

# Masterarbeiten über historische Dachwerke

## Mehr als Auseinandersetzungen mit deren Tragwirkung und Instandsetzung?

Philipp Baumbusch/Matthias Frese/Mareike Janoudi/Sabine Kuban/Luca Schorer

Studierende des Bauingenieurwesens erkennen die Notwendigkeit, dass das gebaute Erbe zukünftig ihre fachkundige und qualifizierte Fürsorge braucht. Sie zeigen Initiative und setzen sich aktiv für das Zustandekommen entsprechender Themen für ihre Abschlussarbeiten ein. Am Landesamt für Denkmalpflege und am Karlsruher Institut für Technologie wurden drei solcher Arbeiten betreut. Der folgende Lagebericht informiert aus erster Hand über die Hintergründe. Er beleuchtet nicht nur Herausforderungen, Ergebnisse und Erfahrungen, die die einzelnen Themen mit sich brachten, sondern auch den Wandel hin zu mehr Nachhaltigkeit, den die Prinzipien der Denkmalpflege befördern können.

### Didaktisches Potenzial der Denkmalpflege

Aufgrund urbaner Nachverdichtung ist das Bauen im Bestand heute deutlich präsenter als noch vor zehn Jahren. Der Umgang mit und die Wertschätzung von Bestandsgebäuden über einen möglichen Denkmalwert hinaus profitiert maßgeblich von den in der Denkmalpflege entwickelten Methoden und Herangehensweisen. Dies gilt auch für die ingenieurtechnische Auseinandersetzung mit dem gebauten Erbe. In der Denkmalpflege tätige Bauingenieure beherrschen nicht nur die Sockelkriterien für die Planung von Neubauten und das erste Zusatzkriterium für die allgemeine Instandsetzung und Erneuerung von Altbauten.

Sie können den Denkmalwert des überkommenen Bauwerks und dessen historische Bedeutung einordnen und stimmen ihre geplanten Maßnahmen und Eingriffe im besten Fall darauf ab (Abb. 3). Das möge auch dafür sensibilisieren, den gegenwärtigen Gesamtbestand unabhängig von der jeweiligen historischen Bedeutung wertzuschätzen. Die Auseinandersetzung mit dem gebauten Erbe kann daher eine übergeordnete Bedeutung bekommen und etwas zur Erfüllung der Aufgabe beitragen, die objektiv aus der unausweichlich gebotenen Schonung unserer Ressourcen herrührt. Das Potenzial der Denkmalpflege, das seinen Ursprung im Bewahren von Materiellem und Immateriellem hat, erfährt dadurch eine



Erweiterung. Sie betrifft den allgemeinen Schutz und das Erhalten verbauter Materialien in ihrer ursprünglichen Form. Diese bewahrenden Aspekte kündigen einen Wandel im Bauwesen an, begründen einen Beitrag zum Paradigmenwechsel und verschaffen der Denkmalpflege eine neue Anziehungskraft. Die theoretische und praktische Auseinandersetzung mit der Denkmalpflege qualifiziert nicht nur dazu, technische Maßnahmen zu entwickeln, um historische Befunde zu konsolidieren, sie ist auch einer von vielen Schlüsseln, wieder Sparsamkeit im Umgang mit dem Gesamtbestand zu erlernen und aus ingenieurtechnischer Sicht Voraussetzungen für Nutzungsperspektiven zu entwickeln.

Es ist zu spüren, dass Studierende ihrer Schaffenskraft in Zukunft eine Richtung geben möchten, die im Einklang mit dem Paradigmenwechsel steht. Vor diesem Hintergrund werden hier drei Masterarbeiten vorgestellt, die in den vergangenen vier Jahren gemeinsam vom Landesamt für Denkmalpflege, dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Holzbau und Baukonstruktion und in einem Fall von der IngenieurGruppe Bauen, Karlsruhe betreut wurden. Bemerkenswert an den Abschlussarbeiten ist, dass Themen und inhaltli-

che Ausrichtung auf die Initiative der Studierenden selbst zurückgingen. Der Fundus an dafür geeigneten historischen Holzkonstruktionen, auf den das Landesamt für Denkmalpflege und Ingenieurbüros zurückgreifen können, und das Umfeld der akademischen Lehre boten hierfür aktuelle ingenieurtechnische Fragestellungen und geeignete Voraussetzungen für eine Erkundung und Untersuchung.

Nachfolgend berichten drei ehemalige Studierende über die komplexe Wechselwirkung zwischen Dachwerk und Bohlenbindern der Kirche St. Blasius in Ehingen, über das verformungsgerechte Aufmaß im Nordflügel der Pfarrkirche St. Peter in Bruchsal und über die mit Verlust an historischer Substanz verbundene Nutzungsänderung im Dachstuhl des Längsbau im Gengenbacher Bauamt. Am Ende des jeweiligen Berichts wird den individuellen Erfahrungen und Positionen, die die Auseinandersetzungen mit sich brachten, in einem eigenen Absatz Raum gegeben.

### Untersuchung des barocken Dachwerkes von St. Blasius, Ehingen (Donau)

Am 13. Dezember 2018 stürzte in der katholischen Pfarrkirche St. Blasius ein etwa 1 qm großes

1 Ansicht St. Blasius, Ehingen (Donau).





dem durch zwei doppelte Hängesäulen und zwei Steigstreben unterstützt (Abb. 2). Darunter befindet sich eine sehr flach gewölbte Spantenkonstruktion, an der eine Muldendecke befestigt ist. An den tragenden Bohlenbindern sind unterseitig die Spalierlattung und die Bockshaut angebracht. Die Bohlenbinder verlaufen im Scheitelbereich dicht neben den Zerrbalken oder werden durch diese ersetzt. Im Randbereich verbinden zahlreiche Hängehölzer die Bohlen mit den Zerrbalken. Damit ergibt sich insbesondere bei Biegung der Zerrbalken eine direkte bzw. indirekte Lastübertragung auf das Gewölbe. Die dadurch bedingten Formveränderungen des Gewölbebogens führen zu innerem Querzug im Deckenaufbau und begünstigen das Ablösen der unterseitigen Stuckschicht.

Das Abflachen der Muldendecke führt im Randbereich zum Ausweichen der Bohlenbinder, wie eine Untersuchung der Hängehölzer bestätigte: Die Verformungen der historischen Nägel und die Verbindung der Hängehölzer mit den Zerrbalken deuten darauf hin, dass die „Hängehölzer“ im Randbereich keine Zug-, sondern teilweise Druckkräfte übertragen.

Je nach Schadensbild, Passgenauigkeit der Verbindungen, Lasteinwirkung und Verformung sind im Dachwerk verschiedene Lastpfade denkbar. Vor Beginn der Arbeiten war sicherzustellen, dass instandsetzungsbedingte Spannungumlagerungen im Gefüge nicht zu unbeabsichtigter Schädigung der Deckenfresken führen. Die Weichsprießung der gesamten Langhausdecke vor Beginn und während der Instandsetzungsarbeiten war zur Sicherung des Stucks und der Fresken unverzichtbar (Abb. 4).

Da die Stuckdeckenkonstruktion mit ihren Fresken empfindlich auf Verformungen reagiert, wurde in der abschließenden Diskussion die Herstellung einer horizontalen Verbindung der Sparren mit den Zerrbalken empfohlen. Dadurch wird die Steifigkeit des Dachwerks erhöht und eine weitere Belastung der Stuckdecke infolge einer Biegung der Zerrbalken reduziert. Beobachtungen am Dachwerk zeigten, dass die Sparren seit der letzten Dachinstandsetzung vor über 50 Jahren in einem gewissen Gleichgewichtszustand sind. Das



spricht für eine fortlaufende Beobachtung und zunächst gegen eine sofortige Rücksicherung der Sparren. Da jedoch jedes weitere Abgleiten der Sparrenfußpunkte infolge fehlender Vorholzlänge zu Schäden an der Decke und zum Teilverlust der wertvollen Fresken oder gar zu einem Personenschaden durch herabfallende Putzteile führen kann, war die vorbeugende Rücksicherung der Sparrenfußpunkte notwendig. Zur Abwägung der unterschiedlichen Schutzziele wurde der kollegiale Austausch mit anderen Projektbeteiligten als sehr hilfreich empfunden.

### Verformungsgerechtes Aufmaß der Pfarrkirche St. Peter, Bruchsal

Bei Arbeiten an der Raumschale der katholischen Pfarrkirche St. Peter in Bruchsal, einem nach § 28 Denkmalschutzgesetz Baden-Württemberg geschützten Kulturdenkmal, wurden Risse im Deckenstuck aufgefunden, die eine genauere Untersuchung der Ursachen erforderten. Die Pfarrkirche kann in die Epoche des Barocks und in das Gesamtwerk Neumanns eingeordnet werden.

Am Anfang stand eine Auseinandersetzung mit der Persönlichkeit Balthasar Neumann (1687–1753), dem Architekten von St. Peter (Abb. 5). Es folgten Recherchen zur Bauentwicklung der Pfarrkirche und zur damaligen Holzbaukunst. Da Schäden durch Feuchteintrag und Pilzbefall eine umfangreiche Sanierung am Dachwerk anzeigten, waren zur Entwicklung eines Instandsetzungskonzeptes ein verformungsgerechtes Aufmaß und eine Kartierung der Schäden am Dachwerk zu erstellen. Nach Sichtung der weni-

**4** Sicherungsmaßnahme der gefährdeten Stuckdecke unterhalb der Bohlenbinder.

**5** Die barocke Pfarrkirche St. Peter in Bruchsal.



gen vorhandenen Planunterlagen wurde ein Bundgespärre mit einem Tachymeter vermessen und aus der dabei erzeugten Punktwolke ein dreidimensionales Modell entwickelt. Daraus konnten, ergänzt durch ein Handaufmaß, maßstabsgerechte zwei- und dreidimensionale Ansichten sowie ein Längs- und ein Querschnitt des Kreuzungspunkts erstellt werden.

### Ein Riss im Stuck und seine Schadensursachen

Während der Untersuchung des Bundgespärres zeigte sich eine erhebliche Schädigung im östlichen Traufbereich, insbesondere an den beiden den Dachschub durchbindenden Streben im Querbund (Abb. 6). Das beeinträchtigte nicht nur die Tragfähigkeit, aufgrund der nicht kurzgeschlossenen Dachschubkräfte kam es auch zu

Verschiebungen und zu einem Aufklaffen der zimmermannsmäßigen Holzverbindungen. Eine computerstatische Nachberechnung belegte dies ebenfalls.

Um die Schäden und Mängel der historischen Konstruktion denkmalverträglich und behutsam instand zu setzen, wurden die Eingriffe dem Grad der Schädigung angepasst. So konnten Bereiche mit kleinen Mängeln im Gefüge verbleiben. Ergänzungen wurden nur da vorgenommen, wo sie aus statisch-konstruktiver Sicht erforderlich waren. Beispielsweise sollten klaffende Anschlüsse reversibel ausgekeilt oder die Tragfähigkeit der schadhaften Streben im Querbund durch den Einbau von Teilprothesen ertüchtigt werden. Prämisse war, historische Zimmermannsverbindungen einzusetzen bzw. sie zu erhalten oder deren Funktionsfähigkeit wiederherzustellen.

Diese erste Auseinandersetzung mit historisch bedeutsamen Konstruktionen hinterließ einen bleibenden Eindruck. Die Annäherung an den Kirchenbau zeigte auch auf, welche Möglichkeiten bestehen, die dem Auge in der Regel verborgene wertvolle Bausubstanz zu erhalten. Der gedankliche Wechsel vom „Abreißen und Neubauen“ zum „Erhalten“ der vorhandenen Bausubstanz war prägend und führte zu einer Orientierung als Tragwerksplaner auf dem Gebiet der Instandsetzung von denkmalgeschützten Gebäuden.

### Der Dachstuhl des Gengenbacher Bauamts

Das heutige Rathausensemble der Stadt Gengenbach besteht aus dem Rathaus, einem Kulturdenkmal von besonderer Bedeutung, sowie dem Längsbau und rückwärtigen Kopfbau, zwei Kulturdenkmale nach § 2 Denkmalschutzgesetz Baden-Württemberg. Dieses Ensemble wird im Zuge umfassender Baumaßnahmen instandgesetzt, umgebaut und durch einen Neubau als Bindeglied zwischen Rathaus und Längsbau ergänzt (Abb. 9). Während das Rathaus noch weitgehend in seinem bauzeitlichen Charakter erhalten ist, zeigt sich der Längs- bzw. Kopfbau heute in einer zum Ende des 19. Jahrhunderts neu gestalteten Form.

Für das beauftragte Büro für Tragwerksplanung, der IngenieurGruppe Bauen, ergab sich die Gelegenheit, die Tragstruktur des Dachwerks im Längs-



bau zum Gegenstand einer Masterarbeit zu machen, die in die Vorbereitung der geplanten Umbaumaßnahmen eingebettet war. Für einen ausgewählten Bereich wurden Varianten von geeigneten Reparaturmaßnahmen erarbeitet, miteinander verglichen und bewertet.

Bei dem Dachwerk des Längsbaus handelt es sich um ein Kehlbalkendach mit zweistöckigem, liegendem Stuhl und einer mittigen Hängesäule. In Längsrichtung bindet ein Überzug in die Hängesäulen ein, der den Zerrbalken als mittelbares Auflager dient (Abb. 7). Das Dachwerk überspannt eine lichte Raumweite von etwa 12,5 m und ermöglicht so einen stützenfreien Raum im darunterliegenden Geschoss. Ursprünglich als klösterlicher Fruchtspeicher genutzt, soll der Dachraum in Zukunft den Ratssaal der Stadt Gengenbach beherbergen.

### Über die passende Modellierung historischer Holztragwerke

Es wurde zunächst ein Modellierungsansatz gesucht, der bei vertretbarem Aufwand für Modellierung und Berechnung realitätsnahe und robuste Ergebnisse liefert. Voruntersuchungen an ebenen Stabwerksmodellen legten nahe, dass die Nutzlasten aus dem Dachgeschoss nur unter Mitwirkung des Überzugs und des Dachstuhls abgetragen werden konnten und demnach bei Belastung der Zerrbalken ein ausgeprägt räumliches Tragverhalten vorliegen muss. Der Ansatz starrer, idealgelenkiger Anschlüsse und Auflager führte sowohl in ebenen als auch in räumlichen Modellen zu unbrauchbaren Berechnungsergebnissen (Abb. 8, Abschnitte 1–3).

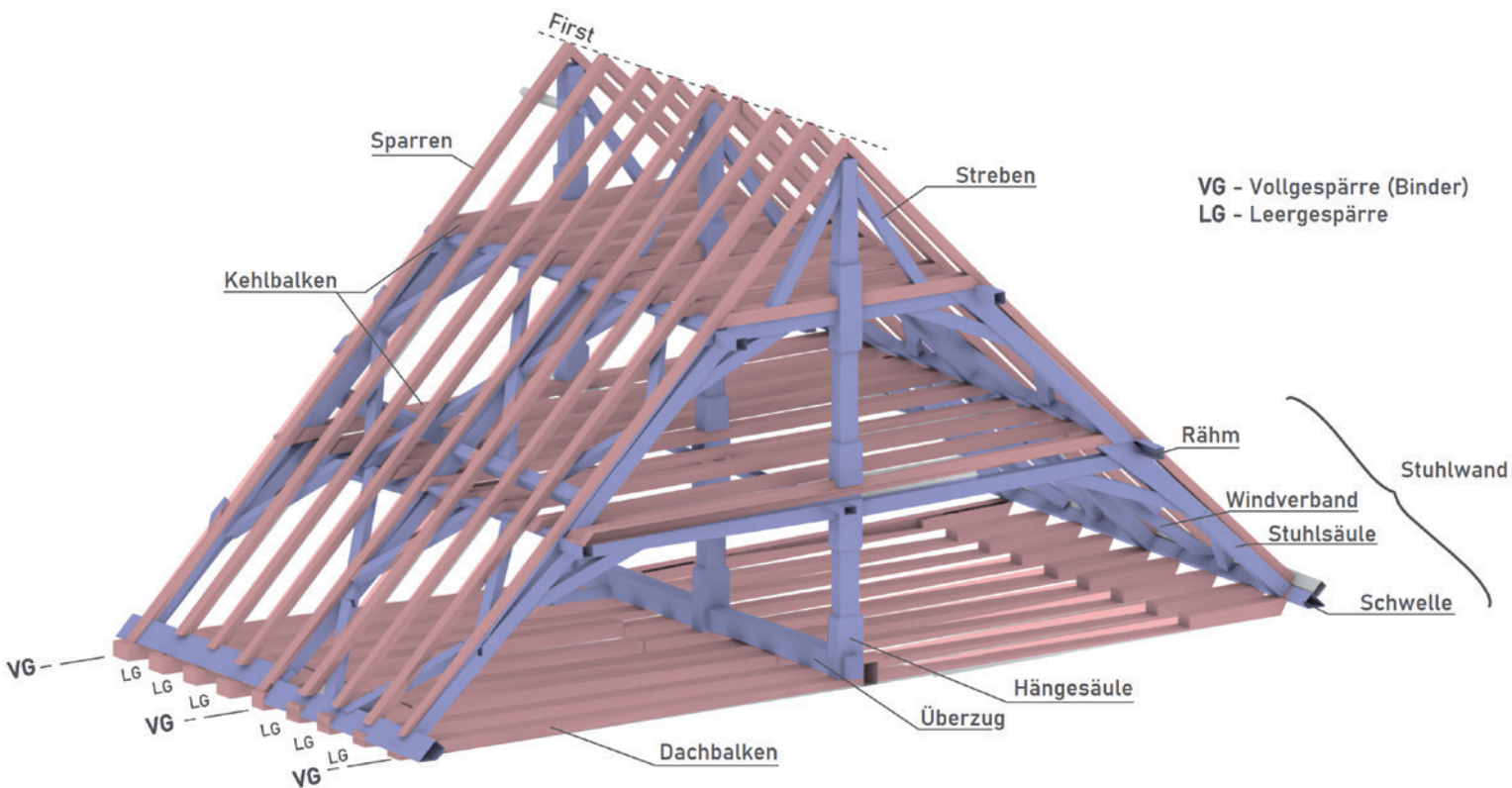
Im weiteren Verlauf wurden daher zimmermannsmäßige Verbindungen im Dachwerk mithilfe bilinearer Federsteifigkeiten für Druck- und Zugbeanspruchungen modelliert. Die Verschiebungsmoduln hierfür wurden rechnerisch abgeschätzt oder der Literatur entnommen. Die ebene Modellierung von Leergespärren und Bundachsen, die mittels fiktiver nachgiebiger Auflager gekoppelt werden, reagierte sensitiv auf Änderungen der angenommenen Federsteifigkeiten in den Kopplungspunkten. Dies führte zu starken Streuungen der Bemessungsergebnisse (Abb. 8, Abschnitte 5, 6). Räumliche, nachgiebige Teilmodelle über mindestens zwei Felder lieferten hingegen robuste, plau-



sible Ergebnisse und erlaubten eine nachvollziehbare Darstellung des räumlichen Lastabtrags (Abb. 8, Abschnitt 4). Das redundante Tragverhalten des räumlichen Modells erlaubte unter Volllast mit einer charakteristischen Nutzlast von 4,5 kN/qm den Nachweis fast aller Bauteile nach heutiger Normung. Zusammen mit der umfassenden Bestandsaufnahme war hiermit die Grundlage für eine gezielte, minimalinvasive Reparatur des Dachwerks geschaffen.

Die derzeitige Genehmigungsplanung sieht den weitgehenden Rückbau des historischen Überzugs vor, weil er für die geplante Nutzung als Ratssaal eine Einschränkung darstellt. Die barocke Hängekonstruktion, die für den Lastabtrag der Nutzlasten eine zentrale Rolle spielt und die die neue Nutzung nachweislich hätte aufnehmen können, wird mit dem Verlust des Überzugs jedoch unwirksam. Statt des Überzugs ist eine neue Ersatzkonstruktion in Stahlbauweise vorgesehen, die die Zerrbalkenlage von unten stützt. Neben dem unwiederbringlichen Verlust denkmalgeschützter Substanz führt der angedachte Eingriff zu einem erheblichen technischen und finanziellen Mehraufwand sowie zu einer Einschränkung zukünftiger Nutzungsmöglichkeiten

**6** Bohrwiderstandsmessung an einer Strebe im Querbund.



**7** Teilsysteme des Dachwerks: Leergespärre Kehlbalkendach (braun) und Dachstuhl mit Hängewerk (blau).

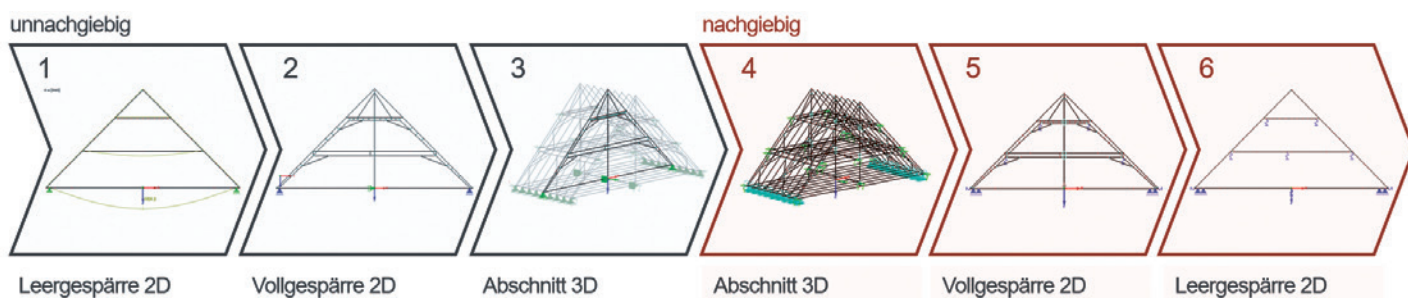
des darunterliegenden Obergeschosses. Dies steht im Widerspruch zum aktuellen Leitgedanken des ressourcenschonenden Bauens. Die vorliegende Planung zeigt daher eindrücklich das Spannungsfeld zwischen dem Erhalt bauhistorischer Substanz und der Erfüllung heutiger Nutzungsansprüche, in dem sich Bauen im Bestand bewegt. Je früher Tragweise, Tragfähigkeit und Grenzen der historischen Konstruktion bekannt sind, desto eher kann es gelingen, die Anliegen der Nutzung und ein angemessenes Bewahren des Bestands in Einklang zu bringen.

### Denkmalpflege gibt Impulse für eine Bauwende

**8** Schritte einer realitätsnahen Modellierung: vom starren idealgelenkigen Stabwerk (grau) zu nachgiebigen Anschlüssen (rot).

Die Zusammenarbeit der Denkmalpflege mit Universitäten, Hochschulen und Ingenieurbüros hat eine lange Tradition. Die drei vorgestellten Arbeiten geben stellvertretend für viele andere Auseinandersetzungen einen kleinen Überblick über zu bearbeitende Fragestellungen und mögliche He-

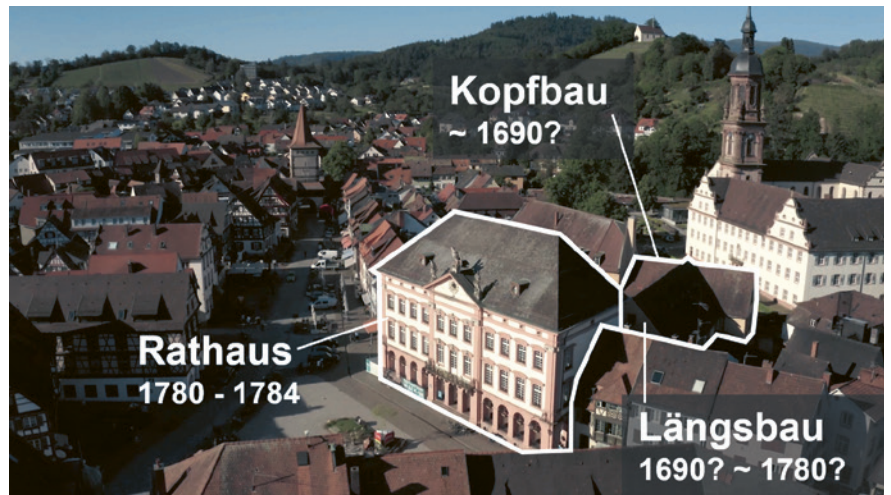
rangensweisen. Trotz der Parallelen hinsichtlich der barocken Holztragwerke und der ingenieurtechnischen Fragestellungen ist jede Arbeit individuell und besonders. So zeigen die Ergebnisse, wie man sich einem historischen Tragwerk nähern kann und welche Möglichkeiten es gibt, einen schlüssigen statischen Nachweis zu erarbeiten. Wie an anderer Stelle auch, gibt es nicht die eine Lösung. Vielmehr ist ein Herantasten an den Bestand notwendig, um seine Charakteristika zu verstehen und das Tragvermögen richtig abzuschätzen. Aus der Konstruktionsweise heraus ergeben sich alternative Lastpfade, die rechnerisch nur schwer abzubilden sind und deren realitätsnahe Modellierung genaues Arbeiten und genaue Kenntnis erfordert. Nicht zuletzt wird in den Arbeiten eine bewahrende Haltung deutlich, die das künftige Ingenieurhandeln prägen sollte. Vorindustrielle Bauweisen kennzeichnen in der Regel die Verwendung lokaler Baustoffe, kurze Transportwege und einen begrenzten techni-





schen Aufwand. Damit war es möglich, Bauwerke zu errichten, die bei richtiger Pflege und oft ohne nennenswerte Wartungsmaßnahmen mehrere Jahrhunderte überdauern. Heutige Nutzungshorizonte liegen bei rund 80 Jahren. Diese Konvention zugunsten einer längeren Nutzungsdauer aufzugeben, erfordert das Wissen über und die Wertschätzung von historischen Konstruktionen im Bestand.

Die Aufgabe der Denkmalpflege ist es, die geschädigte Substanz eines Kulturdenkmals zu reparieren. Erhalt geht vor Erneuerung. Die grundlegenden Forderungen nach einem material-, form-, und werkgerechten Umgang sind der Denkmalpflege dabei seit Langem eingeschrieben. Dadurch gelingt es, in der praktischen Umsetzung immer wieder sinnvolle und vor allem auch dauerhafte Lösungen zu finden. Gerade der vorindustrielle Holzbau zeichnet sich durch lösbar Verbindungen aus, deren Reparatur nach historischem Vorbild noch heute mit vergleichsweise kleinen Substanzverlusten möglich ist.



Die Forderungen nach einem ressourcenschonenden, kreislaufgerechten Bauen sind heute kaum noch zu überhören. Althergebrachte Planungsansätze und Bauweisen können in Zeiten zunehmender Ressourcenknappheit, steigender Energiekosten und des Klimawandels als Inspirationsquelle für ein robustes, der Zukunft zugewandtes Bauen dienen. Die Begleitung von Abschlussarbeiten und der Austausch zwischen Studierenden und Lehrenden veranlassen zur Weitergabe von Erfahrungen aus der denkmalpflegerischen Arbeit. Das setzt Synergieeffekte frei, die den geforderten Paradigmenwechsel im Bauwesen befördern werden. ◀

**9** Das barocke Gengenbacher Rathausensemble mit Bauzeiten, sofern bekannt.

## Glossar

**Bundgespärre:** Auch Binder- bzw. Querbundgespärre; trägt konzentriert seine eigenen und auch die vertikalen Lasten aus den benachbarten Zwischengespärren nach unten ab.

**Hängesäule:** Auch Hängeholz; vertikales auf Zug beanspruchtes, zumeist abgestrebtes Holz in dem unterseitig über einen Überzug die Deckenbalken der obersten Geschossdecke (Ehingen und Gengenbach) bzw. die Kehlbalcken (Bruchsal) ein Zwischenaufleger finden.

**Kehlbalken:** Zugfest eingebautes, horizontal zwischen ein Sparrenpaar eingespanntes geschossunterteilendes Holz zur Minimierung der Biegebeanspruchung der Sparren.

**Steigstrebe:** Auch Strebe; an beiden Enden meist gezapftes schräg verlaufendes Holz.

## Literatur

Mareike Janoudi: Beitrag zur Vereinbarkeit von Denkmalpflege und Klimaschutz am Beispiel der Nutzungsänderung im Dachstuhl des Längsbaus im Gengenbacher Bauamt, Masterarbeit, Karlsruher Institut für Technologie 2024.

Vittorio Magnago Lampugnani: Gegen Wegwerfarchitektur, Wagenbach, Berlin 2023.

Thomas Eißing, Benno Furrer, Stefan King, Ulrich Knapp, Anja Krämer, Burghard Lohrum, Tilmann Marstaller, Claudia Mohn, Heinz Pantli und Daniel Reicke: Vorindustrieller Holzbau. Terminologie und Systematik für Südwestdeutschland und die deutschsprachige Schweiz. Südwestdeutsche Beiträge zur historischen Bauforschung Sonderband, 2. überarbeitete Auflage 2022. Luca Schorer: Balthasar Neumanns Pfarrkirche St. Peter in Bruchsal – verformungsge-

rechtes Aufmaß im Nordflügel des Dachwerks sowie Dokumentation und Analyse des statischen Gefüges, Masterarbeit, Karlsruher Institut für Technologie 2022.

Philipp Baumbusch: Statische Analyse des Dachwerks der Kirche St. Blasius in Ehingen, Masterarbeit, Karlsruher Institut für Technologie 2021.

Fritz Wenzel: Der Bauingenieur in der Denkmalpflege: Kontinuität und Wandel der Aufgaben, in: Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke, SFB 315, Ernst und Sohn, Berlin 1987.

## Abbildungsnachweis

**1, 3, 4, 6** Matthias Frese; **2** Plan erstellt von Philipp Baumbusch auf Datengrundlagen von intermetric; **5** Andreas Stiene; **7** Darstellung Mareike Janoudi auf Grundlage des Aufmaßes von Kupke und Lambeck Architekten Partnerschaft mbB (10–2023); **8** Mareike Janoudi; **9** Darstellung Mareike Janoudi in einem Luftbild von Michael Arneri