

Standsicherheit von Fassaden:

Zerstörungsfrei prüfen

In Berlin hat die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) Fassadenplatten aus Marmor per Ultraschall-Laufzeitmessung untersucht. Dieses Verfahren eignet sich zur zerstörungsfreien Kontrolle der Standsicherheit.

Es gibt viele Gründe dafür, warum sich Marmorplatten an Fassaden im Lauf der Zeit verformen und verwölben können. Hygrische und thermische Vorgänge tragen zur Krümmung bei. Einseitige Wärmeeffekte, Schwerkraft, Druckbelastung und die Art der Befestigung sind nur einige Ursachen, die zu Verformungen führen. Bei routinemäßigen Untersuchungen an der Fassade eines mehrgeschossigen Berliner Wohn- und Geschäftshauses fielen mehr oder weniger starke Verwölbungen einer Vielzahl von Marmorplatten auf, die etwa 15 Jahre der

Witterung und den üblichen Umweltbelastungen ausgesetzt waren. Um Aufschluss über den Zustand, die Festigkeit und die Standsicherheit der Fassadenplatten zu erhalten, sollte deren Biegezugfestigkeit überprüft werden. Man entschied sich für eine Ultraschall-Laufzeitmessung, die eine zerstörungsfreie Untersuchung beliebig vieler Platten ermöglicht. Kombiniert wurde das Verfahren durch einige zusätzliche »zerstörende« Biegezugprüfungen.

Verfahren und Voruntersuchungen

Die Ultraschall-Laufzeitmessung wird als Methode zur Untersuchung der Eigenschaften und des Gefüges mineralischer Baustoffe eingesetzt. Im vorliegenden Fall wurden ein Schallsender und ein -empfänger auf der Oberfläche der Marmorplatten angekoppelt. Ultraschallimpulse (im nicht hörbaren Frequenzbereich) wurden anschließend vom Sender in die Platte eingeleitet, durchliefen das Material um dann vom Empfänger wieder aufgenommen zu werden. Das zugehörige Messgerät ermittelte die Laufzeit, die die Schallimpulse für die Laufstrecke zwischen Sender und Empfänger brauchten. Die daraus zu berechnende Schallgeschwindigkeit ist der Kennwert, mit dem einige Materialeigenschaften und deren Veränderung beschrieben werden können. Die zu untersuchende Fassade bestand insgesamt aus mehr als 5 000 Platten. Zunächst wurden an 64 Platten erste Messungen am Bauwerk durchgeführt.

Dabei konnten Platten mit kleiner, mittlerer und großer Ultraschallgeschwindigkeit ermittelt werden. Sechs Platten, deren Schallgeschwindigkeiten über die ganze Bandbreite verteilt waren, wurden demontiert und zur BAM gebracht.

Laboruntersuchungen

Im Labor wurde die Laufzeit in den Plattenbereichen »oben«, »mitte«, »unten« und »senkrecht« (bezogen auf die ursprüngliche Lage der Platte am Bauwerk) ermittelt und die dazugehörige Ultraschallgeschwindigkeit als Mittelwert aus jeweils vier Messungen berechnet. Nach der anschließenden zerstörenden Prüfung der Biegefestigkeit der Platten standen insgesamt sechs Wertepaare für eine statistische Auswertung in Form einer linearen Regressionsanalyse zur Verfügung.

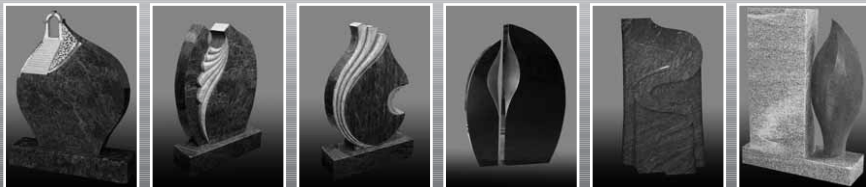
Die berechnete mathematische Gleichung (Grafik 1) diente zur Abschätzung der Biegefestigkeit weiterer am Bauwerk ausschließlich zerstörungsfrei untersuchter Marmorplatten. Auf diese Weise sollte unter Berücksichtigung des Zustands der vielen Einzelplatten eine Aussage zur Standsicherheit der Fassadenbekleidung getroffen werden. Ein weiteres Ziel der umfangreichen Laborprüfungen war die Optimierung des Verfahrens im Hinblick auf die Anwendung am Bauwerk.

Mit Hilfe der berechneten Gleichung konnte die zu erwartende Biegefestigkeit jeder am Bauwerk befindlichen Marmorplatte mit ausschließlich zerstörungsfrei durchgeführten Ultraschallprüfungen abgeschätzt werden. Dazu wurden aus der mindest erforderlichen Ultraschallgeschwindigkeit Grenzwerte festgelegt, die nicht unterschritten werden durften, um die



Ausgelagerte Platten in einem Versuchsstand auf dem Dach eines Bürogebäudes der BAM

Seit mehr als 15 Jahren sind wir mit dem Import indischer Fertigware vertraut. Innerhalb kürzester Lieferzeiten bieten wir Ihnen die aktuell beste Qualität von kundenspezifischen und ausgefallenen Grabmalen!



unterschiedlichen Biegebeanspruchungen verschieden großer Platten bei gleichem Sicherheitsfaktor gewährleisten zu können.

Auslagerung von Marmorplatten

Um das weitere Verhalten der Marmorplatten am Bauwerk in größeren Zeiträumen verfolgen zu können, wurden 1994 insgesamt sechs Platten, die vorbeugend aus dem Bereich des Publikumsverkehrs entfernt worden waren, in einen Versuchsstand auf dem Dach eines Bürogebäudes der BAM eingebaut. Die Lage des Stands entsprach bei einer Entfernung von rund 2 km vom Bauwerk bzgl. der Merkmale Auflager, Himmelsrichtung und Höhe über dem Straßenniveau weitgehend denen des Bauwerks; damit kann von zumindest ähnlichen Beanspruchungen ausgegangen werden.

Anschließend wurden wiederkehrend in ungleichmäßigen Zeitabständen sowohl die Verwölbung als auch die Ultraschallgeschwindigkeit jeder einzelnen Platte gemessen.

2006, am Ende der Auslagerung, zeigten fünf von sechs Platten eine Zunahme der Verwölbung (Grafik 2) bis zum 3,4-fachen des anfänglichen Stichmaßes beim Einbau in den Versuchsstand.

Weiterer Vergleich von Prismen

Neben der Verwölbung war bei der Frage nach der verbliebenen Standsicherheit der Fassade die mögliche Änderung der mechanischen Kennwerte von Interesse. Ein direkter Vergleich der Biegezugfestigkeiten war nicht möglich, da die Proben durch die Prüfung zerstört worden waren. Ein Vergleich der an ganzen Platten ermittelten Schallgeschwindigkeiten (Grafik 3) deutete jedoch darauf hin, dass innerhalb des vergangenen Jahrzehnts eine Verringerung der Biegezugfestigkeit stattgefunden hat.

Um diese Hinweise abzusichern, sollte ein weiterer Vergleich von aus den Platten herausgeschnittenen Prismen herangezogen werden. Aus den bis 2006

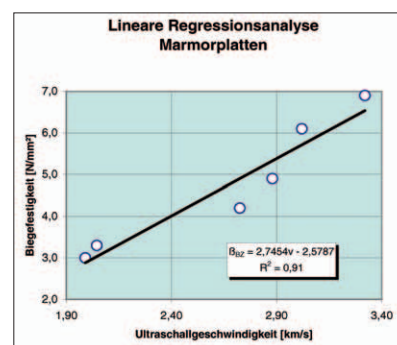
ausgelagerten Platten wurden je drei Prismen herausgesägt, deren Ultraschallgeschwindigkeit bestimmt und wiederum die Biegezugfestigkeit der Prismen geprüft. Beim Vergleich mit bereits 1987 geprüften Prismen zeigte sich auch hier, dass mit Hilfe einer mathematischen Gleichung die Biegezugfestigkeit durch die Schallgeschwindigkeit gut zu berechnen ist. Bei der Trennung in zwei zeitlich separierte Gruppen zeigte sich, dass nach neunzehn Jahren die Biegezugfestigkeit stark nachgelassen hat und dies durch die ebenso verringerten Ultraschallgeschwindigkeiten erkennbar ist.

Zusammenfassung

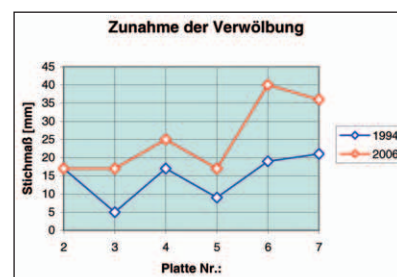
Mit Hilfe der zerstörungsfreien Ultraschall-Laufzeitmessung, kombiniert mit wenigen zerstörenden Biegezugprüfungen, konnten die Festigkeit von Marmor-Fassadenplatten beschrieben und eine Aussage zur Standsicherheit der untersuchten Fassade getroffen werden.

Nach dem Austausch aller Platten, die für den Lastfall Windsog eine nicht ausreichende Festigkeit aufwiesen, stellte sich die Frage, ob sich die verbliebenen Platten bei weiterer Exposition am Bauwerk zunehmend verwölben und / oder ob sich deren Biegezugfestigkeit messbar verringert. Wiederkehrende Krümmungsmessungen und Ultraschallprüfungen an ausgelagerten Platten in einem Freibewitterungsstand ließen den Verlauf weiterer Veränderungen erkennen; es ließ sich der Zeitpunkt feststellen, zu dem der Grenzwert der Ultraschallgeschwindigkeit erreicht war, bei der die mindest erforderliche Biegezugfestigkeit unterschritten und somit die Standfestigkeit der entsprechenden Platte nicht mehr gewährleistet werden konnte.

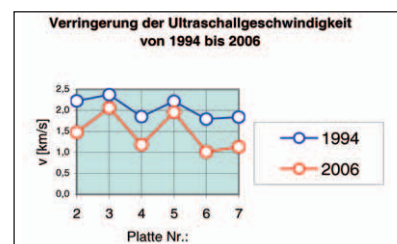
Basierend auf diesen Ergebnissen sollten in festzulegenden Zeitabständen sowohl auffällige Platten als auch Stichproben zerstörungsfrei am Bauwerk untersucht werden, um schlechte Platten zu finden und ggf. auszutauschen.



Grafik 1: Zusammenhang zwischen Ultraschallgeschwindigkeit und Biegezugfestigkeit



Grafik 2: Zunahme der Verwölbung zwischen 1994 und 2006



Grafik 3: Abnahme der Ultraschallgeschwindigkeiten im Untersuchungszeitraum

Die in der Zwischenzeit vom Hausbesitzer getroffene Entscheidung ausnahmslos alle Marmorplatten durch Aluminiumplatten zu ersetzen, kam weiteren Auflagen der Baubehörden und wiederkehrenden Nachuntersuchungen zuvor.

Eine ausführliche Version des Beitrags mit Literaturangaben und weiteren Grafiken finden Sie unter natursteinonline.de

Günter Mellmann



ENV-ENA GmbH & Co. KG
Natursteine und Dienstleistungen
Dechant-Deckers-Str. 11 · 52249 Eschweiler
Tel. 00 49 24 03 / 8 76 80 · Fax 00 49 24 03 / 87 68 44