



Beitrag
Bayerischer
Denkmalpflegepreis
2020

KATH. PFARRKIRCHE ST. ULRICH, SEEG

Mit messtechnischen und baustatischen
Untersuchungen die richtigen
Entscheidungen treffen

Dr.-Ing. Bernhard Mohr



AUFGABENSTELLUNG

Die kath. Kirche St. Ulrich in Seeg wurde ca. 1700 bis 1703 nach Plänen von Johann Jakob Herkomer errichtet, die Rokokoausstattung (3) ab ca. 1768 von Johann B. Enderle, Balthasar Riepp und Andreas Henkel eingebracht.

Die gekoppelte Dach- und Deckenkonstruktion im Langhaus besteht aus einem zweilagigen Kehlbalkendach mit Mittelüberzug und Hängesprengwerken, welche im Jahr 2000 ertüchtigt wurde.

Die flach gewölbte Putzdecke mit Stichkappen über den Fensterachsen wird mit Spanten gehalten, welche an den Bundbalken befestigt sind.

Die letzte Innenrenovierung fand 2007 statt.

Im Jahr 2016 fiel aus der Decke ein ca. 2,6 m² großes Deckenputzstück heraus (1) (2).

Zur Klärung der Ursache und zur Entwurfsfindung ergänzender statischer Maßnahmen wurden die restauratorischen Befundungen von Ingenieursseite durch statische Berechnungen und messtechnische Untersuchungen maßgeblich ergänzt.



Schadenskartierung Putzdecke (1)



Absturzstelle 2016 ca. 2,6 m² (2)



Innenansicht (3)

STATISCHE BEWERTUNG DES HAFTVERBUNDS DER PUTZDECKE UND DES PUTZTRÄGERS

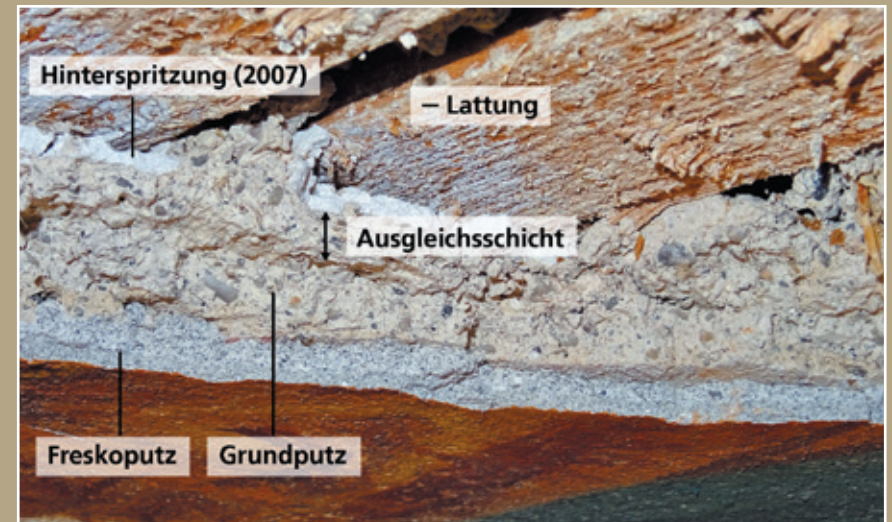
Die restauratorischen Deckenuntersuchungen ergaben einen ungünstigen Putzaufbau. Als besonders nachteilig erwies sich eine Ausgleichsschicht, die zur Formgebung direkt unter der Lattung aufgebracht wurde. Sie hat einerseits einen zu **geringen Bindemittelgehalt** und erzeugt andererseits **hohe Putzdicken** bis zu 4 cm (4). Die Anhaftung des Putzes an der schlecht gebeilten Lattung war gering.

Entsprechend ergab die **statische Bewertung** mit dem hohen Putzeigengewicht rechnerisch erhebliche Zugspannungen in den engen Mörtelstegen zwischen den Latten. Der Vergleich mit den Versuchen in der Abteikirche Neresheim (Dr. Ullrich 1974) ergab, dass die Haftzugfestigkeiten zu gering sind. Die Verbindung zwischen Putz und Putzträgerkonstruktion weist hier grundsätzlich **keine ausreichende Sicherheit** auf und ist somit eindeutig für das **Versagen verantwortlich**.

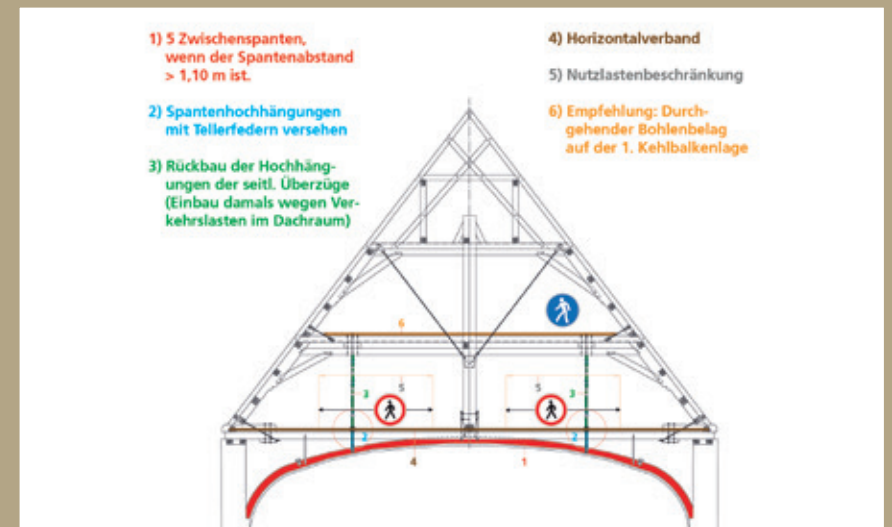
Das 2007 durchgeführte Hinterspritzen (4) löste das Problem der nichttragfähigen Ausgleichsschicht nicht. Einzelne Abstände der Spanten (1,45 m) waren für die dünne Lattung zu groß. Im ohnehin hoch beanspruchten Stegbereich (siehe oben) entstehen zusätzlich hohe Schubspannungen im Mörtel, die ein Abscheren bewirken, so dass **absturzgefährdete Hohlstellen** entstanden.

Daraus ließen sich restauratorisch eine systematische mechanische Sicherung des Deckenputzes von oben sowie statisch die Ergänzung von zusätzlichen Spanten bei weiten Lattenspannweiten ableiten (5) (7).

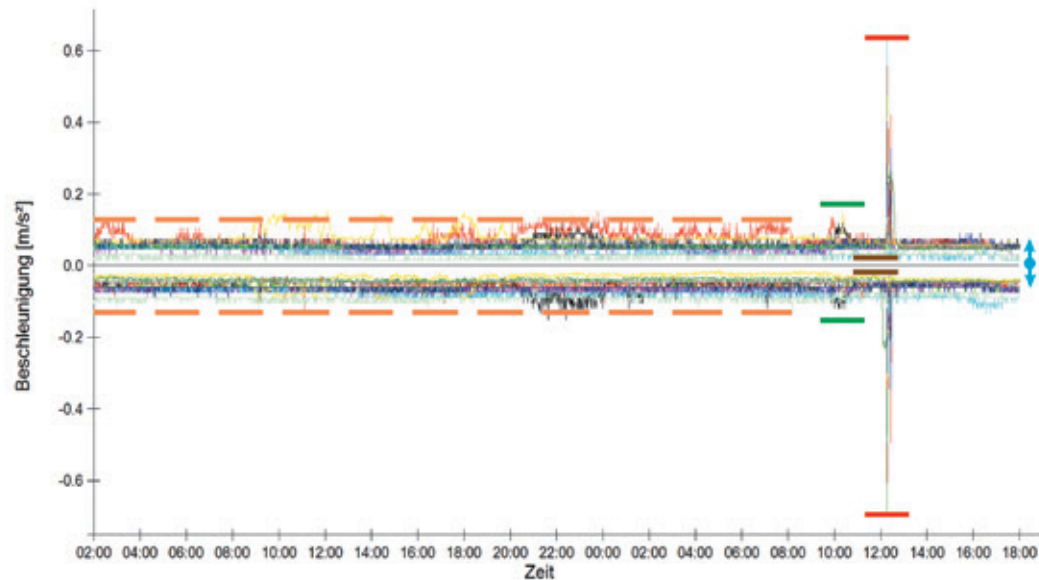
Im Sinne des dauerhaften Substanzerhalts und der Verkehrssicherheit dieses kritischen Putzdeckenaufbaus sollten zusätzliche **Verformungen** und **Erschütterungen** aus äußeren Beanspruchungen mit vertretbarem Aufwand **minimiert** werden.



Aufbau der Putzdecke, Absturzstelle 2016 (4)



Durchgeführte statische Maßnahmen (5)



Messergebnisse

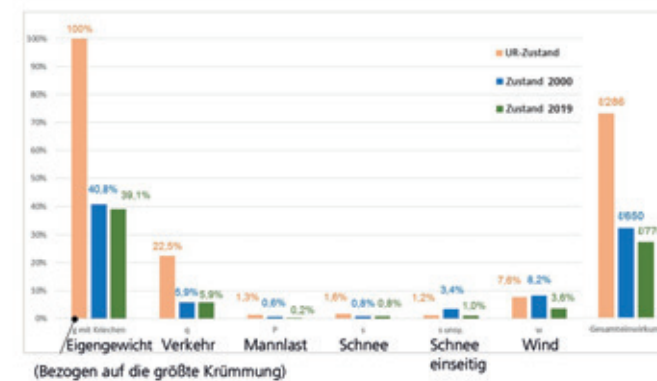
(Beschleunigung der Spante vertikal)

1. Arbeiten im Dachboden
 $a_z = \pm 0,6 \text{ m/s}^2$ (= 6 % Eigengewicht)
2. Gehen im Dachboden
 $a_z = \pm 0,2 \text{ m/s}^2$ (= 2 % Eigengewicht)
3. Wind bei 40 % Windlast (v_w 7-13 m/s)
 $a_z = \pm 0,1 \text{ m/s}^2$
4. Basisrauschen
 $a_z = \pm 0,05 \text{ m/s}^2$
5. Glockengeläute
 $a_z = \pm 0,03 \text{ m/s}^2$

Ergebnisse der Erschütterungsmessungen (6)



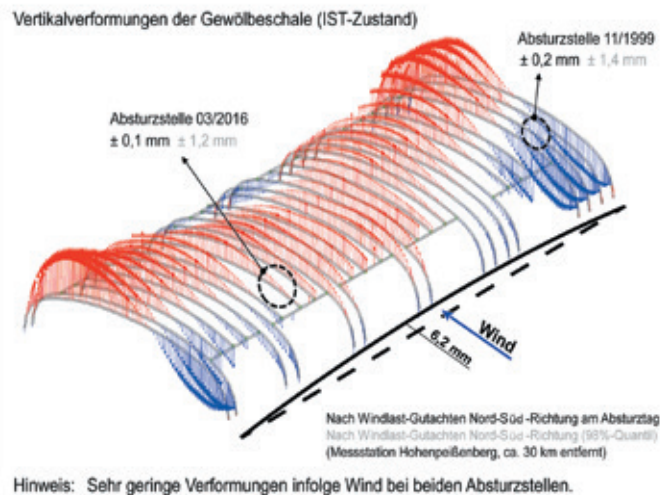
Verringerung der Lattenabstände durch zusätzliche Spante, Sicherung des Grundputzes durch Kohlefaserdübel (7)



Vergleichende Auswertung der Deckenverformungen (8)

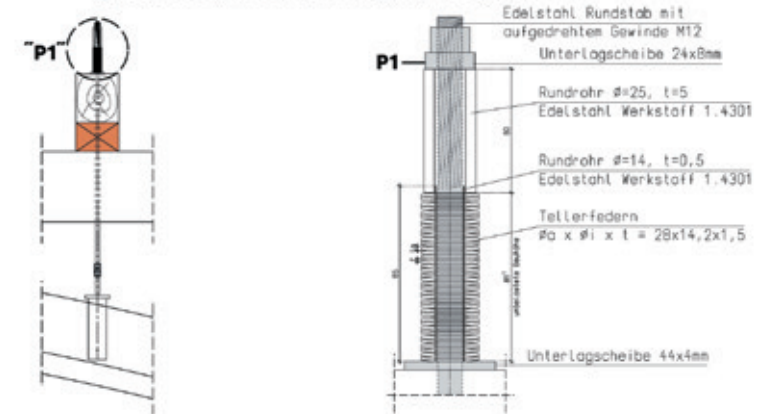
DENKMALGERECHTE ENTWURFSFINDUNG

Nachdem die statische Instandsetzung der Dach- und Deckenkonstruktion im Jahr 2000 die Verformungen der Putzdecke auf ein weit überdurchschnittlich hohes Niveau ($< 1/3.000$) gebracht hatte, waren für effektive und wirtschaftliche weitere Verbesserungen vertiefte Kenntnisse der Beanspruchungen aus veränderlichen und dynamischen Einwirkungen erforderlich. Hierzu wurden die nachfolgenden statischen Untersuchungen und Erschütterungsmessungen durchgeführt. Die Bewertung erfolgte systematisch vergleichend für den ursprünglichen Tragwerkszustand, die statische Instandsetzung 2000 und die Optimierungen 2019 (einschließlich Variantenuntersuchung) und bildete die Entscheidungsgrundlage für die Auswahl der durchgeführten statischen Maßnahmen.



Verformung des Gewölbes durch Wind, sehr geringe Verformung an den Absturzstellen 2016 und 1999 (9)

Detail „P“
gefederte Spantenhochhängung bis 3,0 kN



Entkoppelung der Spantenkonstruktion von Dachtragwerk über Tellerfedern (10)

ERSCHÜTTERUNGSMESSUNGEN

Erschütterungen sind für die Putzdecke ungünstig, da mit stoßartigen Anregungen dynamisch Beschleunigungskräfte zusätzlich zum Eigengewicht wirken, wenn auch nur für Sekundenbruchteile. Die Messung der Erschütterungen (6) als Kurz- und Langzeitmessungen an 3 bzw. 11 Stellen ergab wichtige Hinweise auf den Einfluss der einzelnen Einwirkungen. Das Glockenläuten erwies sich als unbedeutend ($0,03 \text{ m/s}^2$).

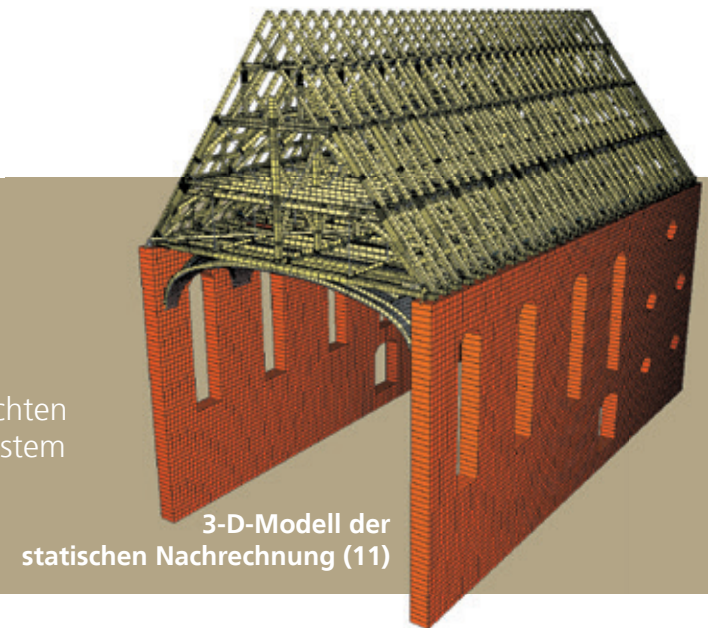
Erschütterungen aus Wind waren mäßig (ca. $0,1 \text{ m/s}^2$).

Einen signifikanten Einfluss haben das **Begehen** der Balkenlage zu Wartungs- und Inspektionszwecken (etwa $0,2 \text{ m/s}^2$) sowie **Arbeiten** im Dachstuhl (bis $0,6 \text{ m/s}^2$).

In der Konsequenz wurden als kostengünstige Maßnahme **Deckenbereiche** auf der Bundbalkenlage dauerhaft **abgesperrt** (5).

VERTIEFENDE STATISCHE UNTERSUCHUNGEN

Für die zutreffende statische Bewertung war eine **realitätsnahe Ermittlung** der veränderlichen Einwirkungen (ortsgenau und objektspezifisch) für **Schnee** und **Wind** nach entsprechenden Gutachten in Verbindung mit einer konsequenten **räumlichen Abbildung** (11) des Langhauses als Gesamtsystem mit Wänden, Putzdecke, Spanten und dem Dachtragwerk, an welchem auch **dynamische Nachrechnungen** durchgeführt werden konnten, entscheidend.



Nachdem die maßgebliche Einwirkung auf die Deckenkonstruktion und damit auf den Deckenputz sein Eigengewicht ist, werden die Einwirkungen aus Schnee und Wind ins Verhältnis zu dieser Größe gesetzt und hinsichtlich der maßgeblichen Kenngrößen bewertet (8). Im Ergebnis sind die Beanspruchungen aus Schnee gegenüber dem Verformungs- und Erschütterungsverhalten aus Wind als nachrangig anzusehen.

Die **Windbeanspruchung** erzeugt eine merkliche Durchbiegung der ca. 12,5 m hohen Längswände in horizontaler Richtung um 0,6 cm. Auch bei einer Entkopplung der Putzdecke vom Dachtragwerk finden durch die Einbindungen der Spantenfüße in die elastischen Wände Deckenverformungen (9) statt.

Eine vollständige Entkopplung der Putzdecke von äußeren Einwirkungen ist somit nicht möglich. Daraus ergaben sich **Optimierungen** und Ergänzungen am Tragwerk (8).

Zur Reduktion der Wandverformung wurde ein **Horizontalverband** auf Bundbalkenebene vorgesehen. Eine weitgehende **Entkopplung** der Putzdecke vom **Dachtragwerk** konnte mit der Verwendung von **Tellerfedern** (10) an den für die Spanten notwendigen Aufhängepunkten sowie dem Rückbau von Aufhängungen an die Kehlbalkenlage erzielt werden. Insofern ergab die als Alternative untersuchte Anhängung der Putzdecke an vom Dachtragwerk unabhängige Stahlträger keine wesentliche Verbesserung. Die federnden Aufhängungen (7) sind je nach Beanspruchung ausgelegt und wurden unter Aufsicht des Restaurators angespannt. Die **Dauerhaftigkeit** ist durch die Verwendung von Edelstahl sichergestellt.

Insgesamt ergeben die **geringen Eingriffe** unter Nutzung der vorhandenen statischen Instandsetzungen eine **effektive Reduktion der Deckenverformungen**

aus Wind um ca. 60 %. Die hohe **Funktionalität** und **Praxistauglichkeit** der gewählten Konstruktionen zeigten sich dadurch, dass die Baustelle nach der aufwändigen denkmalgerechten Entwurfsfindung zur Sicherung der Putzdecke **termingerecht** und im **Kostenrahmen** abgeschlossen werden konnte.

Durch die **weitreichenden Untersuchungen** des verantwortlichen Ingenieurbüros (Wind- und Schneelastgutachten, Erschütterungs- und Schwingungsmessungen bei Wind, Glockenläuten und Arbeiten im Dachstuhl, räumliche statische und dynamische Berechnungen, Bewertung Haftverbund und Putzträger) konnten die **statischen Maßnahmen** (5) und Varianten im Entwurfsprozess fundiert beurteilt werden, so dass die Entscheidung zugunsten **wirtschaftlicher, effektiver** und vor allem **denkmalverträglich optimierter** Eingriffe gefallen ist.

Die Windbeanspruchung erzeugt eine merkliche Durchbiegung der ca. 12,5 m hohen Längswände in horizontaler Richtung um 0,6 cm



Beitrag
Bayerischer
Denkmalpflegepreis
2020

Bauherr und Einreicher

Kath. Kirchenstiftung St. Ulrich Seeg
Hauptstraße 42
87637 Seeg

Pfarrer Wolfgang Schnabel

Verantwortliches Ingenieurbüro

DR. SCHÜTZ INGENIEURE
Beratende Ingenieure im Bauwesen PartG mbB
An der Stadtmauer 13
87435 Kempten

Dr.-Ing. Bernhard Mohr

Architekt

Architekturbüro
Dorothea Babel-Rampp
Stapferweg 17
87459 Pfronten

Restaurator

Thomas Salveter, Restaurator
Dr.-Herrmann-Straße 13
89429 Bachhagel
Johannes Amann, Restaurierungswerkstatt
St.-Wendelin-Straße 63A
89264 Weißenhorn