

Höchstbelastetes Holzfachwerk in der Schweiz - Zweigeschossig überspannte Dreifachturnhalle

Andreas Burgherr, Alois Räber
Timbatec Holzbauingenieure Schweiz AG, Zürich

1 EINLEITUNG

In zahlreichen Gemeinden der Schweiz werden gegenwärtig Schulen erweitert, renoviert oder neu errichtet, was auf einen steigenden Bedarf an modernen Bildungseinrichtungen hindeutet. Es ist besonders erfreulich, dass viele dieser Bauprojekte auf den natürlichen und nachhaltigen Baustoff Holz setzen. Holz bietet nicht nur ökologische Vorteile, sondern ermöglicht es auch, Kindern schon früh die Leistungsfähigkeit und Funktionalität dieses vielseitigen Materials nahezubringen. Indem sie den Werkstoff Holz im schulischen Alltag erleben, tragen sie das erworbene Wissen in die Zukunft. Dies könnte ein vielversprechender Weg sein, um den Marktanteil von Holz langfristig zu erhöhen.

Die Schule Wiesental ist die grösste Primarschule der Gemeinde Baar. Mit den geplanten Neubauten wird die bestehende Schulanlage auf 28 Klassenräume erweitert, um insgesamt 560 Kindern Platz zu bieten. Die Erweiterung erfolgt in zwei Bauetappen: Zunächst wird das grösste Gebäude, das sogenannte Haus Ost, mit einer integrierten Dreifachturnhalle errichtet. Nach dem Einzug in dieses Gebäude werden die bestehenden Schulhäuser zurückgebaut. An ihrer Stelle entstehen drei Neubauten, die Platz für Kindergarten, Aula und Tagesstrukturen bieten.

Die Neubauten der Schulanlage Wiesental werden nach dem Minergie-Eco-Standard errichtet, dem nachhaltigen Bau- und Energiekonzept mit hohen Anforderungen an Energieeffizienz, Komfort und Umweltverträglichkeit. Mit der Verwendung von Holz wurde hierfür eine gute Ausgangsbasis geschaffen. Der Baustoff Holz bietet nicht nur ästhetische und ökologische Vorteile, sondern trägt auch zu einem gesunden Raum- und Lernklima bei. Der folgende Beitrag befasst sich mit dem Bauwerk "Haus Ost", in dessen Zentrum eine Dreifachturnhalle steht, die von einem zweigeschossigen Schultrakt in Holzbauweise überspannt wird. Das hierfür entworfene Megafachwerk stellte eine anspruchsvolle und zugleich spannende Aufgabe im Bereich des Holzbaus dar.

2 PROJEKT

2.1 Projektwettbewerb und Revision: Anpassungen in der Umsetzung

Der Projektwettbewerb, welcher im Jahr 2018 durchgeführt wurde, bildete den Grundstein für das Bauprojekt. Dabei bestand die Aufgabe darin, die Schulanlage Wiesental im laufenden Schulbetrieb etappenweise zu erweitern. In Kooperation mit dem Architekturbüro PENZISBETTINI aus Zürich konnten die Ingenieure von Timbatec Holzbauingenieure Schweiz AG im Wettbewerb mit ihrem Entwurf überzeugen.

Im ursprünglichen Wettbewerbsentwurf war für das Haus Ost zunächst eine Zweifachturnhalle vorgesehen, siehe Abb. 1 links. Die Lastabtragung der beiden über der Turnhalle liegenden Geschosse sollte durch Brettschichtholzträger auf jeder Achse erfolgen, wobei eine Ergänzung durch tragende Korridorwände im darüberliegenden Schulgeschoss vorgesehen war.

Das bisherige Raumkonzept wurde seitens der Gemeinde im Rahmen der Projektierung angepasst. Eine wesentliche Änderung bestand darin, dass im Gebäude Ost neu eine Dreifachturnhalle untergebracht werden sollte, siehe Abb. 1 rechts. Zur Schaffung des erforderlichen Raumes im Sockelgeschoss war eine Verlängerung des Gebäudes erforderlich. Schnell zeigte sich jedoch, dass das im Wettbewerbsentwurf vorgesehene Tragwerkskonzept unter den neuen Gegebenheiten nicht mehr optimal funktionierte. Statt der geplanten nahezu quadratischen Grundrissfläche von 28 x 32 Metern musste nun eine Fläche von



Abb. 1: Projektkonzept der Schule Wiesenthal in der Wettbewerbsphase (links) und der Projektierungsphase (rechts), jeweils der Schnitt in Längsrichtung und Grundriss mit Fokus auf die Turnhalle

35 x 50 Metern überspannt werden, siehe Abb. 1. Vor allem über die 50 Meter war die geplante mittragende Wirkung der oberen Korridorwände nicht mehr ausreichend. Daher musste ein neues Tragwerkskonzept entwickelt werden.

2.2 Variantenstudium zum Tragwerk

Im Zusammenhang mit dem Tragwerk der Dreifachturnhalle ergaben sich mehrere Herausforderungen:

- **Begrenzte Tragwerkshöhe:** Die Höhe des Tragwerks über der Halle ist limitiert. Höhere Träger würden entweder zu einem zusätzlichen Aushub führen, da die Turnhalle tiefer in den Boden eingelassen werden müsste, oder zu einem höheren Gebäude, was wiederum baurechtliche Fragen aufwerfen würde. Zudem würden sie zu einer unnötigen Erhöhung des Bauvolumens und der Raumhöhe in den beidseitig an die Turnhalle angrenzenden Klassenräumen führen.
- **Differenzielle Verformungen:** Mit der Neuplanung als Dreifachturnhalle befindet sich der Übergang zwischen Klassentrakt und Turnhalle jeweils in der Mitte eines darüber liegenden Klassenzimmers. Selbst bei einer Begrenzung der nutzlastbedingten Verformungen der Turnhallendecke auf $l_{\text{Spannweite}} / 1000$ ergeben sich innerhalb des Achsabstandes von rund 4 Metern zwischen der Wandachse der Turnhalle und der ersten Trägerachse in der Halle eine differenzielle Verformung von bis zu 3 cm.
- **Verformungen durch Auflasten:** Ein leichtes, weit gespanntes Holztragwerk erfährt durch die Auflasten der nichttragenden Innenwände und der Boden- und Dachkonstruktionen deutlich höhere Verformungen. Dies erfordert eine komplexe Behandlung der verschiedenen Bauzustände, damit die strukturelle Integrität und Funktionalität des Gebäudes gewährleistet werden können.

Als Konsequenz aus den oben genannten Herausforderungen wurden die unterschiedlichsten Lösungsansätze für die Ausführung des Tragwerkes der Dreifachturnhalle in Betracht gezogen. Prämisse war natürlich immer, das Tragwerk möglichst in Holzbauweise zu realisieren.

- **Vorgespannter Trägerrost:** Die Variante des vorgespannten Trägerrosts erwies sich als unwirtschaftlich und nicht kompatibel mit den Anforderungen des Projekts. Ein Trägerrost über dem stark rechteckigen Grundriss der Turnhalle könnten die differenziellen Verformungen nur dann wirksam reduzieren, wenn die Längsachsen beim Übergang zum Schultrakt eingespannt sind respektive der Trägerrost in die Klassentrakte verlängert wird.
- **Quasi-Vollholzdecke:** Eine Massivholzdecke als Tragkonstruktion ist technisch machbar, erfordert aber den Einsatz eines nicht unerheblichen Holzvolumens. Zudem hätte diese Variante in den Fensterbereichen der Turnhalle zu deutlich tieferen Fensterstürzen geführt, was architektonisch nicht akzeptabel war.
- **Mega-Fachwerke über zwei Geschosse:** Der Entwurf sieht zwei Querschwerke auf den Achsen der Turnhallentrennwände mit dazwischen liegenden Hängewerken entlang der Mitteltragwerksachsen vor, siehe Abb. 2. Die Kontrolle der Überhöhung und der elastischen Einfederung an den

Kreuzungspunkten der beiden Fachwerke kann rechnerisch mit Hilfe eines Stabwerkmodells relativ einfach ermittelt werden.

2.3 Planungsgrundlagen der Mega-Fachwerke

Die Vorteile des Mega-Fachwerks im Variantenstudium überzeugten und wurden in die Ausführung übernommen. Ein statisch einfaches System in diesen Kraftdimensionen stellt im Holzbau eine erhebliche Herausforderung dar und wirft dabei folgende Fragen auf:

- Wie realisiert man einen 35 m langen Untergurt aus Holz, der einer Zugkraft von 11 Mega-Newton = 11'000 kN aufnehmen kann?
- Wie verbindet man eine Strebe, die mit 13 Mega-Newton = 13'000 kN Druckkraft belastet ist, sicher mit dem Untergurt?
- Wie integriert man ein Zwischengeschoss in ein solches Mega-Fachwerk?
- Wie berücksichtigt man die Bautoleranzen in der Bauphase im Zusammenhang mit den erforderlichen Überhöhungen und Vorspannungen zuverlässig?

Im Lösungsprozess wurde schnell klar, dass eine Hybridkonstruktion aus Holz und Stahl ein wirtschaftliches Ergebnis sein kann. Holz für die Druckkomponenten und Stahl für den Zugbereich. Es zeigte sich, dass die geplanten vorhandenen Stützenreihen entlang des Tribünenrandes trotz der kürzeren Stützweiten mehr Nachteile als Vorteile für die Ausführung als Mega-Fachwerk hätten. Daher wurde ein Dach-Raum-Fachwerk entworfen, das den gesamten Raum über der Sporthalle von Fassade zu Fassade sowie von Hallenwand zu Hallenwand auf einer Fläche von 35 x 50 Metern überspannt.

Selbst für erfahrene Holzbauingenieure sind solche Dimensionen und die damit verbundenen Kräfte alles andere als alltäglich. Um sicherzugehen, dass alle Aspekte berücksichtigt wurden, fanden während der Projektierung mehrere interne und externe Audits statt, um die zahlreichen aussergewöhnlichen Knotenpunkte kritisch zu diskutieren. Die Ingenieure von Timbatec schätzten den sehr offenen Austausch während der Projektierung mit Peter Makiol von der Makiol Wiederkehr AG als externe Zweitmeinung. Diese gemeinsame Reflexion bewirkte, eine zuverlässige Lösung für diese komplexen Aufgabenstellungen zu finden.

3 UMSETZUNG UND AUSFÜHRUNG DER MEGA-FACHWERKE

3.1 Primärfachwerk

Die Ausführung des Gesamttragwerkes wurde in ein primäres und sekundäres Fachwerk gegliedert. Im Prozess wurden oberhalb der Turnhalle (blaue Fläche in Abb. 2) zwei Achsen (rote Pfeile) definiert.

In der Planung wurde darauf geachtet, dass sowohl der Untergurt als auch der Obergurt gleich gross sind, jedoch nicht höher als die regelmässigen Unterzüge, vgl. Abb. 3. Diese Vorgabe gewährleistet, dass die Fachwerkkonstruktion harmonisch in die bestehende Struktur integriert werden kann. In der Breite wurden die Achsen jedoch dicker ausgeführt, um zusätzliche Stabilität und Festigkeit zu erreichen, was insbesondere bei den hohen Belastungen notwendig wurde.

Wird ein Fachwerk gleichmässig belastet, so treten nur Zug- und Druckkräfte auf. Wird das Tragsystem jedoch asymmetrisch belastet, insbesondere wenn die Knoten gelenkig ausgeführt sind, treten im Zuggurt auch Biegebeanspruchungen auf. Das bedeutet, dass der Zuggurt nicht nur für die auftretenden Zugkräfte, sondern auch für ein signifikantes Biegemoment aus der asymmetrischen Lastverteilung bemessen werden muss.

3.2 Sekundäres Fachwerk

Mit dem Primärfachwerk über der Turnhalle konnten vier zentrale tragende Punkte generiert werden, an denen Lasten abgegeben werden können, vgl. Abb. 4. Diese Struktur bildet die Grundlage für die weitere Lastübertragung und gewährleistet, dass die wesentlichen Kräfte effizient in das Tragwerk eingeleitet werden, vgl. Abb. 5. Für die Überspannung der Bereiche zwischen diesen Punkten, war es erforderlich, ein Sekundärfachwerk zu konzipieren.

Im Sekundärfachwerk ist entscheidend, dass nun die Unterzüge nicht mehr einzeln die Lasten über die Turnhalle abtragen, sondern durch das Sekundärfachwerk miteinander verbunden sind. Diese Ingenieurlösung trägt dazu bei, die differenziellen Verformungen von einer Achse zur nächsten weitestgehend auszugleichen, was die strukturelle Stabilität des gesamten Systems erhöht und potenzielle Differenzen reduziert.

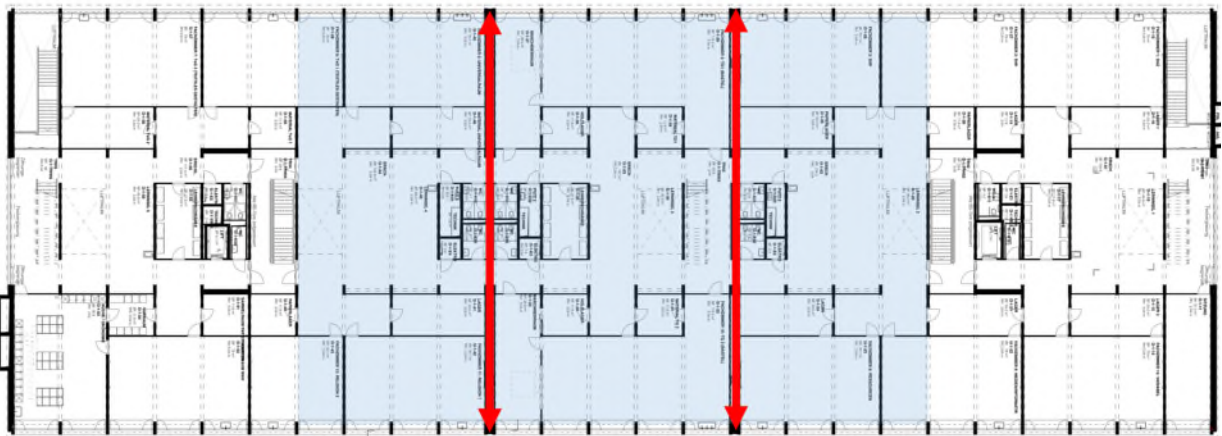


Abb. 2: Darstellung der Turnhalle (blaue Fläche) im Grundriss mit Gliederung der primären Achsen des Tragkonzeptes (rote Pfeile)



Abb. 3: Ansicht des primären Raumfachwerkes, dass technisch ein Hängesprengwerk mit innenliegend Fachwerk ist, während der Errichtung mit temporärer Abspriessung. Foto: Busslinger Fotografie

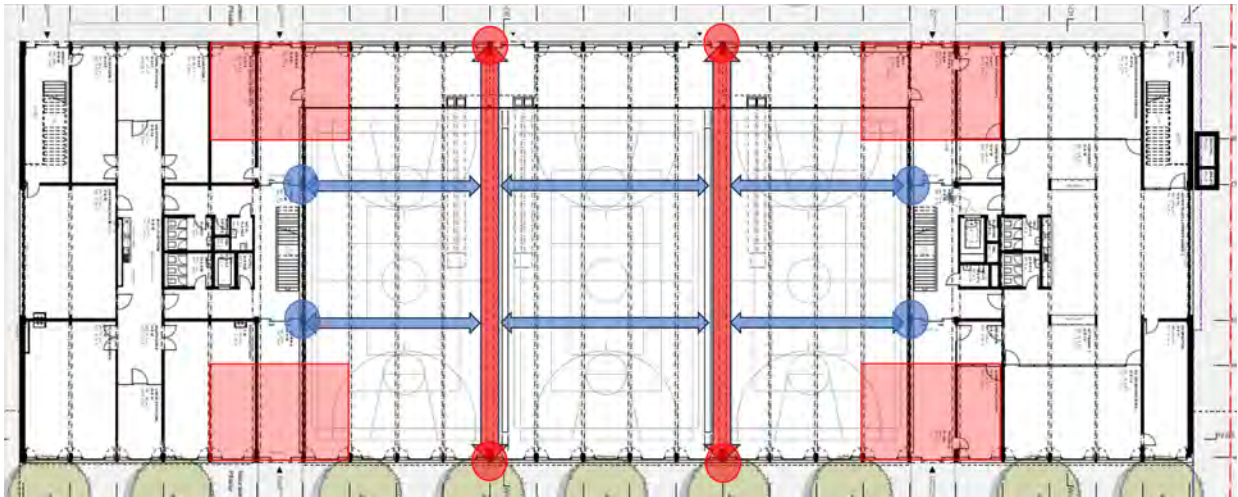


Abb. 4: Darstellung der Turnhalle im Grundriss mit Gliederung der primären Achsen (rot) und sekundären Achsen (blau) des Tragkonzeptes

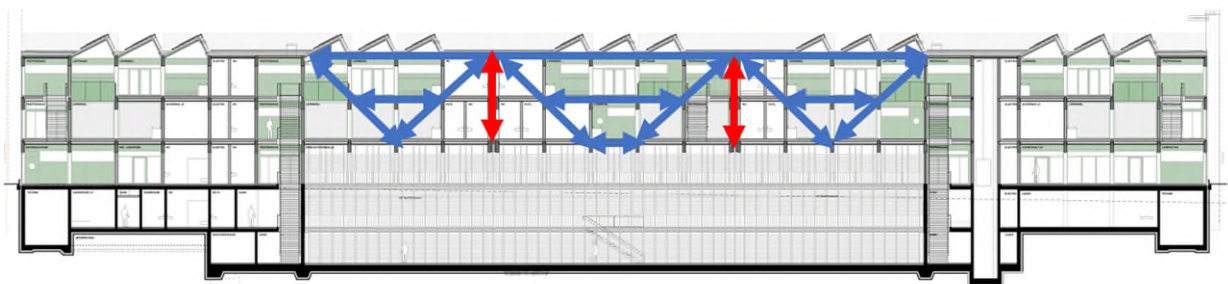


Abb. 5: Ansicht des sekundären Raumfachwerks über der Dreifachturnhalle der Schule Wiesenthal mit prinzipiellem Verlauf der Lastabtragung (in Blau - Sekundärfachwerk, in Rot - Primärfachwerk)



Abb. 6: Blick auf das Tragwerk mit den erforderlichen Zuggliedern aus Stahl, den Knotenpunkten und den aufgehängten Holzstützen an das Stahlelement, Foto: Busslinger Fotografie

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Ausbildung des Sekundärfachwerks ist, dass die Klassenzimmer durch die Ebene des Fachwerkes erschlossen werden. Das Fachwerksystem wurde so gestaltet, dass ausreichend breite Durchgänge innerhalb des statischen Systems möglich sind. Aus statischer Sicht wurde in der Planung des Sekundärfachwerks der Obergurt so konzipiert, dass er sowohl den Druckkräften als auch dem Moment, das aus der asymmetrischen Belastung resultiert, gerecht wird. Die Abstimmung zwischen Primär- und Sekundärfachwerk sorgt somit nicht nur für eine effektive Lastabtragung, sondern auch für ein funktionales und flexibles Raumkonzept, das den Anforderungen der Nutzung gerecht wird.

3.3 Einblick zur Gebäudeaussteifung im Kontext zur offenen Gebäudestruktur

Die Aussteifung des Gebäudes stellte aufgrund der sehr offenen Struktur und der geschossweise wechselnden Wandanordnungen eine besondere Herausforderung dar. Da die verschiedenen Nutzungen der Schule unterschiedliche Anforderungen an die Innenraumgestaltung stellten, waren vertikal durchgehende Wände nur spärlich vorhanden. Die Fassadengestaltung wurde insbesondere in Längsrichtung stark durch grosszügige Fensterflächen geprägt und auch die Innenwände wurden mit Glasoberlichtern ausgestattet, um möglichst viel Tageslicht in das Gebäude zu lassen.

In Längsrichtung des Gebäudes konnten nur vier kurze Wände für die Aussteifung aktiviert werden, vgl. hierzu Abb. 7. **Fehler! Es wurde kein Textmarkenname vergeben..** In Querrichtung hingegen standen immerhin sechs etwas längere Wände zur Verfügung. Für die Aussteifung in Querrichtung konnte eine reine Holzbauweise der Wände konzipiert und ausgeführt werden. Aufgrund der sehr hohen Lastanforderungen in Längsrichtung war es jedoch notwendig, auf eine Stahlkonstruktion in den aussteifenden Wänden zurückzugreifen, um die Gesamtstabilität des Gebäudes zu gewährleisten, vgl. Abb. 8.

Da die Dreifachturnhalle weder statisch übertragende Wände noch über andere aussteifende Elemente verfügte, stellte die Aussteifung im mittleren Gebäudeteil eine besondere Herausforderung dar. Für die Erreichung der erforderlichen Stabilität wurden die Geschossdecken als Scheiben ausgebildet. Diese wirken als horizontale Aussteifungselemente und leiten die auftretenden Kräfte in die tragenden Wände und Stützen ein. Die Kombination aus Lösungen aus Holz- und Stahlbau sowie die gezielte Nutzung der Decken als aussteifende Scheiben war entscheidend, um trotz der offenen und lichtdurchfluteten Architektur eine ausreichende Stabilität und Sicherheit des Gebäudes zu erreichen.

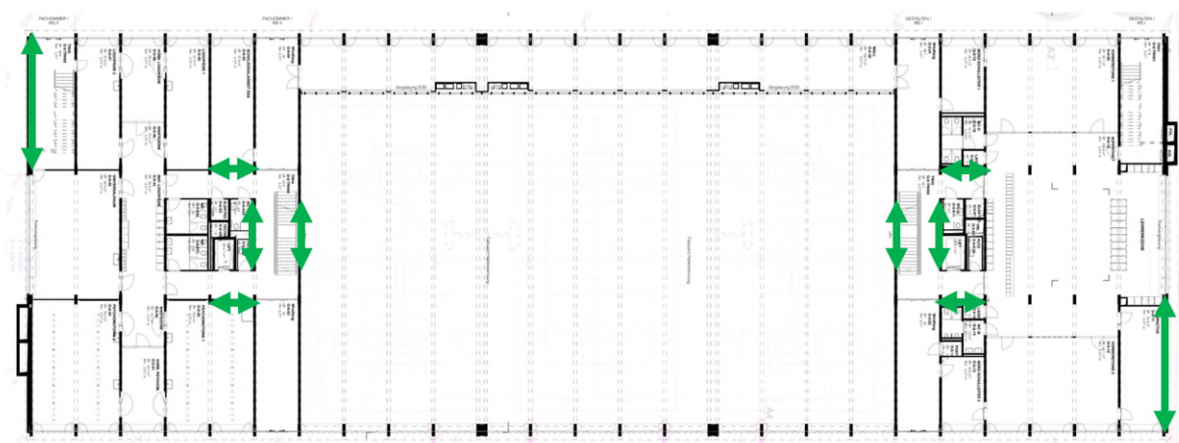


Abb. 7: Kennzeichnung der zur Gebäudeaussteifung genutzten Wände in Längs- und Querrichtung



Abb. 8: Aussteifungsfachwerk aus Stahl, Foto: Busslinger Fotografie

3.4 Bauablauf und Montage des Mega-Fachwerkes

Die Montage des Objektes wurde ausgehend von den Treppenhauskernen über drei Achsen in Richtung Gebäudeende begonnen. Durch diese Vorgehensweise konnte der Baufortschritt gleich mit den aussteifenden Wänden gesichert werden. Eine ausreichende Stabilität während der Bauphasen war somit gewährleistet. Gleichzeitig war durch diese Montagereihenfolge der Witterungsschutz nur partiell erforderlich, d. h. nicht über das gesamte Gebäude, sondern abschnittsweise entsprechend dem Baufortschritt. Dies stellte eine effiziente Erleichterung im Bauablauf dar. Im folgenden Schritt wurde der Kopfbau bis zu den Außenfassaden fertiggestellt.

Von den Treppenhauskernen aus begann dann die komplexe Aufgabe, die Dreifachturnhalle mit dem Mega-Fachwerk zu überspannen. Die für die Montage vorgesehenen Achsen wurden während der Montage mit einer vordefinierten Überhöhung abgespriesst. Diese Überhöhung war notwendig, um die später zu erwartenden Verformungen des Tragwerks zu minimieren.

Aufgrund der Größe und Komplexität der Fachwerke war es nicht möglich, diese als ganze Bauteile vorzufertigen und zu transportieren. Stattdessen mussten die Fachwerke direkt vor Ort am Gebäude montiert werden. Diese Methode erforderte eine genaue Planung und Ausführung, um die Konstruktionstoleranzen und die Tragfähigkeit während der Bauphase zu kontrollieren. Durch die gestaffelte Bauweise und die direkte Montage der Fachwerke konnte ein schneller Baufortschritt erzielt und gleichzeitig die hohen Anforderungen an das Tragwerk erfüllt werden.

4 DISKUSSION UND ZUSAMMENFASSUNG

Das Projekt „Schule Wiesenthal“ stellt ein faszinierendes Beispiel für innovative Architektur im Bereich Bildungsbauten und die ingenieurtechnischen Herausforderungen im Bereich der Spannweite dar. Das Gebäude vereint verschiedene Nutzungen unter einem Dach, darunter eine Dreifachturnhalle, Klassenzimmer und Verwaltungsbereiche. Ziel war es, ein funktionales und nachhaltiges Gebäude zu schaffen, das den modernen Anforderungen an Schul- und Sportinfrastruktur gerecht wird.

Die besondere Herausforderung lag in der großflächigen Überspannung der Dreifachturnhalle mit einer Spannweite von 35 Metern. Dies erforderte den Einsatz eines Primär- und Sekundärfachwerks, um die Lasten effizient abzuleiten und die Verformungen zu minimieren. Die geschickte Materialkombination von Holz und Stahl ermöglichte es, die strukturellen Anforderungen zu erfüllen und gleichzeitig ästhetische Akzente zu berücksichtigen. Die Materialwahl hebt die Leistungsfähigkeit beider Werkstoffe hervor und zeigt, wie sie synergistisch wirken können, um sowohl funktionale, technische als auch visuelle Anforderungen zu erfüllen.

Ein besonders wichtiger Aspekt dieses Projekts ist die pädagogische Dimension. Kinder lernen von klein auf, Vertrauen in die Ingenieurleistung zu entwickeln, was ihnen ein erstes Verständnis für nachhaltiges Bauen vermittelt. Sie werden sensibilisiert für die Herausforderungen und Möglichkeiten des klimagerechten Bauens. Diese Erfahrungen prägen nicht nur ihre Wahrnehmung, sondern auch ihre Einstellungen zur Umwelt. Insgesamt zeigt das Projekt „Schule Wiesenthal“, wie innovative Ansätze im Bauwesen nicht nur technische Herausforderungen meistern, sondern auch gesellschaftliche und Bildungsziele verfolgen können, die für die künftigen Generationen von grosser Bedeutung sind.