

Faseroptisches Monitoring von Ingenieurholzbauteilen

Fibre-optical monitoring of engineered timber components

Projektleiter

Project leader:

Jens Wiedemann

Projektbearbeiter

Person in charge:

Stefan Feuersenger,
Lars Blüthgen,
Simon Hanke

Fördermittelgeber

Co-funded by:

BMWK (ZIM)

Projektpartner

Project partners:

Advanced Optics Solutions
GmbH,
Auerbach & Hahn GmbH

AUSGANGSSITUATION UND ZIELSTELLUNG

Obwohl der Holzbau mit seiner leichten, trockenen sowie durch Vorfertigung schnellen Bauweise viele Vorteile besitzt, ein gutes Wohnraumklima bietet und aufgrund des nachhaltigen Rohstoffs ein hohes CO₂-Einsparpotential sowie einen geringen Primärenergiebedarf während der Errichtungsphase aufweist, dominiert im deutschen Bauwesen nach wie vor der deutlich ressourcenintensivere Mauerwerks-, Beton- und Stahlbau. Dies gilt vor allem im Hinblick auf die Errichtung größerer Objekte, insbesondere Gebäude der kommunalen oder sozialen Infrastruktur. Neben erhöhten baurechtlichen Auflagen (z. B. Brandschutz) hat dies vor allem mit Sicherheitsbedenken gegenüber dem Baustoff und der Tatsache zu tun, dass eine kontinuierliche Überwachung in der derzeitigen Holzbaupraxis nicht etabliert ist. Ziel des Vorhabens war daher die Entwicklung eines Monitoringsystems zur dauerhaften Überwachung der strukturellen Integrität von Holzbauteilen auf Basis faseroptischer Sensoren.

VORGEHENSWEISE

Für die im Projekt zu entwickelnde Sensorik wurden mittels Laser in eine Glasfaser eingeschriebene Faser-Bragg-Gitter (FBG) genutzt, die als Interferenzfilter fungieren und in Abhängigkeit ihrer Gitterperiode einen ganz bestimmten schmalbandigen Spektralbereich eingekoppelten Lichts reflektieren. Erfährt

INITIAL SITUATION AND OBJECTIVE

Although timber construction, with its light, dry and – thanks to prefabrication – fast construction method, has many advantages, offers a good living environment and, due to the sustainable raw material, has a high CO₂ savings potential as well as a low primary energy demand during the construction phase, the significantly more resource-intensive masonry, concrete and steel construction still dominates in the German building industry. This is especially true with a view to the construction of larger buildings, especially municipal or social infrastructure buildings. Apart from increased building law requirements (e.g., fire protection), this is mainly due to safety concerns about the building material and the fact that continuous monitoring is not established in current timber construction practice. The aim of the project was therefore to develop a monitoring system based on fibre-optical sensors for the permanent monitoring of the structural integrity of timber components.

APPROACH

For the sensor technology to be developed in the project, fibre Bragg gratings (FBGs) inscribed in a glass fibre by means of a laser were used, which act as interference filters and reflect a very specific narrow-band spectral range of coupled light depending on their grating period. If the fibre is subjected to a tensile load, the grating period of the FBG changes, which leads to a shift in the reflec-

die Faser eine Zugbelastung, so verändert sich die Gitterperiode des FBGs, was zu einer Verschiebung der Reflektionswellenlänge führt und mittels Spektrometer erfasst werden kann. Neben einer Vielzahl an Versuchen zur Sensorapplikation in Bauteilen, sowohl für den Neubau- als auch den Bestandsbereich, fanden umfangreiche Untersuchungen zur Korrelation zwischen Messsignal und Bauteilverhalten, zur Signalbewertung sowie zum Langzeitverhalten applizierter Sensoren statt. Hierfür wurden sensorisierte Holzbalken definierten mechanischen und klimatischen Belastungsszenarien sowie einer Freibewitterung unterzogen.

ERGEBNISSE

Als zu favorisierende Applikationsvariante erwies sich das Einbringen einer Rille bzw. Nut in die zu sensorierende Bauteiloberfläche oder Lamelle, in der die Sensorfaser an zwei Punkten jeweils rechts und links des eingeschriebenen FBGs kraftschlüssig fixiert wird. Auf diese Weise erfasst das Bragg-Gitter die zwischen beiden Fixpunkten integral vorliegende Dehnung, sodass für das Gesamtbauteil nicht-repräsentative, möglicherweise durch lokale Inhomogenitäten hervorgerufene Extremwerte herausgemittelt werden.

Da die Fasern nicht definiert auf Druck belastbar sind, müssen sie zwingend mit einer Vorspannung als Dehnungs- bzw. Messbereichsreserve appliziert werden. Dabei erwies sich insbesondere der Einsatz eines viskosen, potentiell auch kopfüber verwend-

tionswavelength and can be detected using a spectrometer. In addition to a large number of tests on the application of sensors in building components, both for new and existing buildings, extensive investigations were carried out on the correlation between the measurement signal and the component behaviour, on signal evaluation and on the long-term behaviour of applied sensor technology. For this purpose, sensorised wooden beams were subjected to defined mechanical and climatic load scenarios as well as outdoor weathering.

RESULTS

The application variant to be given preference turned out to be the insertion of a groove or slot in the component surface or lamella to be sensed, in which the sensor fibre is force-fitted at two points to the right and left of the inscribed FBG, respectively. In this way, the Bragg grating detects the strain integrally present between the two fixed points, so that non-representative extreme values, possibly caused by local inhomogeneities, are averaged out for the entire component.

As the fibres cannot be exposed to defined pressure, it is imperative that they are applied with a pre-tension as a reserve for stretching or measuring range. The use of a viscous UV epoxy resin adhesive, which could potentially also be used upside down, proved to be particularly advantageous. After only a few minutes of irradiation with an inexpensive UV LED torch (365 nm wave-

baren UV-Epoxidharzklebstoffs als günstig. Mit diesem konnte bereits nach wenigen Minuten Bestrahlungsdauer mit einer kostengünstig bezieharen UV-LED-Taschenlampe (365 nm Wellenlänge, 1,5 W Leistung) eine Festigkeit des Klebpunkts erzielt werden, die ausreichend hoch ist, um die für die Sensorapplikation nötige Faservorspannung halten zu können.

Es wurde eine sehr gute Korrelation zwischen der gemessenen Wellenlängenverschiebung des FBGs und der in Biegeversuchen aufgebrauchten Kraft sowie der Durchbiegung der sensorierten Testbalken beobachtet. Wiederholte Messungen innerhalb des elastischen Bereichs wiesen zudem eine gute Reproduzierbarkeit auf. Die in Langzeitmessungen detektierten Änderungen der Faserdehnung von unter verschiedenen Klimaten sowie witterungsgeschützt im Freien gelagerten Balken erstreckten sich über einen Gesamtmessbereich von etwa 500 μStrain (0,05 % Dehnung). Schwankungen innerhalb von 24 Stunden lagen für Innenräume unter 50 μStrain und im Freien meist in der Größenordnung von 100 μStrain , bei extremen Wetteränderungen bis maximal knapp 200 μStrain (Abb. 1). Demgegenüber wurden zum Ende des Untersuchungszeitraumes bei bis zum Bruch belasteten Balken Änderungen der Faserdehnung von über 4000 μStrain (0,4 % Dehnung) gemessen. Somit wird deutlich, dass sowohl über den Betrag als auch die Geschwindigkeit der Dehnungsänderung gut zwischen kritischen und unproblematischen Ereignissen differenziert werden kann.

length, 1.5 W power), the bond point was sufficiently strong to maintain the fibre pre-tension required for the sensor application. Very good correlation was observed between the measured wavelength shift of the FBG and the force applied in bending tests as well as the deflection of the sensorised test beams. Repeated measurements within the elastic range also showed good reproducibility. The changes in fibre elongation detected in long-term measurements of beams stored outdoors under different climates as well as protected from the weather extended over a total measurement range of about 500 μStrain (0.05 % elongation). Fluctuations within 24 hours were below 50 μStrain for indoors and mostly in the order of 100 μStrain outdoors, with extreme weather changes up to a maximum of just under 200 μStrain (Fig. 1). In contrast, changes in fibre elongation of over 4,000 μStrain (0.4 % elongation) were measured at the end of the study period for beams loaded to rupture. This clearly shows that both the amount and the speed of the strain change can be used to differentiate well between critical and unproblematic events.

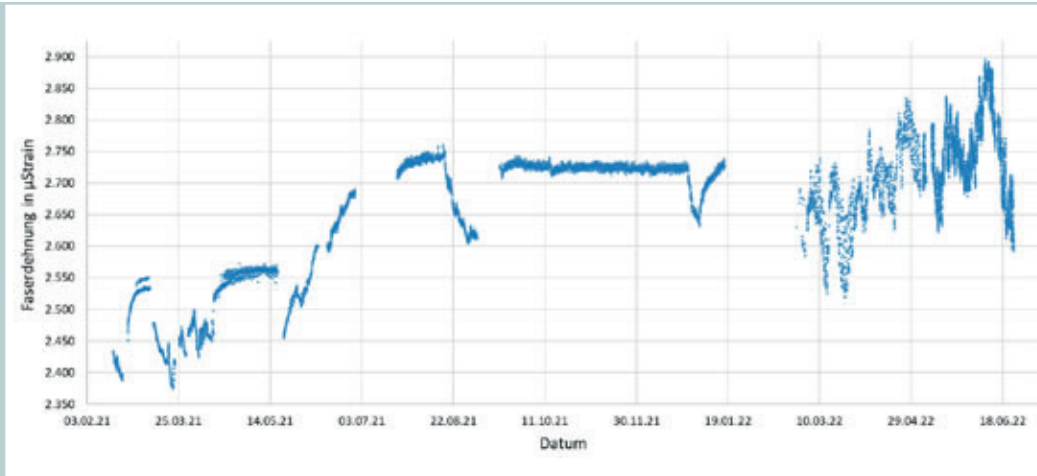


Abb. 1: Langzeitmessung der Faserdehnung eines sensorisierten Testbalkens

Fig. 1: Long-term measurement of the fibre elongation of a sensorised test beam

FAZIT

Die prinzipielle Anwendbarkeit von faser-optischer Sensorik zum Monitoring von Ingenieurholzbauten wurde nachgewiesen. Sowohl Sensorik, Auswertetechnik als auch geeignete Applikationsverfahren liegen vor. Die Untersuchungen zeigten, dass durch klimatische Einflüsse hervorgerufene Zustandsänderungen von tatsächlich kritischen Ereignissen gut im Messsignal unterschieden werden können. Die bisher im Labormaßstab beobachtete Langzeitfunktionalität applizierter Sensorik ist in weiteren Versuchen sowie vor allem im baupraktischen Einsatz weiter zu untersuchen.

CONCLUSION

The principal applicability of fibre-optical sensor technology for monitoring timber engineering structures has been demonstrated. Sensor technology, evaluation technology and suitable application methods are available. The investigations showed that changes in conditions caused by climatic influences can be sensed well against actual critical events in the measurement signal. The long-term functionality of applied sensors observed so far on a laboratory scale must be further investigated in continuing testing and, above all, in practical building applications.