

Instandsetzung des Holztragwerks einer historischen Glashütte

Herrn Dr.-Ing. habil. Klaus Erler zum 60. Geburtstag gewidmet

Die Bautechnik der Erhaltung historischer Konstruktionen erfordert eine Auseinandersetzung mit der Geschichte eines Gebäudes, die stets einen Abriß der Kulturgeschichte des Menschen vermittelt. Der sorgfältige Umgang mit dieser Geschichte zeigt sich vor allem in einer substanzschonenden Erhaltung, die ohne eine genaue Bauzustandsanalyse nicht denkbar ist.

Der Beitrag befaßt sich mit der Problematik der Bauzustandsanalyse, der Bewertung des Bauzustandes und der Instandsetzungsplanung der historischen Holzkonstruktionen eines über 120 Jahre ununterbrochen genutzten Gebäudes einer Glashütte. Die Bauzustandsanalyse ergab unterschiedliche Schädigungen der Holzbauteile durch langjährige thermische Beanspruchung und hohe Feuchte im Holz.

Repair of the timber structure of a historical glass factory. Maintenance technology of historical structures requires a reception of their history which is always an abstract of the human history. Therefore historical buildings should be maintained in a good quality.

For the design of maintenance work an exact overview of the structural state, the structural damages and the influence of the damages on the load carrying capacity and serviceability are necessary. Results of the analysis of structural state are different damages of the timber structure, caused by longterm thermal attacks and a high level of moisture content.

1 Vorbemerkungen

Das Holztragwerk des untersuchten Gebäudes gehört zu einem ganzen Komplex von Produktionsgebäuden einer ehemaligen Glashütte. Die Glashütte Baruth verfügt über eine lange Tradition der Glasherstellung. Die Technologie ist dabei seit 1861 wenig verändert worden, und die Anlage ist somit in ihrer ursprünglichen technischen und baulichen Substanz noch gut erhalten. Aufgrund des hohen kulturhistorischen Wertes der Anlage soll sie für die Nachwelt als technisches Museum erhalten werden (zur Gebäudechronik siehe Tabelle 1).

Gegenstand dieses Beitrags ist das Hüttengebäude (s. Bild 1). Hier wurden die Rohstoffe aufbereitet und das Glas geschmolzen. Die für den Schmelzprozeß notwendige Ofenanlage befindet sich im mittleren Teil des Gebäudes mit einer Länge von 49,51 m und einer Breite von 16,05 m, die Außenwände bestehen aus Ziegelmauerwerk.

Das jetzige Hüttengebäude wurde zusammen mit der Installation einer moderneren Ofentechnologie im Jahre 1861 errichtet (s. Bild 12). Von 1861–1980 war die

Glashütte fast ununterbrochen in Betrieb. Die Öfen wurden früher mit Torf und Holz sowie ab 1861 mit Braunkohle aus der nahegelegenen Lausitz beheizt.

2 Beschreibung der Konstruktionsprinzipien der Holztragwerke

Das Dachtragwerk besteht aus einer Holzkonstruktion und einer Stahlkonstruktion (s. Bilder 2 und 3). Die Stahlkonstruktion befindet sich unmittelbar über den Schmelz-

Tabelle 1. Historische Entwicklung der Glashütte Baruth
Table 1. History of the glass factory

Jahr	Historie
14. Jahrhundert	erste urkundliche Erwähnung der Glashütte
1716	Graf Friedrich Siegesmund zu Solms-Baruth errichtet eine Glashütte
1735	Abriß der alten Hütte und Neubau einer Hütte für Tafel- und Hohlglas
1769	Erweiterung der Hütte durch ein chemisches Labor und eine Pottaschefabrik
1815	Die Gemarkung Baruth gehört nach dem Wiener Kongreß zu Preußen (vorher Sachsen).
1830	Erfindung des reinen Milchglases und Aufschwung der Produktion aufgrund großer Nachfrage
ab 1851	Die Milchglasprodukte erhalten auf vielen Welt- und Industrieausstellungen Preise, was zum Anstieg der ausländischen Nachfrage führt.
1861	Errichtung einer neuen Hütte mit Nebengebäuden und Wohnhäusern, Errichtung des ersten Siemens-Gas-Generators in Deutschland und Wechsel des Heizmaterials von Holz zu Kohle
1875	Die Hütte erhält ein eigenes Anschlußgleis.
04. 12. 1945	Nach kurzer Unterbrechung wird die Produktion wieder aufgenommen.
1991	Gründung des Vereins Glashütte e.V. zur Rettung des Ortes und der Glashütte
06. 12. 1991– 11. 09. 1995	erste Sicherungsarbeiten am Hüttengebäude, Bestandsaufnahme, Durchführung der Sanierungs- und Instandsetzungsarbeiten



Bild 1. Hüttengebäude nach der Sanierung und Instandsetzung
Fig. 1. Glass factory building after repair

öfen. Sie ist als unterspannter *Polonceaubinder* ausgebildet (Bild 3b), besteht aus Puddelstahl und wurde wahrscheinlich aus Gründen des Brandschutzes an dieser Stelle angeordnet. Die Holzkonstruktion selbst unterteilt sich in einen deckenlosen Bereich unmittelbar über den Nebenflächen zur Ofentechnologie (s. Bild 3c) und einem Bereich mit Holzbalkendecke, der durch eine Fachwerkwand und Einbauten im Erdgeschoß vom unmittelbaren Produktionsbereich abgetrennt ist und bis an die Giebelwände reicht (s. Bild 3a).

Dachkonstruktion

Die hölzerne Dachkonstruktion ist ein Sparrendach mit zwei Kehlbalken. Der untere Kehlbalken wird

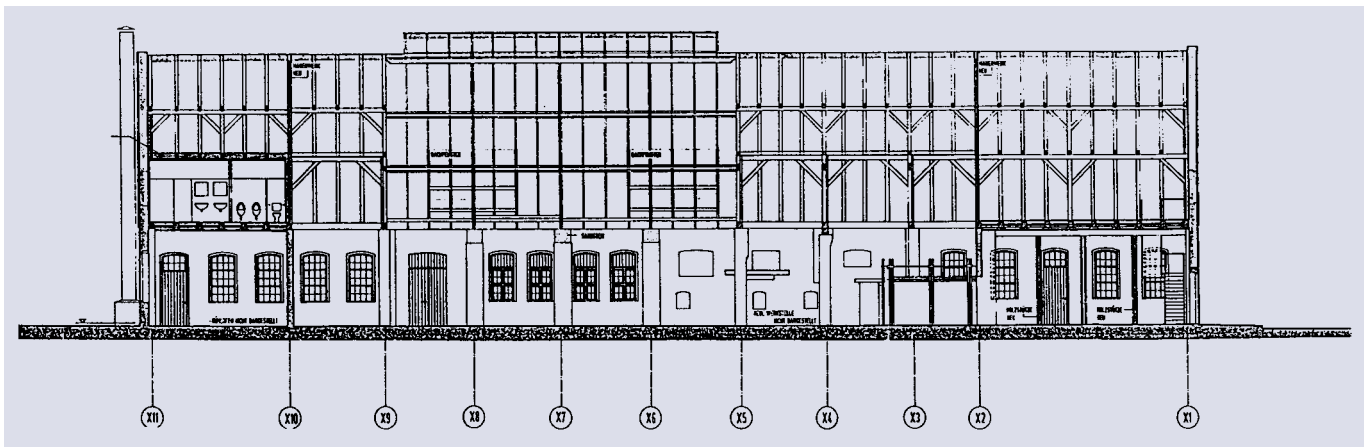


Bild 2. Längsschnitt durch das Hüttengebäude (Zeichnung des Projektverantwortlichen: Architekt Dipl.-Ing. Ruprecht, Berlin)
Fig. 2. Longitudinal section of the building

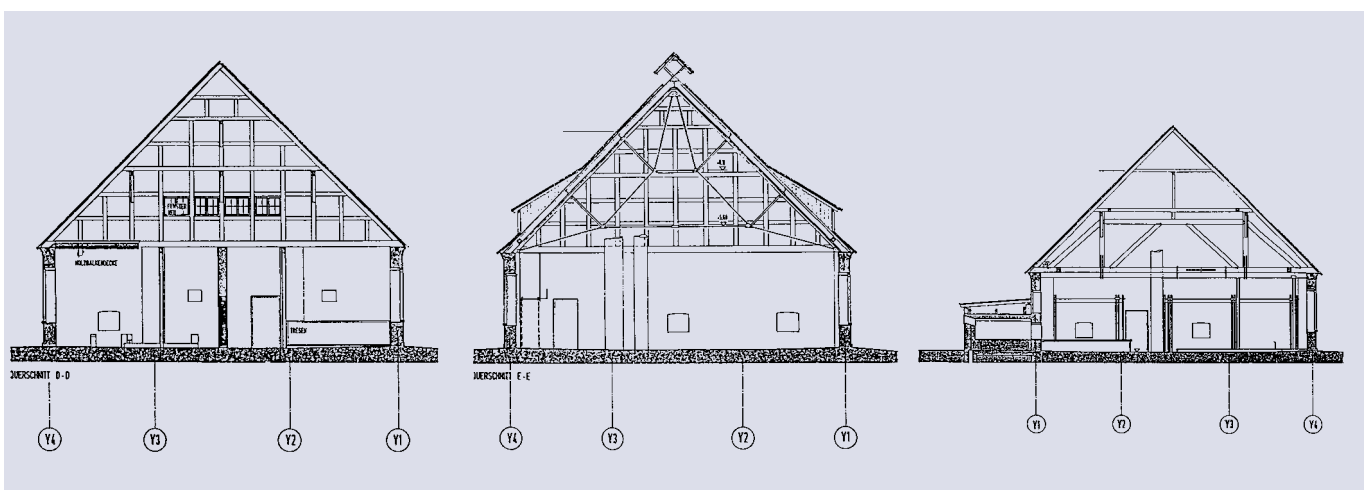


Bild 3. Querschnitt des Gebäudes, a) im Bereich der Fachwerkwand, b) im Bereich des Stahlbinders, c) im Bereich der Hängewerke, (Zeichnung: Architekt Dipl.-Ing. Ruprecht)

Fig. 3. Cross section of the building, a) near timber frame wall, b) near iron girder, c) near suspension structure

auf einer Höhe von 4,33 m durch jeweils drei Stuhlsäulen und Stuhlrähme gestützt. Der in einer Höhe von 10,05 m befindliche zweite Kehlbalken erhält mittig durch eine Stuhlsäule mit Rähm eine Unterstützung. Die Stuhlsäulen stehen im Abstand von 3 bis 5 m. Der Abstand zwischen den Sparren beträgt 980 bis 1095 mm. Die Kehlbalken sind mit den Sparren verzapft. Die Dachgeschoßdecke ist als Holzbalkendecke mit Lehm-einschub ausgebildet. Die Verbindung zwischen Sparren- und Deckenbalken erfolgt ebenfalls über Zapfenverbindungen.

Die Querschnittsabmessungen b/h betragen je nach Bauteil:

- Sparren 13/15 bis 17/17 cm
- Kehlbalken 12/15 bis 15/19 cm
- Rähm 15/20 cm
- Stuhlsäule 15/17 bis 16/20 cm
- Kopfbänder 12/15 cm

Die Längsstabilisierung der Dachkonstruktion übernehmen Kopfbänder zwischen Stuhlsäule und Rähm.

Holzbalkendecke

Die Balken der Einschubdecke spannen in Gebäudequerrichtung, wobei ihre Spannweite durch einen Unterzug in zwei Felder aufgeteilt wird. Der Einschub besteht aus Lehm.

Fachwerkwand

Unverstrebt Fachwerkwände dienen als Abschluß für die Dachgeschoßbereiche und Holzbalkendecken, andererseits übernehmen sie eine queraussteifende Funktion. Die Wände enthalten keine Gefache (s. auch Bild 3a).

Hängewerk

Im Bereich des Holzdaches ohne Holzbalkendecke werden die Kehlbalken durch doppelte Hängewerke gestützt. Der Abstand zwischen den Hängewerken beträgt 3,10 bis 4,35 m.

Die Querschnittsabmessungen b/h betragen hier:

- Hängesäule 23/26 cm
- Spannbalken 26/28 cm
- Hängestiele 25/29 cm
- Spannriegel 20/22 cm

Da der Spannriegel mittig durch die Stuhlsäule des oberen Kehlbalkens gestützt wird, wurden

zur Verhinderung einer Biegebeanspruchung des Riegels zusätzlich Diagonalen im doppelten Hängewerk angeordnet, die die Kräfte über den Spannbalken und die Hängesäulen zum Auflager weiterleiten (s. auch Bild 3c). Die Hängestreben sind mit Versätzen und Bohrzapfen an die Spannbalken, Hängesäulen und Spannriegel angeschlossen. Die Sparren zwischen den Hängewerken sind im Traufbereich mit Stichbalken verbunden, die an einen Wechsel, der jeweils zwischen den Hängewerken befestigt ist, anschließen.

3 Analyse des Bauzustandes

Ziel der Analyse des Bauzustandes war die gründliche Prüfung der Erhaltungswürdigkeit der Bausubstanz (s. Bild 4). In die Untersuchung einbezogen wurden verschiedene Prüfmethode zur exakten Quantifizierung des Schadensumfangs und insbesondere zur Festigkeitssortierung des Altholzes analog der Bestimmungen in DIN 4047 und der DIN 1052 (s. Bild 4). Erst nach einer genaueren in-situ-Prüfung der verbauten Holzqualitäten und einflußgebenden Bauschäden kann die Trag- und Funktionsfähigkeit der Altholzbauteile mit den vorgenannten Neubaunormen rechnerisch nachgewiesen werden.

Das Ergebnis der Bauzustandsanalyse zeigte eine erhebliche Schädigung vor allem der

Holzbauteile des Daches, aber auch der Holzbalkendecken, der Hängewerke und der Fachwerkwände durch thermische Beanspruchung, Brand und pflanzliche Schädlinge in einem Schadensumfang, der 70 bis 90 % aller Bauteile betraf (eine Zusammenfassung zeigt Tabelle 2).

Die jahrzehntelange thermische Beanspruchung führte zu einer teilweise stark ausgeprägten Auflösung und chemischen Zersetzung der Oberflächenstruktur der Holzbauteile. Die dunkle Verfärbung des Holzes war im gesamten Holzquerschnitt anzutreffen und resultiert aus einer hohen thermischen Dauerbeanspruchung durch den technologischen Prozeß. Bei einzelnen Querschnitten hatte sich infolge der thermischen Schädigung das Splintholz vollständig vom Kernholz gelöst (s. z. B. Bild 5).

Schon unter der bisherigen Nutzung kam es durch die damit verbundene Festigkeitsreduzierung zu einer statischen Überlastung der Konstruktion. Ein Zeichen hierfür waren die vielen vorhandenen kurzfasrigen Brüche (z. B. Bild 6), das Aufklaffen von Verbindungen und das ringförmige Auseinanderfallen des Holzes.

Eine ständige Erwärmung (ca. $\geq 60^\circ\text{C}$) führt zu einer chemischen Zersetzung des Holzes, verbunden mit einem Abbau der Zellulose. Dies verursacht eine Abnahme der Holzfestigkeit und führt bei Überschreitung der Entzündungstempe-

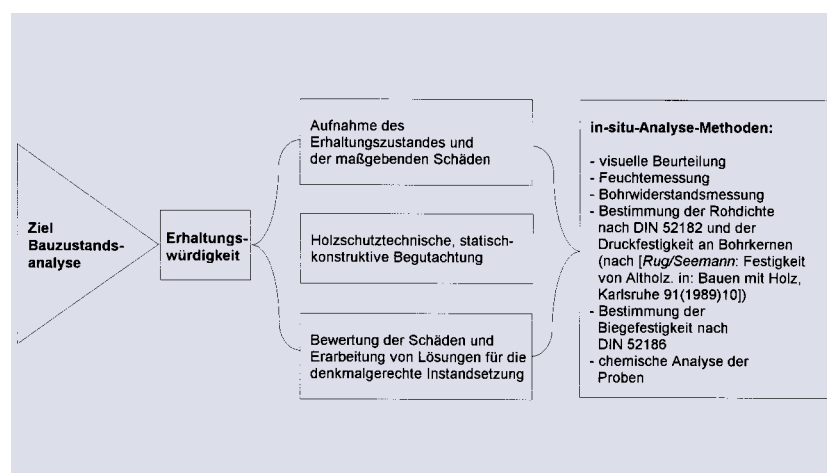


Bild 4. Ziel der Analyse des Bauzustandes und angewendete in-situ-Analyse-Methode

Fig. 4. Aims of the diagnosis of structural state and used diagnostic methods

Tabelle 2. Übersicht über die maßgebende Schädigung des Holztragwerks des Hüttengebäudes
Table 2. Overview of essential damages of historical timber construction

Schadensort	Maßgebende Schädigungen
Dach:	<ul style="list-style-type: none"> – alle Querschnitte stark verfärbt und verkrustet – brüchige Dachlatten – teilweise starke Schwindrisse ($t > 0,25 \cdot b(h)$) – Holzquerschnitte aufgerissen (Splintholz löst sich vom Kernholz, s. Bild 5) – Pfetten gebrochen (kurzer Bruch – s. Bild 6) – Anschluß Kehlbalken/Sparren gebrochen – Brandschäden und Verkohlungen – fehlende Bauteile, z. B. Wechsel – zerbrochene Pfetten – verformte und gebrochene Sparren – keine druck- und zugfesten Pfettenverbindungen – unzureichende Pfettenuflagerung – Zerfaserung der Holzoberfläche durch Säureangriff – Verbindung Kopfband/Pfette nicht mehr funktionstüchtig – starke Schädigung der Sparren auf der Oberseite durch ständige Feuchteinwirkung – Hausbockbefall an Sparren und Balkenkopf (Dachsparren unmittelbar am Westgiebel) – starke Schädigung der Sparren und Balkenköpfe durch Weiß-, Moder- und Braunfäule
Hängewerk:	<ul style="list-style-type: none"> – starke Verfärbungen (Bild 10) – starke Querschnittreduzierung durch Brandschäden (Bild 7) – gestoßener Spannbalken (Bild 9) – große Schwindrisse ($t > 0,25 b(h)$) – Holzquerschnitt aufgerissen
Deckenbalken:	<ul style="list-style-type: none"> – verfaulte Mauerlatte – Fäulnisschäden an Balkenköpfen (Bild 8) – Befall ganzer Deckenbalken durch Braunfäule und Weißen Porenschwamm – Brandschäden an Stichbalken und Wechsel
Fachwerkwand:	<ul style="list-style-type: none"> – starke Verfärbungen – Holzquerschnitte aufgerissen/Splintholz löst sich vom Querschnitt

ratur ($T > 160^\circ\text{C}$) zur Verbrennung des Holzes. Dieser Prozeß ist i. a. abhängig von der Größe des Querschnitts, der Rohdichte und des Feuchtegehalts. Vielfach wurde die Entzündungstemperatur überschritten, und es kam zu ausgedehnten Brandschäden an einzelnen Bauteilen (s. Bild 7).

Die Festigkeitsuntersuchungen an entnommenen Proben zeigten trotz relativ hoher Rohdichtewerte für das verbaute und jahrzehntelang beanspruchte Kiefernholz reduzierte Festigkeitswerte. Für die statischen Untersuchungen wurden abgeminderte zulässige Festigkeitswerte zugrunde gelegt (s. Tabelle 3). Ursache der Festigkeitsreduzierung war nicht nur die lang andauernde thermische Beanspruchung, sondern auch eine deutlich meßbare chemische Beanspruchung des Holzes infolge der Rauchgasentwicklung, was auch die Kurzbrüchigkeit des Holzes erklärt.

Eine gesonderte Holzschutzuntersuchung ergab im Bereich der Anschlüsse Sparren/Balkenkopf umfangreiche Schäden durch verschiedene Pilze (Weißfäule, Braunfäule, Moderfäule, Echter Hauschwamm, Tannenblättling, Weißer Porenschwamm, s. z. B. Bild 8). Weiterhin waren einzelne Sparren an der Oberseite durch ständigen Feuchteinfluß wesentlich geschädigt.



Bild 5. Typisches Schadensbild – Querschnittsauflösung an einem Dachsparren

Fig. 5. Typical damage dismantling of timber cross section

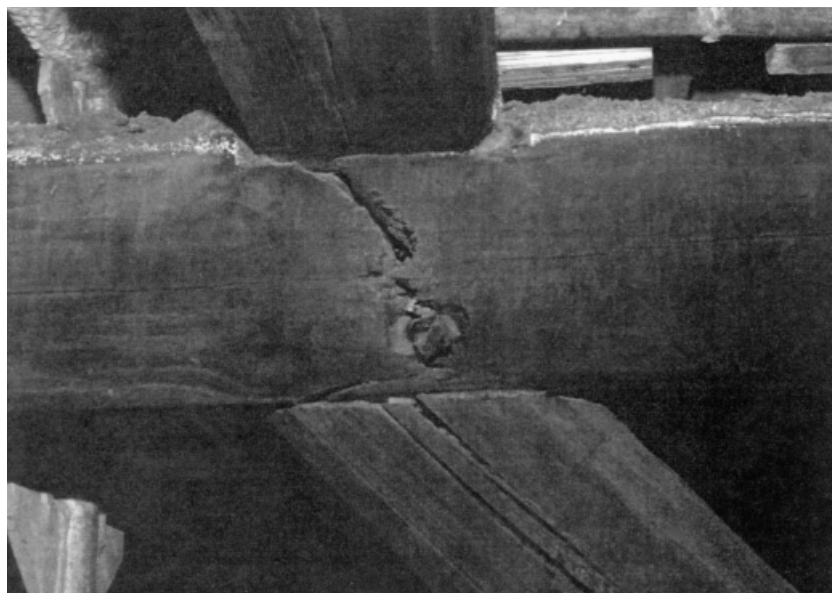


Bild 6. Kurzfasriger Bruch an einer Pfette

Fig. 6. Short fibre fracture from a roof beam cross section



Bild 7. Querschnittsreduzierung beim Spannbalken eines Hängewerks
Fig. 7. Reduced cross section of suspension structure



Bild 8. Durch Pilzbefall geschädigter Balkenkopf der Dachgeschoßdecke
Fig. 8. Floor beam damaged by fungus attack

Statische Voruntersuchungen unter Berücksichtigung reduzierter Materialwerte nach heutigen Lasten ergaben, daß für die meisten Holzbauteile die Tragfähigkeit nicht mehr gegeben war. Bei den Hängewerken hatten die Versatzverbindungen der äußeren Streben keine ausreichende Tragfähigkeit, bzw. der Kraftschluß war durch offene Verbindungen nicht mehr gegeben. Die Spannbalken waren teilweise gestoßen, wobei die Stoßausbildung nicht ausreichend tragfähig war. Die Querschnitte von Spannbalken waren durch mehrfache Brandbeanspruchung stark re-

duziert. Die Folge waren Zugbrüche im Holz.

4 Instandsetzung und Wiederherstellung der Trag- und Funktionsfähigkeit

Aus denkmalpflegerischen Gründen sollte das Holztragwerk so substanzschonend wie möglich instandgesetzt werden. Die Arbeiten wurden teilweise im Einbaustand bzw., wenn ein Ausbau unumgänglich war, nach dem Ausbau der Bauteile durchgeführt. Jedes tragende Bauteil wurde während der notwendigen Demontage

Tabelle 3. Ermittlung von Faktoren zum Einfluß einer thermischen Dauerbeanspruchung auf die Festigkeit und Elastizität des verbauten Holzes, abgeleitet aus Versuchen an Altholzproben (fehlerfrei)

Table 3. Factors of influence of longterm high temperature on strength and elasticity of timber, resulting from tests on clear specimen of old timber

	Abfall	Faktor
Druckfestigkeit	15 %	0,85
Biegefestigkeit	30 %	0,70
Zugfestigkeit	30 %	0,70
E-Modul	40 ... 50 %	0,5 ... 0,6

nochmals auf seine Wiederverwendbarkeit geprüft. Bei der Instandsetzung und dem Wiederaufbau wurde besonders auf den baulichen Holzschutz geachtet. Entsprechend der DIN 68 800, Blatt 3 erfolgte der chemische Holzschutz nur für die entsprechenden Gefährdungsklassen des verbauten Holzes.

Dachkonstruktion

Von der Sparrenkonstruktion konnten nur wenige Bauteile (wie z. B. einige Kopfbänder und Stuhlsäulen) wiederverwendet werden. Die Erneuerung der Dachkonstruktion betrug trotz einer genauen Prüfung auf Erhaltungswürdigkeit über 95 % aller tragenden Bauteile. Alle Sparren wurden aus neuem Kiefernholz gezimmert. Das Dach erhielt im Zuge dieser Arbeiten neue Schleppgauben.

Hängewerke

Wegen zusätzlicher Belastungen mußten die Hängewerke an statisch hoch beanspruchten Verbindungsstellen verstärkt werden. Einzelne Hängewerkelemente wie z. B. die Spannbalken waren aufgrund von stark querschnittsreduzierenden Brandschäden vollständig zu ersetzen.

Der hohe Schädigungsgrad erforderte die Instandsetzung von zwei der fünf Hängewerke auf dem Richtplatz. Dafür wurden die Hängewerke vollständig demontiert.

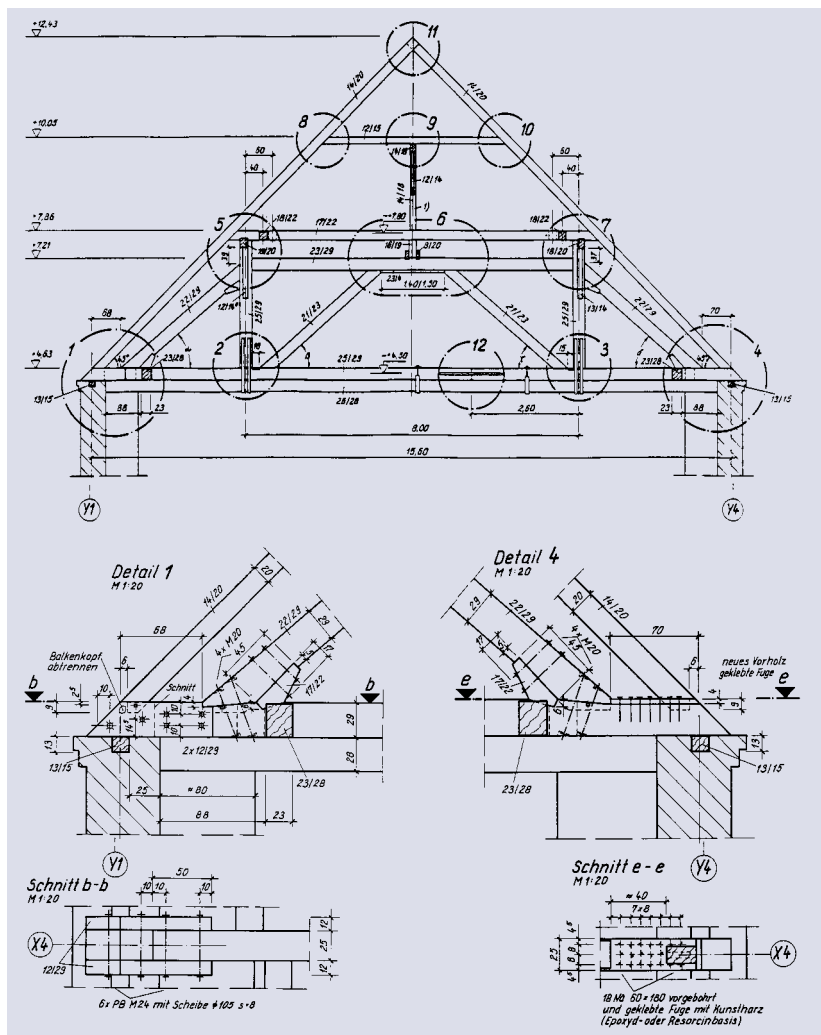


Bild 9. Ausführungszeichnung für die Instandsetzung eines Hängewerks (in Achse X4, Instandsetzung am Einbauort, mit Kopferneuerung am Spannbalken, Verstärkung der Versätze, Zugstoßausbildung in der Mitte des Spannbalkens)

Fig. 9. Planning the repair of a suspension structure (repair in-situ)



Bild 10. Instandgesetztes Hängewerk mit Neu- und Altholz (in Achse X5, Instandsetzung am Richtplatz nach Demontage mit Neuholz für Spannbalken, Streben, Spannriegel und Verstärkung der Versätze)
Fig. 10. Suspension structure after repair (repair on the carpentry place)

Wenn nur einzelne Verstärkungen erforderlich waren, wurden die Arbeiten am Einbauort durchgeführt und die Spannbalken durch entsprechend dimensionierte Absteifungen entlastet. Danach löste man die Holznagel- oder Bolzenverbindungen, um die Reparatur- und Instandsetzungsarbeiten durchführen zu können. Geschädigte Stabteile wurden ausgetauscht, die Kraftschlüssigkeit aller Strebenanschlüsse wieder hergestellt sowie die notwendige Verstärkung der Strebenanschlüsse durch zusätzliche Stemmklötze (s. Bilder 9a und 10) durchgeführt.

Fachwerkwände

Bei den beiden Fachwerkwänden wurden stark geschädigte Bauteile erneuert und nicht mehr kraftschlüssige Verbindungen repariert. Im Balkenkopfbereich der Fußschwelle waren Teilerneuerungen erforderlich. Anschließend wurden die Wände der neuen Nutzung entsprechend ausgemauert und die Gefache verputzt.

Holzbalkendecken

Alle Balkenköpfe der Deckenbalken waren zu erneuern (Bild 11). Nach der Abfangung der Deckenbereiche und dem Ausbau der Lehmzwischendecken wurden die Deckenbalken auf ein einheitliches Niveau angehoben. Anschließend erfolgte der Einbau der Unterzüge aus Brettschichtholz. Die Stützen wurden in Vollholz hergestellt. Die Füllung der Decke wurde dem historischen Vorbild entsprechend wieder als Lehmeinschubdecke einschließlich neuer Lehmfüllung ausgeführt.

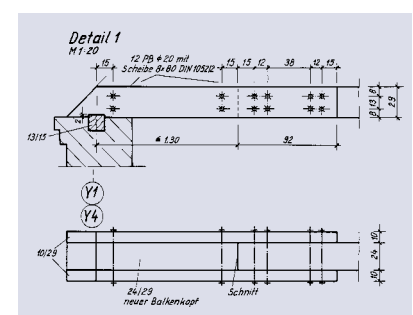


Bild 11. Instandsetzung der Balkenköpfe der Holzbalkendecken
Fig. 11. Planning the repair of floor beam ends

5 Zusammenfassung

Exakte Aussagen zum Schädigungsgrad und zur Erhaltungswürdigkeit von historischen Holzkonstruktionen erfordern eine umfangreiche Analyse zum baulichen Zustand der Konstruktionsglieder und Verbindungen. Dabei geht es nicht nur um das Erkennen äußerer Schädigungen am verbauten Holz, sondern um eine umfassende Bewertung im Hinblick auf tragfähigkeitsmindernde innere Schädigungen bzw. weitere die Trag- und Funktionsfähigkeit beeinflussende Bauschäden.

Für die statische Untersuchung ist eine Festigkeitssortierung und Zuordnung des erhaltungswürdigen Holzes zu Sortierklassen nach DIN 4074 erforderlich. Weiterhin ist die Trag- und Funktionsfähigkeit der Verbindungen zu bewerten. Sehr hilfreich sind hierbei zerstörungsarme Diagnosemethoden. Wieviel der verbauten Substanz am Ende bestehen bleiben kann, ist auch von der Qualität der Zusammenarbeit der am Bau Beteiligten, wie Architekten, Tragwerksplaner, Holzschutzfachmann und dem in der Denkmalpflege erfahrenen Handwerksbetrieb, abhängig. Eine zielorientierte, enge Zusammenarbeit aller Beteiligten, geleitet von einem fachkundigen Architekten, führt hier zu dauerhaften und denkmalgerechten Lösungen.



Bild 12. Historische Ofenanlage nach der Wiederherstellung des Gebäudes

Fig. 12. Historical furnace after repair of the building

Aufgrund des Umfangs der Schäden an allen Holzbauteilen ($\geq 50\%$) sowie ihrer direkten Wirkung auf die Stand-, Trag- und Funktionssicherheit war die tragende Holzkonstruktion des Hüttengebäudes als nicht mehr funktions- und tragsicher zu bewerten. Eine Wiederherstellung der Nutzungsfähigkeit erforderte zwingend umfangreiche Maßnahmen zur Erneuerung und Instandsetzung, einschließlich einer holzschutztechnischen Sanierung der im Bau verbleibenden Holzbauteile.

Die Wiederherstellung der Nutzungsfähigkeit eines Gebäudes ist immer wieder eine erkenntnisreiche Arbeit für alle Beteiligten, geschieht sie doch vor dem Hintergrund der bautechnischen Geschichte eines Gebäudes und der generationsbezogenen Nutzung (s. Bild 12).

Autor dieses Beitrages:

Dr.-Ing. Wolfgang Rug, Recontie-Ingenieure, Wilhelmstr. 25, 19322 Wittenberge