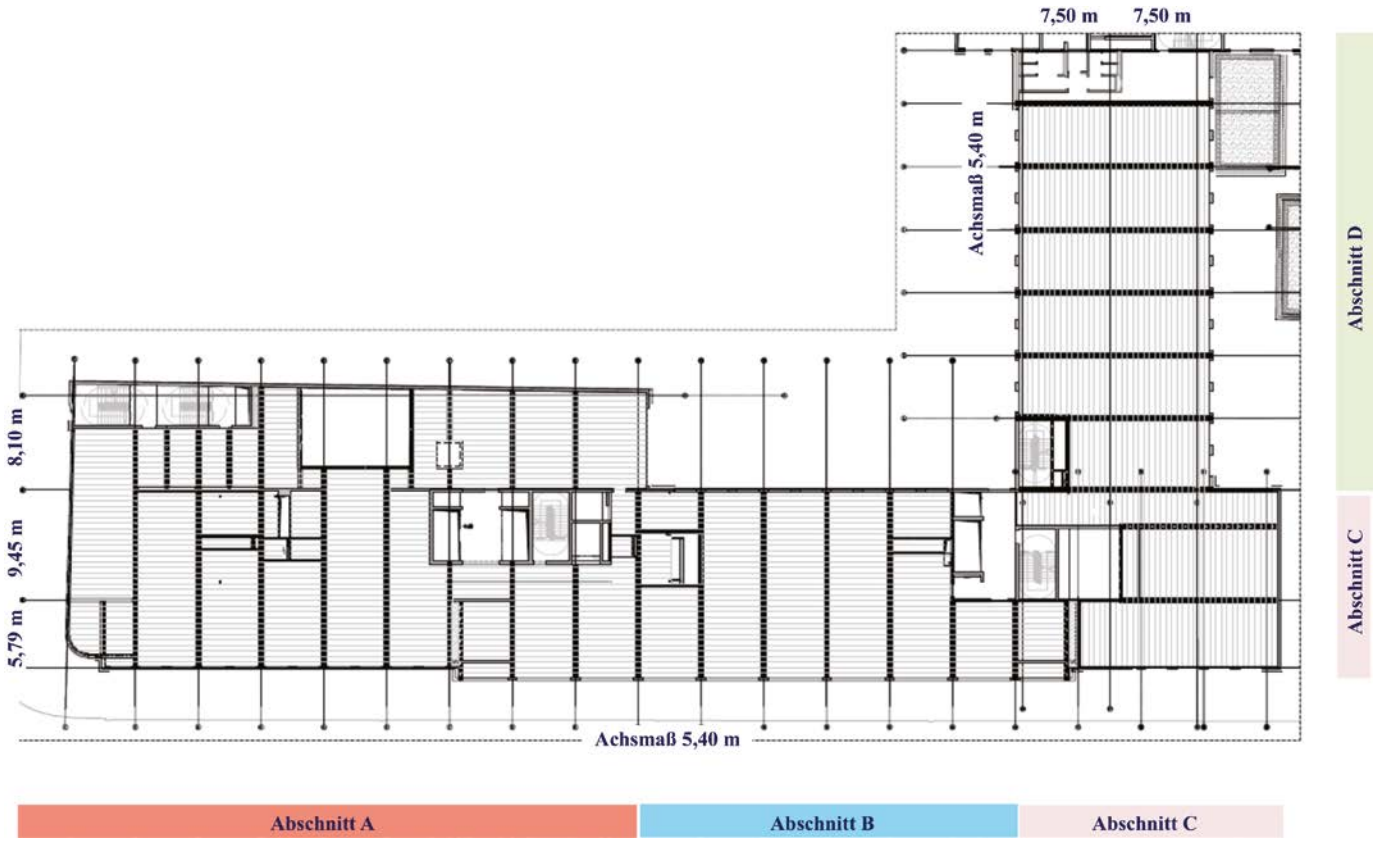


Bild 5. Grundriss der Abschnitte A–D mit Hauptachsen der Slim-Floor-Träger und Verlegerichtung der Profilbleche (Quelle: Schroeder & Associés)
Fig. 5. Floor plan of the sections A to D with the main axes of the slim floor beams and orientation of the profile sheets (source: Schroeder & Associés)

-3/-4/-5 der Abschnitte B, C und D verzichtet, was jedoch in der Konsequenz die Forderung nach einem geringen Deckeneigengewicht für die weitere Planung unterstreicht. In Abstimmung mit Bauherrn, Architektur und Tragwerksplanung wurde ein Achs- und Stützenraster von 5,40 m für die Abschnitte A bis C parallel zu der Fassade Rue Joseph Junck sowie orthogonal dazu für den Gebäudeteil D festgelegt. Dies entspricht dem vierfachen Abstand eines modernen und zeitgemäßen Fassadenrasters mit einem Grundmaß von 1,35 m. Dieses Raster weicht von dem 5-m-Stützenraster in den erhaltenen Untergeschossen ab, so dass Wechsel- und Abfangträger in der Decke über Niveau -2 erforderlich wurden. Um keine aufwendige Tragstruktur mit Abfangträgern in zwei Richtungen zu provozieren, wurde das Achsmaß orthogonal zur Fassade Rue Joseph Junk teilweise an die Position der Stützen im Bestand sowie den Abmessungen des Auditoriums und der Lage der Treppenhäuser angepasst. Daraus resultiert das Grundraster von 5,40 m × 5,79 m bzw. 9,45 m in den Abschnitten B und C, im Abschnitt A liegt ein drittes Feld von 8,10 m Breite vor (Bild 5). Dieses Stützenraster ermöglicht eine flexible Gestaltung der Inneneinrichtung der einzelnen Etagen und kann so der Organisationsentwicklung und den sich ändernden Bedürfnissen des Nutzers folgen, ohne aufwendige und störende Umbauarbeiten während der späteren Nutzung zu veranlassen. Eine Erweiterung der Stützenabstände war aufgrund der Limitierung der Deckenhöhe und der Forderung nach einer möglichst unterzugsfreien Deckenkonstruktion nicht möglich.

Zur Realisierung der Tragstruktur der Büroabschnitte wurden drei Ausführungsvarianten analysiert. Der Vorentwurf war mit einer massiven Betonflachdecke bemessen, zur Diskussion stand eine Alternative mit Deckenfertigteilen in Form von Spannbetonhohldielen, aufgelagert auf Betonfertigträgern in Kombination mit Ortbeton- bzw. Fertigteilstützen. Aufgrund der Ausstattung, Qualifikation und Erfahrung des Baustellenpersonals bestand zunächst eine große Affinität zur Realisierung in Ortbeton.

Nachteile der Ortbetonlösung sind zum einen die Deckendicke von ca. 30 cm, zu der noch eine zusätzliche Ebene für die Installation der Gebäudetechnik einzuplanen ist, sowie das große Deckeneigengewicht mit über 690 kg/m^2. Erhebliche Verstärkungsmaßnahmen für die bestehenden Untergeschosse und die Fundamente wären die Folge. Alternativ dazu bietet die Fertigteildecke mit Spannbetonhohldielen eine schnelle Verlegung, das Eigengewicht der Deckenkonstruktion kann unter 420 kg/m^2 gehalten werden, was die kritische Masse hinsichtlich des Bestandes repräsentiert. Allerdings führen bei derartigen Projekten die Fertigteilunterzüge immer zu einer starken Einschränkung in Bezug auf die Führung der Installationsleitungen der technischen Gebäudeausrüstung. Zudem ergeben sich Probleme für die Baustellenlogistik. Die Betonfertigteillösung erfordert ausreichend Platz zum Entladen der Lkw mit den entsprechend großen Fertigteilelementen. Zwar könnte das Baustellenareal theoretisch über alle vier angrenzenden Straßen erschlossen werden, in der Umsetzung können jedoch nur in den Nebenstraßen Rue Joseph

Junck und Rue d'Epernay in kleinen Zonen das Trottoir und ein schmaler Randstreifen der Straße als Entladezone genutzt werden. Aufgrund des engen Zeitfensters mit einer Gesamtbauzeit einschließlich der Abrissarbeiten von nur zweieinhalb Jahren können keine größeren Teilbereiche des Projektes nachgezogen werden, um so Lagerplatz zu schaffen. Im Wesentlichen müssen die Deckenflächen als Lager genutzt werden, dies erschwert die Baustellenorganisation und erfordert eine sehr detaillierte und sorgfältige Planung der Arbeitsvorbereitung. Gerade für Lkw mit großen Anhängern ist die Zufahrt zur Baustelle schwierig. Ferner ist zu bedenken, dass die Baustelle im Zentrum der Stadt von der Rushhour am Morgen und Abend betroffen ist, so dass die Anlieferung der Fertigteilelemente just in time nicht garantiert werden kann. Baustellenbüros und Container befinden sich aufgrund der räumlichen Gegebenheiten auf einem angemieteten Parkplatz in ca. 300 m Entfernung außerhalb der Reichweite der beiden Turmdrehkrane, über die die gesamte Baustelle abgewickelt wird.

Aus diesen Randbedingungen heraus hat der „Service d'Etudes" (technische Abteilung) des federführenden Generalunternehmers CLE eine weitere alternative Lösung in Stahlverbundbauweise, mit in die Decke integrierten Stahlverbundträgern vorgeschlagen, welche vom Ingenieurbüro Schroeder & Associés, unterstützt durch die entsprechenden Fachabteilungen von ArcelorMittal, ausgearbeitet und abschließend in die statische Bemessung überführt wurde. Dabei überspannen diese sogenannten Slim-Floor-Träger jeweils den größeren Stützenabstand. Quer dazu werden tiefgewalzte Profiltafeln mit einer Höhe von 220 mm und einem Rippenabstand von 750 mm über eine Spannweite von 5,40 m, ergänzt durch einen zusätzlichen Aufbeton von 10 cm Dicke, vorgesehen. Alle statischen, brandschutz- und schallschutztechnischen Vorgaben werden mit diesem System erfüllt.

Vorteile dieser Bauweise sind vor allem

- Eine *Reduktion des Eigengewichts* der Decke, die aus der rippenförmigen Geometrie der Bleche resultiert. Durch das verminderte Eigengewicht der Decken mit weniger als 360 kg/m^2 können auch die weiterleitenden Bauteile bis hin zu den Fundamenten schlanker dimensioniert werden. Ökologisch betrachtet trägt die durch die Materialeinsparung verbundene Schonung natürlicher Ressourcen zur Umsetzung nachhaltigen Gebäudelösungen bei.
- Eine deutliche *Reduktion des Baustellenverkehrs* gegenüber den alternativen Deckensystemen durch eine Verminderung vor allem des Betonvolumens und des gesamten Materialflusses. Aufgrund der offenen Form der Trapezblechprofile können bis zu 30 Profiltafeln in einem Paket gestapelt und somit bis zu 1500 m^2 je Lkw angeliefert werden. Das führt, verglichen mit einer Ausführung in Betonfertigteilen, zu einer enormen Steigerung der Transport-Effizienz. Ferner können aufgrund des geringeren Eigengewichts der Stahlträger und -stützen, verglichen mit Betonfertigteilen, mehr Bauteile mit einer Anfahrt geliefert werden. Dies bedeutet im Umkehrschluss auch, dass kleinere und wendigere Fahrzeuge eingesetzt werden können.
- Eine *Entlastung der Baukrane* durch eine schnelle und weitestgehend kranunabhängige Verlegung der Bleche, die durch das geringe Eigengewicht der Bleche von nur 16 kg/m^2 möglich wird. Bis zu 400 m^2 Deckenfläche können von einer Mannschaft an einem Tag verlegt werden (Bild 6). Als flexible Montagehilfe können einfache Hochhubstapler und Rollgerüste verwendet werden, z. B. beim Verlegen der Bleche im ersten Abschnitt (Bild 7). Nach dem Verlegen und Verschrauben dienen die Profiltafeln in der Regel ohne weitere Unterstützung direkt als Arbeitsbühne und Schalung; es kann umgehend mit dem Einbringen der Bewehrung begonnen werden.
- Eine Entlastung der Baustelle sowie eine höhere Qualität durch *Auslagerung von Produktionsprozessen* in die Stahlbauwerkstatt.
- Eine *Reduktion der erforderlichen Lager- und Entladezonen*, da die Stahlbauelemente sehr schlank sind und

Bild 6. Händisches Verlegen der Profilebleche vom Typ Cofraplus 220 mit Schottblechen als Endauflagerung (Foto: M. Schäfer)
Fig. 6. Manual installation of the profile sheets type Cofraplus 220 with end-diaphragm at the supports (photo: M. Schäfer)

Bild 7. Aufstellen der Stahlstruktur und Verlegen der ersten Bleche mit Hilfe von Rollgerüsten und Hubstabler (C. Radermacher)
Fig. 7. Erections of the steel structure and installing of the first sheets by means of rolling scaffold and stacker (C. Radermacher)

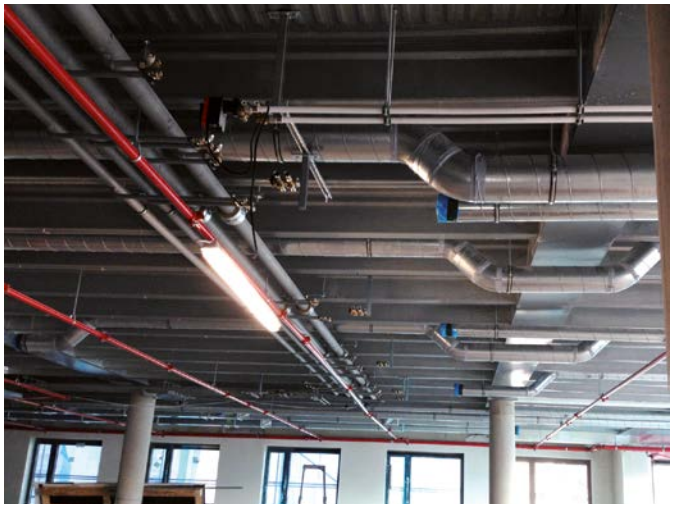


Bild 8. Kreuzungspunkte der Versorgungsleitungen werden in die Bereiche zwischen den Rippen der Decke gelegt, was zu einer flacheren Installationsebene und somit zu einer Reduktion der gesamten Höhe des Deckenaufbaus führt (Foto: M. Schäfer)
Fig. 8. Crossings of the supply lines are placed in the areas between the ribs of the composite slab, resulting in a lower installation area and thus to a reduction of the total height of the ceiling structure (photo: M. Schäfer)

Bild 9. Auflagerung der Slim-Floor-Träger in Aussparungstaschen, Ausrichten erfolgt vor dem Betonieren; Brüstung in Form von Fertigteil-Elementen (Foto: M. Schäfer)
Fig. 9. Bearing the slim-floor beam in block-outs of the concrete columns being aligned before concreting; Parapet out of prefabricated elements (photo: M. Schäfer)

die Stapel der Trapezblechprofile unmittelbar auf den montierten Stahlträgern am Montageort abgesetzt werden können.

– Eine *Reduktion der Deckenhöhe!* Auch wenn die Deckendicke sich mit 32 cm plus der Dicke der Untergurtplatte des Slim-Floor-Trägers von ca. 15 mm nicht wesentlich von der Deckendicke der Betonflachdecke unterscheidet, kann an Gesamtkonstruktionshöhe im Bereich der Technikebene gewonnen werden. Dies liegt daran, dass Knoten- und Kreuzungspunkte von Versorgungsleitungen in die Bereiche zwischen den Rippen verlegt werden können (Bild 8). Für das vorliegende Projekt stellt dies einen wesentlichen Vorteil dar, da so die Anforderungen an die lichte Raumhöhe trotz Doppelboden und abgehängter Decke bei gleichzeitiger Begrenzung der Fassadenhöhe eingehalten werden können.

Basierend auf der gesamtheitlichen Projektanalyse unter Einbeziehung der Baustellenorganisation und -logistik resultierte die Ausführung der gesamten Büroflächen in den Gebäudeteilen A, B, C und D mit ca. 12 600 m^2 Deckenfläche in der vorgestellten Slim-Floor-Bauweise. Das einheitliche Stützenraster bestärkte diese Entscheidung. Der Parkbereich in den Untergeschossen wurde in Ortbetonbauweise realisiert. Zur Aufnahme der hier anfallenden hohen Einzellasten und Einwirkungen aus Sicherheitsfahrzeugen wurden Unterzüge als Verbundträger vom Typ HEB 650-S460 angeordnet. Für die Decken der Wohnflächen im Abschnitt E sowie für Abschnitt F wurde aufgrund der teilweise unregelmäßigen Raster der Stützwände und den erhöhten Anforderungen an den Schallschutz ebenfalls die Ausführung in Ortbeton beschlossen.

Die klassische Fassade mit Fensterelementen, Wärmedämmung und vorgehängter hinterlüfteter Natursteinfassade (Material: Jura, Herkunft: Deutschland) lässt für die Außenwände auch aufgrund schallschutztechnischer Erwägungen nur eine Ausführung der Stützen und Brüstungselemente in Ortbeton zu. Dabei wird alle 2,70 m eine Fassadenstütze angeordnet. Aufgrund des 5,40-m-Rasters wird an jede zweite Fassadenstütze ein Slim-Floor-Träger angeschlossen. Der Anschluss einer Stahlkonstruktion an Betonwände gestaltet sich aufgrund der Toleranzen bzw. des Schalungsaufwandes bei integrierten Anschlussplatten immer als sehr aufwendig. Ferner sind die Profilblechtafeln der Decke ebenfalls auf die Wände aufzulagern. Aus Kostengründen und aufgrund des Brandschutzes soll dabei auf angedübelte Stahlwinkel verzichtet werden. Brüstungselemente sowie die zwischen den Hauptachsen liegenden Stützen werden als Fertigteile auf die Baustelle transportiert und dort montiert, die Anlieferung wird planmäßig außerhalb der Hauptverkehrszeiten vorgesehen. Dieses Vorgehen vermeidet aufwendige Schalungsarbeiten in großer Höhe an der Absturzkante und erhöht somit die Arbeitssicherheit. Die Querträger der Betonfertigteile erhalten einen konsolartigen Versprung, um die Auflagerung der Verbunddecke zu ermöglichen. Eine eingebaute Aufbiegebewehrung stellt die Verbindung zur Decke sicher. Die als Auflager für die Slim-Floor-Träger bestimmten Stützen werden in Ortbeton ausgeführt und entsprechende Aussparungstaschen für die Auflagerung der Träger vorgesehen (Bild 9). Die Baustellenlogistik muss dabei nahezu minutengenau dem Arbeitsprozess angepasst werden.

4 Tragwerk in Verbundbauweise

Statisch gesehen agieren die Slim-Floor-Träger im Grenzzustand der Tragfähigkeit als Einfeldträger. Die Träger werden vorwiegend auf Basis handelsüblicher HE220B-, HE200B- bzw. HE180B-Profile gefertigt, indem eine zusätzliche Stahlplatte 420 mm × 18 mm bzw. 400 mm × 15 mm untergeschweißt wird. Für den Baustahl wird überwiegend Stahl der Güten S355 und S460 verwendet. Um einzelne Höhenunterschiede zwischen benachbarten

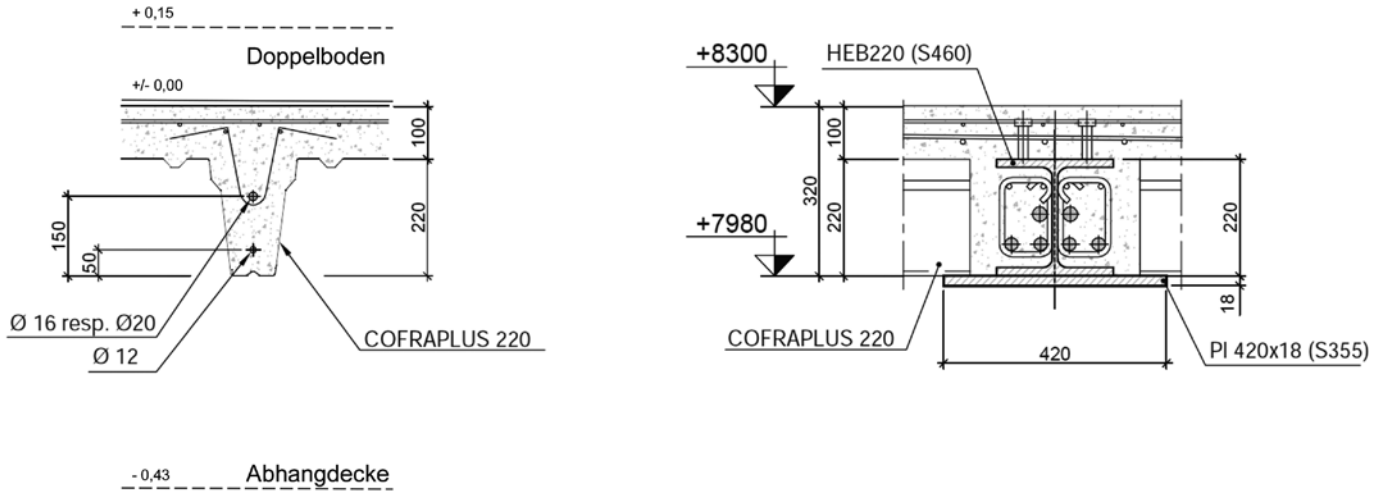


Bild 10. Querschnitt des Verbunddeckensystems und der Slim-Floor-Träger inklusive Brandschutzbewehrung (Quelle: Schroeder & Associés)
Fig. 10. Cross section of the composite floor system and the slim-floor beam including fire resistance reinforcement (source: Schroeder & Associés)

Trägen auszugleichen bzw. um die Auflagerung der Profiltafeln in der richtigen Höhenposition zu gewährleisten, werden einzelne Unterfütterungen in Form von warmgewalzten UPN-Profilen oder einfachem Flachstahl bei geringeren Höhendifferenzen aufgeschweißt. Die Verbundtragwirkung wird durch aufgeschweißte zweireihig angeordnete Kopfbolzendübel ∅ 19 mm erzielt. Durch eine in die Kammern der Slim-Floor-Träger eingelegte Längsbewehrung wird die Tragfähigkeit der Träger für den Lastfall Brand erhöht und so die Anforderungen an die Feuerwiderstandsklasse R90 erfüllt (Bild 10). Auf passive Brandschutzmaßnahmen, wie z. B. das Verkleiden mit Brandschutzplatten oder das Aufbringen von dämmschichtbildenden Anstrichen, kann hierdurch komplett verzichtet werden. Dies reduziert nicht nur die Kosten, sondern vermeidet auch entsprechende Verzögerungen im Bauablauf. Die Anforderung R90 folgt aus den Baurichtlinien des Großherzogtums Luxemburg für derartige Gebäude. Zusätzlich wird eine Sprinkleranlage vorgesehen. Aus einem Nachweis der Feuerwiderstandsdauer auf Basis von Naturbrandszenarien könnte ggfs. eine Optimierung der Brandeinwirkungen resultieren. Dies würde aber eine Begrenzung der Brandabschnitte auf max. 400 m^2 erfordern. Aus vermarktungsstrategischen Gründen wollte der Bauherr dies jedoch nicht, so dass die Bemessung nach der Einheits-Temperatur-Zeitkurve (ISO-Brand) und der entsprechenden Klassifizierung erfolgt. Im Bauzustand werden die Träger unterstützt, um Torsionsbeanspruchungen während des Betonierens zu reduzieren.

Bei den quer zu den Träger verlaufenden Deckenfeldern werden Trapezblechprofile vom Typ Cofraplus 220 (Bauaufsichtliche Zulassung Z-26.1-55) mit 1,25 mm Blechdicke verwendet, die im Bauzustand, d. h. während der Betonage, ohne weitere Unterstützung als Einfeldträger agieren. Im Endzustand, bzw. im ausbetonierten Zustand wirkt die insgesamt 32 cm dicke Decke durch die eingebrachte Stützmomentbewehrung über dem Träger in dieser Richtung als Durchlaufträger. Zusätzlich werden in die Rippen der Bleche zwei weitere Bewehrungslagen eingebaut, die obere ist für die Sicherstellung der Feuerwiderstandsdauer R90 erforderlich (Bild 11).

Bild 11. Zur Realisierung der zweiten Bewehrungslage in der Rippe werden gebogene Betonstahlmatten eingebaut (Foto: Ziemann)
Fig. 11. Bended reinforcement meshes get used to install the second reinforcement bars in the ribs of the slab (photo: Ziemann)

Die runden Innenstützen werden im Grenzzustand der Tragfähigkeit als Stahlstützen dimensioniert. Zur Sicherstellung der Feuerwiderstandsdauer und zur Erfüllung der architektonischen Anforderungen runder Stützen erhalten die Stahlprofile eine Betonummantelung. In den oberen Geschossen können aufgrund der geringeren Stützenlasten die Stützen als reine Betonstützen mit einer Einbauplatte zum Anschluss der Slim-Floor-Träger realisiert werden. Der Anschluss des Deckenträgers wird durch wirtschaftliche gelenkige Verbindungen realisiert und liegt genau in der Deckenebene, so dass dieser im Rahmen der Deckenbetonnage vollkommen ausbetoniert wird und somit brandgeschützt ist (Bild 12).

Das obere Staffelgeschosses im Abschnitt A wird durch eine reine Stahlkonstruktion in Kombination mit

Bild 12. Träger-Stützen-Anschluss, Stützenstoß oberhalb der Deckenebene, Wendelbewehrung für spätere Betonummantelung der Stützen (CR)
Fig. 12. Column-beam connections, head-plate joints of the columns above the slab level, spiral reinforcement for later circular concreting of the columns (CR)

einem zweischaligen Dach mit tragenden Trapezblechprofilen realisiert. Für die Rand- und Aussteifungsverbände des Daches kommen Rohrprofile zum Einsatz. In Kombination mit einer Sprinkleranlage werden keine weiteren Anforderungen an den Brandschutz dieses oberen Niveaus gestellt, so dass die Ausführung des Stahlbaus ohne weitere brandschutztechnische Maßnahmen erfolgt.

Alle Stahl- und Stahlverbundquerschnitte wurden in Abhängigkeit der Einwirkungen und der zu verwendenden Stahlgüte sowie den Anforderungen aus dem Brandschutz optimiert. Nahezu die gesamte Stahlstruktur ist ohne weitere Brandschutzmaßnahmen ausgeführt, allein die wenigen Abfang- und Wechselträger in den Untergeschossen (HEB 650) erhalten eine Verkleidung mit Brandschutz-Platten oder werden mit Kammerbeton versehen.

Global wird das Tragwerk mittels Treppenhauskernen gegen horizontale Einwirkungen ausgesteift, die in Betonbauweise erstellt werden. Nur ca. 8 bis 10 % der erhaltenen Altsubstanz in den Untergeschossen -4 und -5 musste vor der Erstellung der neuen Tragstruktur aufgrund der gestiegenen Anforderungen und erhöhten Einwirkungen ertüchtigt werden. Dazu wurden teilweise Betonstützen mit U-förmigen Stahlprofilen verstärkt oder bestehende Betonstützen verbreitert. Auch einige Fundamente mussten verstärkt werden. In diesen Teilbereichen wurden zur Durchführung der Verstärkungsmaßnahmen die erhaltenen Geschosse vorübergehend unterstützt. Auf großflächige Verstärkungen konnte jedoch aufgrund des optimierten Eigengewichtes der Tragstruktur verzichtet werden.

5 Planung und Fertigung des Stahlbaues

Für die betriebsinterne Werkplanung des Stahlbauers wurde eine detaillierte Anschlussstatik in fortlaufender Abstimmung mit dem Tragwerksplaner erstellt. Durch die Verwendung von Stahlprofilen der Materialgüten S355 und S460 stellte sich angesichts ehrgeiziger Liefertermine die Aufgabe, Material aus jeweils kurzfristig bevorstehenden Walzterminen zu beziehen. Für die Erzeugung der genauen Materiallisten wurde zunächst ein 3D-Stabmodell erstellt (Bild 13). Durch den parallelen Einsatz zweier Konstrukteure war es möglich, einerseits die technische Planung sowie auch eine lückenlose Koordination Hand in Hand mit der Baustelle hinsichtlich Rohbau, Stahlbaumontage und Verbundblechverlegung zu garantieren. Aufgrund der beengten Örtlichkeit wurden alle Montageabrufe zum genauen Termin und Uhrzeit eingetaktet. Bei einem terminlichen Vorlauf von ca. drei Wochen in der Fertigung konnte somit termingerecht auf Abruf geliefert werden. Die Verarbeitung der Profile und Bleche erfolgte zeitnah über CAD/CAM-gestützte Maschinen. Um den Montageablauf auf der Baustelle zügiger zu gestalten, wurde die Bewehrung bereits im Werk in die Kammern der Slim-Floor-Träger eingebracht. Alle Teile erhielten als Korrosionsschutz eine Grundbeschichtung sowie alle sichtbaren Flächen zudem eine Deckbeschichtung auf 2K-EP-Basis. Die Deckenträger wurden gemäß ihrer statischen Bemessung mit individueller Überhöhung ausgeführt. Durch die Anordnung der Montagestöße der Geschoßstützen jeweils oberhalb der Deckenebene (s. Bild 12) war es möglich, eine problemlose und schnelle Montage, Ausrichtung und Abstrebung im Bauzustand und auch die Maßhaltigkeit der Geschoßhöhen sicherzustellen. Ein Bauabschnitt zu je etwa 30 t Stahl konnte somit in ca. drei Tagen fertig montiert werden, in weiteren je ca. zwei Tagen wurden etwa 500 m^2 Verbundbleche verlegt. Alle Montagearbeiten wurden in der Nachmittagsschicht im Wechsel mit der Rohbaufirma durchgeführt. Der terminliche Vorlauf von der technischen Bearbeitung bis zur ersten Auslieferung betrug ca. 12 Kalenderwochen.

6 Bauablauf und integrierte Stahlbaumontage

Infolge der begrenzten Fläche für die Baustelleneinrichtung, die nur die Errichtung von zwei Turmdrehkranen zuließ, gestaltete sich die Baustellenorganisation sehr komplex. Da fast alle Arbeitsprozesse im Rohbau kranabhängig sind, mussten die Betonarbeiten und der Stahlbau in verschiedenen Zeitfenstern geplant werden, damit die Gewerke zügig voran kommen und nicht aufgrund fehlender Kranverfügbarkeit blockiert werden. Am Vormittag erfolgten klassische Schalungs- und Betonbauarbeiten, zu denen die Erstellung der Wände und des Treppenhauskerns sowie der Errichtung der Fertigteil- und Ortbetonelemente der Außenfassade zählten, ebenso wie die Realisierung der Betonummantelung für die Stützen. Am Nachmittag stand mindestens ein Kran für die Stahlbaumontage zur Verfügung. In dieser Zeit wurde parallel mit dem händischen Verlegen der Profiltafeln zwischen den Stahlträger begonnen (Bild 6), so dass trotz einer sehr hohen Auslastung der Krankapazität ein schneller Baufortschritt erzielt werden konnte.

Im Rahmen der Stahlbaumontage wurden die Träger und Stützen möglichst direkt vom Lkw eingehoben und montiert. Um die Entladezone möglichst schnell wieder zur Verfügung zu stellen, erfolgte teilweise eine Zwischenlagerung auf der Decke. Zunächst wurden die Stützen aus einfachen Stahlwalzprofilen als übliche Stahlstruktur geschossweise montiert und mit den Deckenträgern verbunden. Der Kopfplattenstoß der aufgehenden Stützen wurde

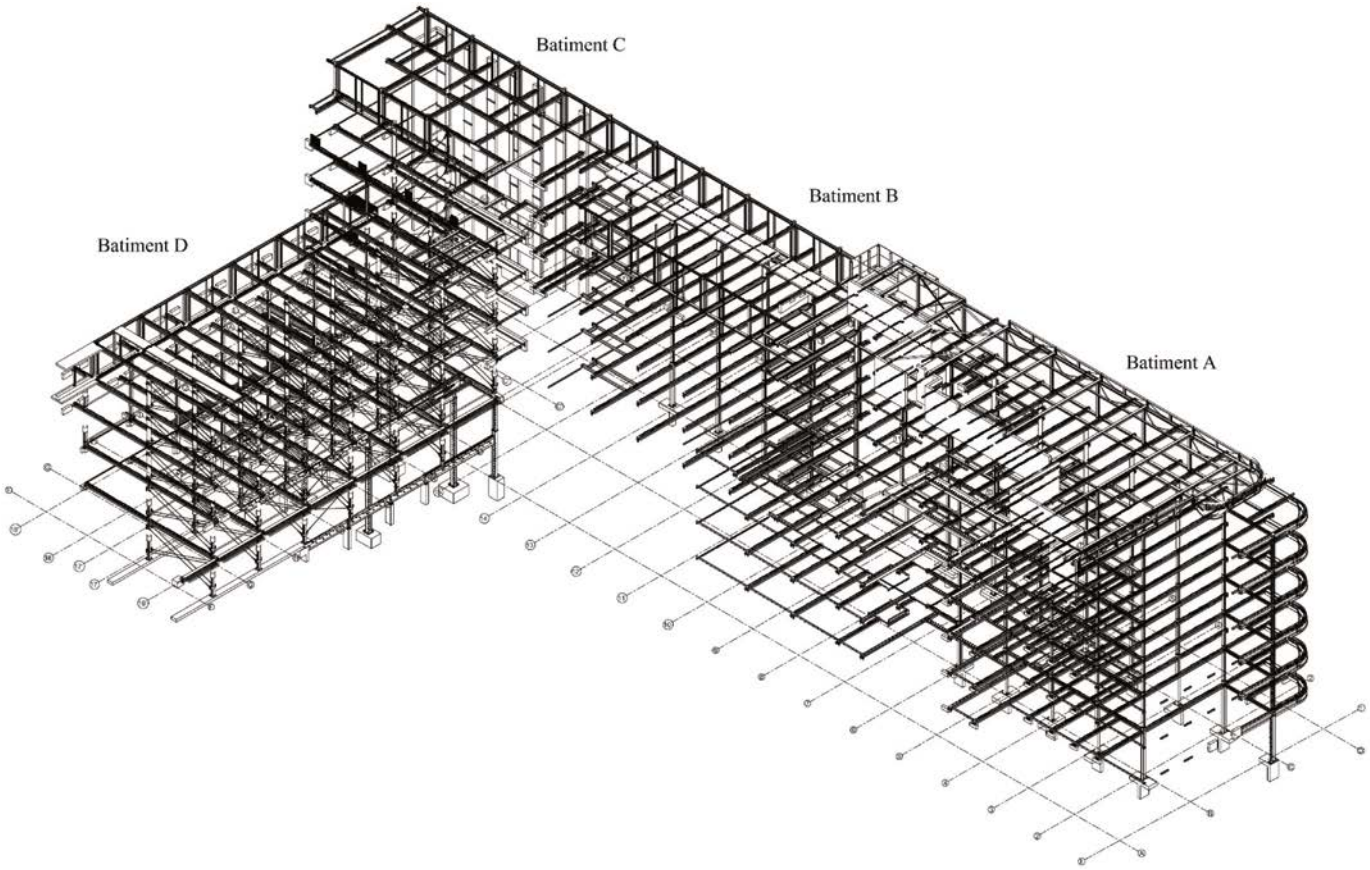


Bild 13. 3D-Planung des Stahlbauers als Grundlage für die Werkstattzeichnungen und Sicherstellung der Maßgenauigkeit (Quelle: Ziemann)
Fig. 13. 3D model of the steel fabricator as a basis for the workshop drawings and the dimensional accuracy (source: Ziemann)

ca. 30 cm oberhalb jeder fertigen Deckenoberkante angeordnet, so dass die Stützen ausgerichtet und für die Betonnage der Decke mittels einer Hilfskonstruktion stabilisiert werden konnten. Nach ausreichendem Erhärten der Decke konnte die stahlbaumäßige Hilfskonstruktion ausgebaut und im nächsten Geschoss wieder eingesetzt werden (Bild 7).

Nach der Montage der Stahlträger erfolgte das Verlegen der Profilblechtafeln. Dazu wurden zunächst Schotte als Dreifach-Element entsprechend dem Verlegeplan mit Hilfe der Direktbefestigung auf dem Trägeruntergurt befestigt. Die Schotte übernehmen dabei grundsätzlich eine doppelte Funktion – zum einen dichten sie das Blechprofil am Ende ab und sind so zugleich seitliche Schalung für den Kammerbeton der Slim-Floor-Träger, zum anderen steifen sie die Profiltafeln am Auflager aus und erhöhen so die Querkrafttragfähigkeit des Deckensystems am Auflager. Anschließend wurden die Profiltafeln übergestülpt und mit dem Schott am Obergurt bzw. in der Sicke mit dem Träger durch selbstbohrende Schrauben verbunden. Zum Abschluss musste nur noch die Längsstoßverschraubung der Profiltafeln untereinander vorgenommen werden. Nach dem Verlegen und Verschrauben dienten die Profiltafeln in der Regel ohne weitere Unterstützung direkt als Arbeitsbühne und Schalung, so dass umgehend mit dem Verlegen der Bewehrung begonnen werden konnte. Nur in einzelnen Bereichen, wie zum Beispiel konisch zulaufenden Randfeldern, in denen die Trägerabstände über 6,30 m betragen, wurden die Stahlbleche temporär im Bauzustand unterstützt. In den Standarddeckenfeldern mit 5,40 m Stützweite konnte auf derartige Maßnahmen verzichtet und so äußerst wirtschaftlich und zügig gearbeitet werden. Im Fassadenbereich der Rue Joseph Junck wurde für das Betonieren der Deckenfelder der oberen Niveaus eine kleine stationäre Betonpumpe installiert, auf Seite der Rue d'Epernay wurde nach Bedarf mit einer Autobetonpumpe betoniert. Das Betonieren aller Wände und diverser Deckenbereiche erfolgte mittels Baukran.

Für die gesamte Baustelle wurde im Vorfeld eine Rotation festgelegt, so dass sich in den verschiedenen Bauabschnitten die Gewerke nicht gegenseitig behinderten. Bild 14 zeigt, dass in Abschnitt B die Bleche verlegt werden, während im Abschnitt C die Bewehrung der Decke erfolgt und in Abschnitt D das Deckenfeld betoniert wird. Derweilen wird in Abschnitt A (Standort Fotograf) der Stahlbau voran gebracht und in den Abschnitten E und F die vertikalen Betonwände erstellt. Durch diese Vorgehensweise konnte der Stahlbauer als Nachunternehmer mit einem kleinen Team, dafür aber ohne wesentliche Unterbrechungen, auf der Baustelle tätig sein.

7 Résumé

Aktuell steht das Projekt kurz vor der Fertigstellung, die für Dezember 2016 vorgesehen ist. Rohbauarbeiten und der Stahlbau wurden bereits Anfang des Jahres abgeschlossen.

Bild 14. Baustellenorganisation im Rohbau – Blechmontage, Bewehren und Betonieren der Abschnitt B, C und D (Foto: M. Schäfer)
Fig. 14. Construction sequence of the shell – sheet installation, reinforcing and concreting of section B, C and D (photo: M. Schäfer)

Insgesamt sind die Schnittstellen zwischen den verschiedenen Bauweisen durch eine kompetente integrale Planung im Vorfeld abgeklärt und in der Ausführung entsprechend berücksichtigt worden. Dies liegt vor allem an dem guten Miteinander zwischen Bauherr, Architekt, Ingenieurbüro, Fachplanern und dem Generalunternehmer, aber auch in der sehr guten Kommunikation zwischen GU und dem Stahlbauer als Nachunternehmer. Der Stahlverbundbau hat sich auch in der Ausführung als sehr gute Lösung für die Randbedingungen dieser Baustelle bewiesen. Neben der guten Planung im Detail ist die fachkundige Ausführung letztlich der Garant für einen reibungslosen Bauablauf.

Die Zahlen im Überblick

Nutzfläche	ca. 14 600 m² Büro, 2 400 m² Handel, 3 500 m² Wohnung, Parkfläche Untergeschoss 8 300 m²
Bauzeit	Abriss: ab Ende Mai 2014 – Fertigstellung geplant für Dezember 2016
Stahl	ca. 300 t Slim-Floor, ca. 127 t Stützen HEM 180 -320, ca. 170 t Walzprofile und Bleche 12 600 m²

Am Bau Beteiligte

Bauherr	PEF KONS Investment S.A., Luxemburg BPI Luxembourg S.A., Rout d'Arlon 19-21, L-8009 Strassen Immobel, Rue de la Régence 58, Brüssel Besix Red – Real estate development, 7 r. du Fort Elisabeth, L-1463 Luxemburg Übernahme durch AXA Real Estate im Juli 2014
Architekt	M3 Architectes, 15, rue Wurth-Paquet, L-2737 Luxembourg, mail@m3archi.lu
Ingenieur	Schroeder & Associés Ingénieurs-conseils, 8, rue des Girondins, L-1626 Luxembourg, contact@schroeder.lu
Generalunternehmung	Konsortium (Association momentanée) bestehend aus CLE (Gruppe CFE), Westside Village – Bâtiment B, 89, rue Pafebruch, L-8308 Capellen, info@cle.lu LUX TP S.A. (Gruppe BESIX), Zone Industrielle Schaedhaff, L-5280 Sandweiler, contact@luxtp.lu
Stahlbaufertigung und Montage	Stahlbau Ziemann GmbH, Lilienthalstr. 2, D-54516 Wittlich, info@ziemann-stahlbau.com *Reinhold Hettinger* (Projektleitung); *Klaus Streit* (Statik); *Matthias Thul*, *Claus Freis* (Konstruktion)
Blechmontage	ME-DA-WA System- und Elementbau GmbH, Differter Str. 95, D-66802 Überherrn, zentrale@me-da-wa.de

Autoren dieses Beitrages:
Univ.-Doz., Dr.-Ing. Markus Schäfer,
Universität Luxemburg, Campus Kirchberg
6, rue Richard Coudenhove-Kalergi
L-1359 Luxembourg
markus.schaefer@uni.lu
ehemals: Directeur des études CLE S.A.

Dipl.-Ing. / MBA Christoph Radermacher
ArcelorMittal Construction – Product manager
24-26 Boulevard d'Avranches
L-1160 Luxembourg
Luxembourg
christoph.radermacher@arcelormittal.com

Dipl.-Ing. Matthias Braun
ArcelorMittal Europe – Long Products
66, rue de Luxembourg
L-4009 Esch-sur-Alzette,
Luxembourg
mathias.braun@arcelormittal.com

Dipl.-Ing. Rheinhold Hettinger
Claus Freis
Stahlbau Ziemann
Lilienthalstraße 2, D-54516 Wittlich
info@ziemann-stahlbau.de

Dipl.-Ing. Antoine Pesch
Dipl.-Ing. Faiza Benyahia
Schroeder & Associés, ingénieur-conseils
8, rue de Girondins, L-1626 Luxembourg
www.schroeder.lu