

BERATENDE

9/10 2016

# INGENIEURE

FACHMAGAZIN FÜR PLANEN UND BAUEN



BAUEN MIT STAHL

ZUR NEUEN MUSTERBAUORDNUNG

PRODUKTE UND PROJEKTE





▲ Kollegiengebäude Mathematik am KIT vor der Sanierung  
Abbildung: ProfessorPfeiferundPartner

Kollegiengebäude Mathematik am KIT

## Stahlkonstruktionen im Dienste der energetischen Sanierung

VON MATTHIAS PFEIFER

Ein stählerne, gewichtsminimierte Aufstockung und die Überdachung des Innenhofes mit einer folienbespannten filigranen Stahlkonstruktion trugen maßgeblich dazu bei, dass die energetische Sanierung des Kollegiengebäudes Mathematik des KIT neben Energieeinsparungen von 60 % mit einem Raumgewinn von ca. 70 % einherging.

### Einleitung

Die „Energie“ ist eines der drei Hauptforschungsthemen des Karlsruher Instituts für Technologie KIT. Dementsprechend ist auch der sensible Umgang mit bestehender Bausubstanz auf dem Campus durch energetische Ertüchtigung, Erweiterung und Weiter- oder auch Neunutzung ein wichtiges Thema.

Am KIT gibt es an allen Standorten, dem Campus Süd in der Innenstadt, dem Campus Nord – als ehemaliges Forschungs-

zentrum Karlsruhe im Zuge der ersten Exzellenzinitiative mit der ehemaligen Universität Karlsruhe vereinigt – und den Campi West und Ost, zahlreiche Gebäude aus den 60er und 70er Jahren, die unseren heutigen Anforderungen an den sparsamen und nachhaltigen Umgang mit Ressourcen in keiner Weise mehr gerecht werden. Mit dem oben genannten Hauptforschungsthema liegt es auf der Hand, dass das KIT im Umgang mit den eigenen Gebäudebeständen eine Vorreiter- und Vorbildrolle einnehmen muss.

Das hier vorgestellte Gebäude, bei dem durch umfangreiche Umbaumaßnahmen diese hochgesteckten Ziele durch erhebliche Energieeinsparungen in der zukünftigen Nutzung und gleichzeitigen Zuwachs im Raumangebot realisiert werden konnten, gilt als Paradebeispiel für den Umgang mit Landeseigentum, wie Nils Schmid, bei der Einweihung amtierender Finanz- und Wirtschaftsminister Baden-Württembergs, betonte.

Das Projekt wurde inzwischen mit dem Deutschen Hochschulbaupreis 2016 ausgezeichnet. Außerdem gehört es zu den zehn Baumaßnahmen, die mit einer Auszeichnung im Rahmen des Deutschen Stahlbaupreises 2016 gewürdigt wurden, weil hier einmal mehr die Leichtigkeit dieser Bauweise einen entscheidenden Beitrag zum Erhalt und zur Ertüchtigung bestehender Rohbaukonstruktion leisten konnte.

### Das Bauwerk

Beim Kollegiengebäude Mathematik handelt es sich um einen Stahlbeton-Fertigteilbau aus den 60er Jahren, der mit einem großen Innenhof und offenem Erdgeschoss konzipiert worden war und dadurch große Nachteile in energetischer Hinsicht aufwies.

Die Stahlbeton-Fertigteilträger, die mit extremen Wärmebrücken die minimale Dämmebene durchdrangen, mündeten au-

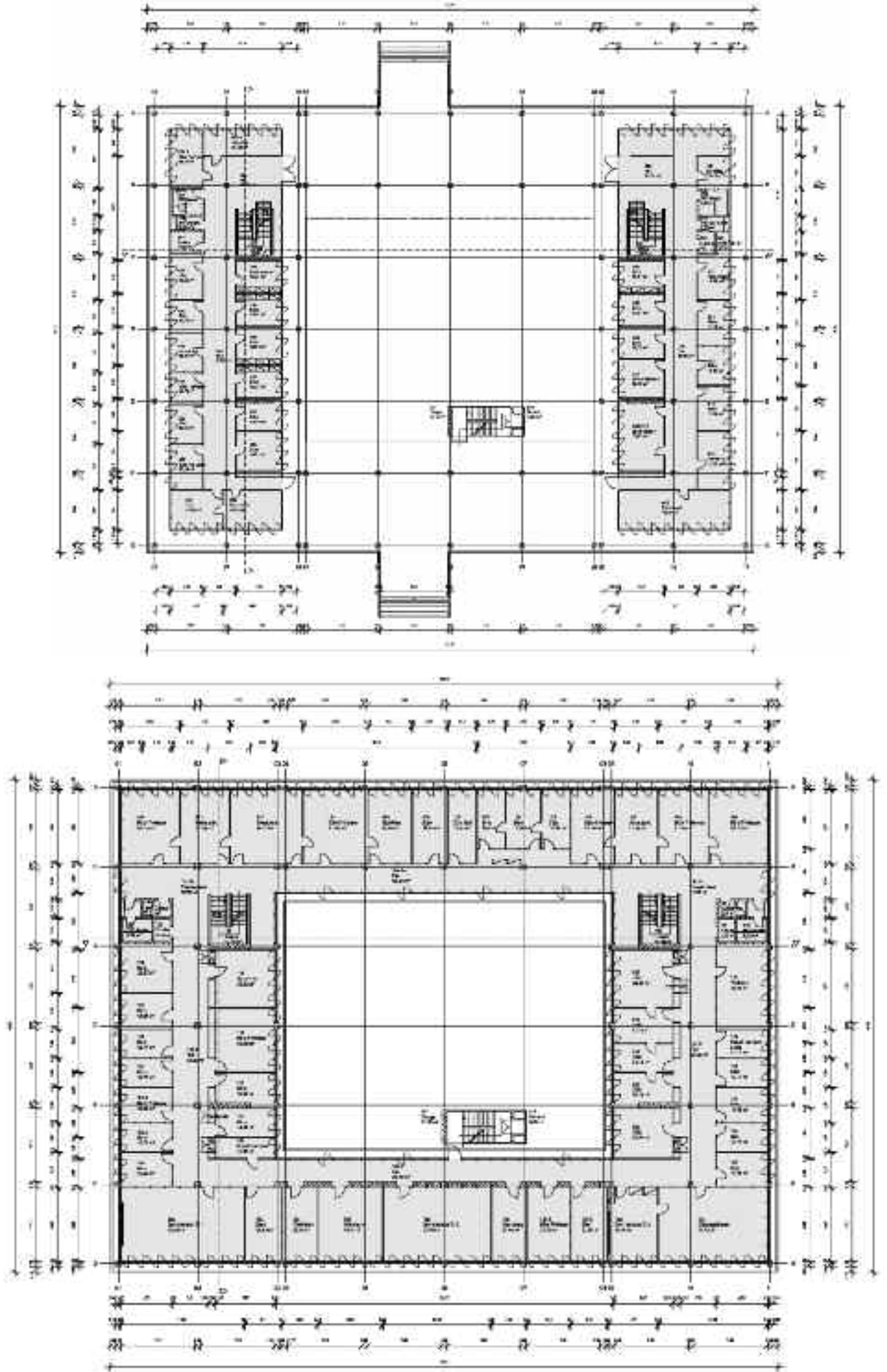
ßen in großflächigen Beton-Fassadenelementen, die geradezu als ungewollte „Kühlrippen“ fungierten. Der ursprüngliche Grundriss des freien Erdgeschosses zieht sich mit Ausnahme der beiden Gebäuderiegel links und rechts als offener Außenraum unter den aufgehenden Geschossen durch. Damit verursachten nicht nur die nach außen orientierten Flächen, sondern auch diejenigen zum Innenraum hin sowie die Unterseiten der Decke über EG extreme Energieverluste.

Die Tragkonstruktion des Gebäudes besteht aus einem regelmäßigen Raster mit quadratischen Stahlbetonstützen, die als Halfertigteile hergestellte Zweifeldträger (in den beiden seitlichen Teilen) bzw. einfeldrige Träger mit Kragarm zum Hof hin tragen. Diese wiederum werden durch Fertigteil-Kassetten-Platten belastet. Was die Aussteifung des Bauwerks angeht, gab es in den Bestandsunterlagen – typisch für die damalige Zeit – keinerlei Angaben geschweige denn Berechnungen, die Aufnahme von Windlasten war seinerzeit nur „konstruktiv“ berücksichtigt worden. Dies waren hinsichtlich heutiger Anforderungen und Vorgaben der einschlägigen Regelwerke, insbesondere zum Thema Erdbeben, keine guten Voraussetzungen. Dazu kam noch das Problem des konstruktiven Brandschutzes, der, ersten Checks der vorhandenen Betondeckungen zufolge, vorerst als nicht nachweisbar erschien und entsprechend notwendige Ertüchtigungen erwarten ließ.



▲ Betonkonstruktion mit auskragenden Deckenträgern während der Sanierung

Abbildung: ProfessorPfeiferundPartner



Offener Grundriss EG und 1. OG vor der Sanierung

Abbildungen: Vermögen und Bau Baden-Württemberg, Amt Karlsruhe

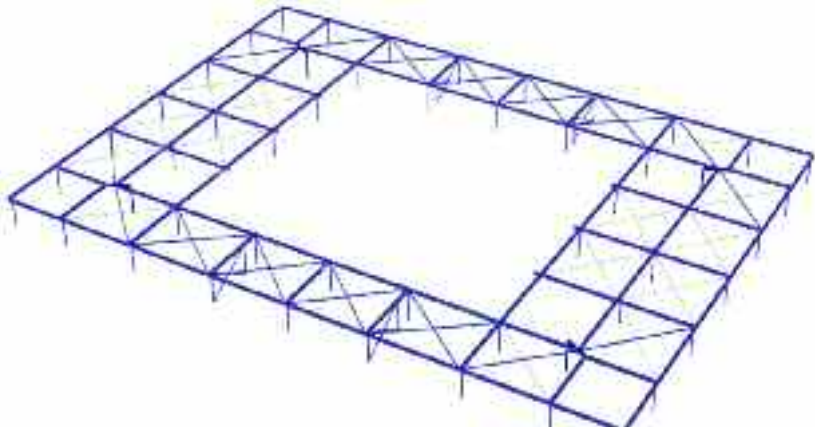
## Der Entwurf

Unter dem Thema „Energetische Ertüchtigung“ wurde für das Bauwerk ein Architektenwettbewerb ausgeschrieben, aus dem Ingenhoven Architects in Zusammenarbeit mit dem Büro Meyer Architekten, beide aus Düsseldorf, als Sieger hervorging. Bereits im Wettbewerb wurde durch das Büro des Verfassers ProfessorPfeiferundPartner die Tragkonstruktion des Umbaus entwickelt und dann, nach Gewinn des Wettbewerbs und folgendem VOF-Verfahren und der schließlichen Auftragserteilung auch die Genehmigungs- und Ausführungsplanung durchgeführt.

Aber nicht allein die entwurfliche Antwort auf die Frage der Energieeinsparung spielte eine wichtige Rolle bei der Wettbewerbsentscheidung, auch die deutliche Vergrößerung der Nutzfläche, die künftig wieder die Unterbringung aller Institute und Einrichtungen der Mathematik des KIT unter einem Dach ermöglichen und insbesondere auch eine gehörige Anzahl von studentischen Arbeitsflächen bringen sollte, war entscheidend für die Wahl dieses Planungsteams.

Erreicht wurde die letztlich realisierte Erweiterung des Platzangebotes um 70 % gegenüber dem Bestand zu einem wesentlichen Teil durch ein weiteres Geschoss über den inklusiven Keller von vornherein vorhandenen fünf Geschossen.

Freilich waren die Tragwerksteile aus Beton, ebenfalls für diese Zeit typisch, nicht etwa „üppig“ oder gar „auf der sicheren Seite“ mit großen Reserven dimensioniert, sondern für die seinerzeit vorgesehene Nutzung „gerade richtig“ – was im Sinne der Einsparung von Ressourcen und deren Energieein-



▲ Einfache leichte Stahlkonstruktion der Aufstockung  
Abbildung: ProfessorPfeiferundPartner

halt natürlich richtig und sinnvoll ist. Für die Tragkonstruktion der Aufstockung war somit eine möglichst leichte Bauweise erforderlich. Für eine zusätzliche Erweiterung des Platzangebotes, z. B. für größere Veranstaltungen und eine Cafeteria, wurden die Überdachung des Innenhofes und die verbundene komplette Schließung der Fassaden vorgeschlagen. Diese Maßnahme war der entscheidende Gedanke, um die gewollte Energieeinsparung zu erreichen, denn dadurch gelingt eine drastische Reduzierung der Gebäudehüllfläche und es entsteht ein großes Atrium als Wärmepuffer bei gleichzeitiger Neukonzeption der Fassaden als eine um ca. einen Meter nach außen gerückte wärmeschutzverglaste Konstruktion.



▲ Stahlkonstruktion der Aufstockung im Bau

Abbildung: ProfessorPfeiferundPartner



▲ Unterspannte Dachkonstruktion mit eingerollten, dreieckigen Sonnenschutz-Segeln

Abbildung: ProfessorPfeiferundPartner

Im Hinblick auf die Tragwerksplanung ergab sich entsprechend die Notwendigkeit, eine Dachkonstruktion für das Atrium zu finden, die möglichst wenig weitere Lasten in den Bestand bringt. Dies deshalb, weil diese Lasten gerade an der Spitze der auskragenden Deckenträger angreifen, die möglichst ohne aufwändige Ertüchtigung auskommen sollten.

### Die Ausführung

Die wesentlichen Ideen des Wettbewerbs konnten in der anschließenden Planung vollständig realisiert werden. Nach ersten Berechnungen zeigte sich, dass die Entfernung der im Bestand vorhandenen Stahlbetonbrüstungen nicht nur aus architektonischer, sondern auch aus statischer Sicht die richtige Lösung war. Gerade die bereits im Wettbewerb als kritisch erkannten Kragträger zum Atrium hin im nördlichen und südlichen Gebäuderiegel konnten dadurch sowohl für die Lasten aus den Stützen der Aufstockung als auch für die aus dem neuen Atriumdach ohne konstruktive Ertüchtigung aufgenommen werden.

Die Aufstockung wurde als Stahlskelettkonstruktion aus Stützen und durchlaufenden Stahlträgern mit leichtem Dachaufbau aus Trapezblech gewichtsminiert ausgeführt. Die Aussteifung gegen Wind und Erdbeben erfolgte durch die notwendigen Kreuzverbände in symmetrischer Position.

Was die Anordnung der Aussteifungselemente angeht, war noch eine Besonderheit des Bestandsgebäudes zu berücksichtigen. Das im Grundriss wie ein geschlossenes Rechteck erscheinende Gebäude ist bzw. war in Wirklichkeit aus zwei

L-förmigen Teilen mit zwei Dehnungsfugen zusammengesetzt – eine äußerst ungünstige Konstellation im Hinblick auf die aufgrund des Umbaus erforderlichen rechnerischen Nachweise der Erdbebensicherheit. Die aussteifenden Bauteile lagen so ungünstig, dass insbesondere die Torsionsbeanspruchung erhebliche Ertüchtigungen an den beiden unabhängigen Gebäudeteilen notwendig gemacht hätte.

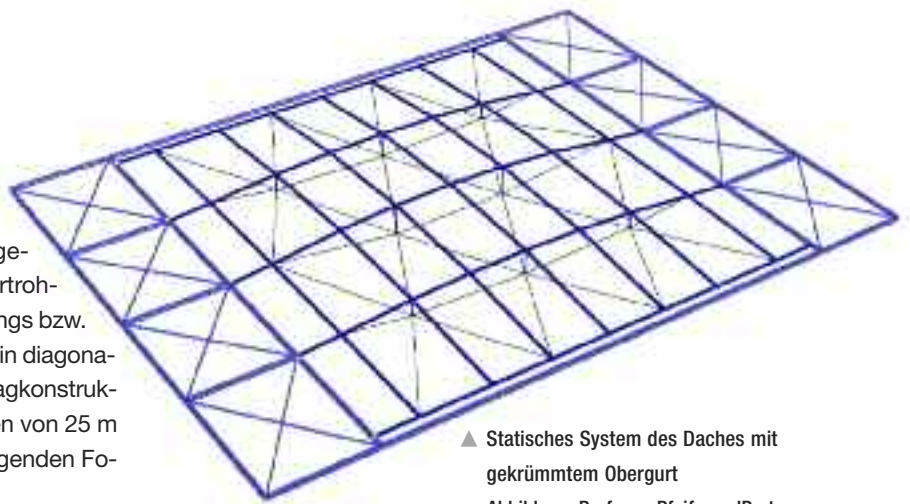
Hier half die Überlegung, dass die bauzeitlich vorgesehenen Fugen sowohl zur Vermeidung von Zwangsbeanspruchungen infolge von Längenänderungen aus dem Schwinden des Betons und aus dem Einfluss von Temperaturänderungen vorgesehen worden waren. Das Schwinden war nun, nach über 40 Jahren, mit Sicherheit abgeschlossen, Temperaturänderungen in nennenswertem Umfang würden durch die neue, wärmegeschützte Fassade verhindert werden können, so dass die Dehnungsfugen überflüssig geworden waren. Durch die kraftschlüssige Verbindung der Geschossdecken über die Fugen hinweg konnte mit vergleichsweise geringem Aufwand ein Gesamtgebäude mit symmetrischer Anordnung der Aussteifungselemente und damit sehr günstig gegen die Wirkung von Erdbebenkräften geschaffen werden. Weitere Ertüchtigungsmaßnahmen konnten dadurch komplett vermieden werden.

Gerade auch im Hinblick auf die Erdbebenbeanspruchung, die durch die Horizontalbeschleunigung des Gebäudes in Verbindung mit den schwingenden Massen hervorgerufen wird, war die besonders leichte Ausführung des zusätzlichen Geschosses oberstes Gebot.

Das Dach des Atriums wurde mit einer ebenfalls sehr leichten Konstruktion realisiert, die aus einem räumlichen unterspannten, leicht gewölbartig gekrümmten Trägerrost mit 219 mm dicken Obergurtröhren (8,8 mm Wandstärke) im Abstand von 7,5 m längs bzw. 3,75 m quer sowie hochfesten Seilen im Untergurt in diagonaler Anordnung besteht. Das Gesamtgewicht der Tragkonstruktion beträgt lediglich ca. 30 kg/m<sup>2</sup> bei Spannweiten von 25 m x 31 m. Das Gewicht der weniger als 1 kg/m<sup>2</sup> wiegenden Folienkissen-Konstruktion ist darin schon enthalten.

Allein die Schneelast von rund 60 kg/m<sup>2</sup> erzeugt hier den Löwenanteil der Lasten für die Unterkonstruktion und für die Weiterleitung in die genannten Betonträger. Für die stählerne Dachkonstruktion waren neben den Schneelasten, die von den Folienkissen im Normalfall durch Erhöhung des Innendruckes auf die Rohre abgetragen werden, auch Störfälle wie Wassersackbildung durch Ausfall der oberen Folie mit den dadurch entstehenden einseitig horizontalen Lasten auf die Rohre zu berücksichtigen.

Aufgrund der Leichtigkeit des Daches stellte sich das Problem der abhebenden Windlasten, die in den unten liegenden Seilen Druckkräfte hervorrufen würden. Zu deren Aufnahme hätten somit ebenfalls druckfeste Rohre verwendet werden müssen, eine Lösung, die nicht nur den Architekten sondern



▲ Statisches System des Daches mit gekrümmtem Obergurt

Abbildung: ProfessorPfeiferundPartner

#### PROJEKT BETEILIGTE

**Bauherr** Vermögen und Bau Baden-Württemberg, Amt Karlsruhe

**Architekten** ingenhoven architects mit Meyer Architekten, Düsseldorf

**Tragwerksplanung** ProfessorPfeiferundPartner Ingenieurbüro für Tragwerksplanung, NL Karlsruhe

**Prüfingenieur** Ingenieurgruppe Bauen Karlsruhe

**Bauausführung** Massivbau: Südwestdeutsche Industrie- und Anlagen-Baugesellschaft mbH, Pforzheim

**Stahlbau:** Stahlbau Ziemann GmbH, Wittlich

**Folienkissendach** Vector Foiltec, Bremen



▲ Lichtdurchflutetes Atrium kurz vor der Fertigstellung

Abbildung: ProfessorPfeiferundPartner



▲ Gesamtes Gebäude nach der Fertigstellung

Abbildung: ProfessorPfeiferundPartner

insbesondere auch uns Ingenieuren nicht zugesagt hätte. Hier konnte nun die leichte Krümmung der Obergurtrohre insofern genutzt werden, als sie unter abhebenden Windlasten als leicht nach oben „durchhängende“ Zugbänder interpretiert werden konnten, die freilich eine entsprechende horizontale Lagerung erforderten. Zur Aufnahme dieser Horizontalkräfte konnten die sich in der Stahlkonstruktion des angrenzenden umlaufenden Daches der Aufstockung gegenüber liegenden Aussteifungsverbände mit genutzt werden, deren horizontale Auflagerkräfte über Druckstäbe an den Dachrändern, in Form der ohnehin erforderlichen Dachträger ebenfalls bereits vorhanden, kurzgeschlossen werden konnten.

Schließlich musste noch das Problem des konstruktiven Brandschutzes gelöst werden, das jeder Stahlbetonkonstruktion aus dieser Zeit infolge zu geringer Betondeckungen zu eigen ist.

Zur Lösung wurde eine „Heißbemessung“ durchgeführt, bei der das Tragverhalten der Konstruktionselemente unter Berücksichtigung der tatsächlich im Brandfall anzusetzenden Lasten und der temperaturabhängigen Materialeigenschaften untersucht wurde.

Hier konnte nahezu für die gesamte Gebäudekonstruktion gezeigt werden, dass die erforderlichen Schutzziele im Brandfall auch mit den vorgefundenen geringeren Betondeckungen, als in den Tabellen der gültigen Regelwerke gefordert, erreicht werden.

### Fazit

Durch eine stählerne, gewichtsminimierte Aufstockung um ein weiteres Geschoss, die Neukonzeption der Fassadenflächen mit Schließung des Erdgeschosses sowie die Überdachung des Innenhofes mit einem sehr leichten Foliendach auf einer filigranen Stahlkonstruktion konnten beim Kollegiengebäude Mathematik des Karlsruher Instituts für Technologie Energieeinsparungen um 60 % und gleichzeitig ein Zuwachs im Raumangebot um ca. 70 % realisiert werden.

Nicht nur die Leichtigkeit der gewählten Konstruktionen aus Stahl, sondern innovative Ansätze in der Behandlung der Gebäudebestandskonstruktion aus Beton und nicht zuletzt der ausdrückliche Wille des Bauherrn und der beteiligten Planer haben die Realisierung dieses ambitionierten Projektes möglich gemacht, das ein Paradebeispiel des verantwortungsbewussten und schonenden Umgangs mit dem Bestand darstellt.

### Autor:

**Prof. Dipl.-Ing. Matthias Pfeifer**

ProfessorPfeiferundPartner,

Ingenieurbüro für Tragwerksplanung

Dekan der Fakultät Architektur,

geschäftsführender Direktor des Instituts Entwerfen und

Bautechnik,

Leiter des Fachgebietes Tragkonstruktionen

und des Masterstudienganges Altbauinstandsetzung

am Karlsruher Institut für Technologie KIT