

Zerstörungsfreie Messung des Stahlfasergehaltes und der Stahlfaserorientierung im Beton

Non-destructive measurement of steel fiber dosage and fiber orientation in concrete

Wichmann, H.-J.; Holst, A.; Budelmann, H.

Abstract

During the last years, a new method to determine both the steel fiber dosage and steel fiber orientation has been developed at the iBMB at the TU Braunschweig. In cooperation with an industrial partner a market-ready measurement system has been produced.

The new method makes use of the magnetic induction of ferromagnetic materials. By means of a cube shaped sensor consisting of two coils samples of fresh and of hardened concrete as well as drilling core samples from existing structures can be analysed. Fresh concrete is put into a cubic container for examination. Drilling core samples taken from structures can be examined directly. In the contribution the measurement principle and sensor design as well as the experience of first on site-applications will be discussed.

1. Einleitung

Die zunehmende Verwendung von stahlfaserbewehrten Bauteilen macht die Überwachung des Stahlfasergehaltes bei der Erstellung und der Schadensbeurteilung von Bauwerken notwendig. Bisher ließ sich der Stahlfasergehalt an Frisch- und Festbetonproben nur durch relativ aufwendige Verfahren (Auswaschen der Fasern oder Zerstörung der Probe, Auslösen mit Handmagnet, Wiegen) bestimmen.

Im iBMB der TU Braunschweig wurde zur Bestimmung des Stahlfasergehaltes im Beton ein alternatives Verfahren entwickelt, das die magnetische Induktion ferromagnetischer Materialien ausnutzt. Dieses Messverfahren wurde von der Hertz Systemtechnik Delmenhorst im Stahlfasermessgerät BSM100 zur Einsatzreife gebracht, /1/. Es erlaubt die Bestimmung des Gehaltes und der Orientierung von Stahlfasern im Frischbeton sowie in Betonwürfeln und Bohrkernen. Die Untersuchungszeit der Probe beträgt hierbei nur ca. 1-2 Minuten, wodurch eine zeitnahe Untersuchung größerer Probenmengen oder eine produktionsbegleitende Untersuchung auf der Baustelle ermöglicht wird.

Die Messung des Stahlfasergehaltes in Frisch- oder Festbeton erfolgt dabei wie folgt:

- Einstellung des Stahlfasertypen (herstellerabhängig)
- Leermessung zur Kalibrierung
- Messungen in x-, y- und z-Achse
- Ergebnis in kg/m^3 mit der prozentualen Ausrichtungsverteilung in x-, y- und z-Achse.



Abb. 1: Entwickeltes Messgerät BSM100 zur zerstörungsfreien Bestimmung des Gehaltes und der Orientierung von Stahlfasern in Frisch- und Festbeton; Quelle: www.hertz.st

2. Messprinzip und Grundlagen der induktiven Stahlfasermessungen

Das Messprinzip zur Messung der Induktionsspannung ist in Abb. 2 dargestellt. Hierbei dient eine Spule zur Erregung des magnetischen Feldes und eine zweite Spule zur Aufnahme der Induktionsspannung U_i , /2/. Beide Spulen umschließen eine Betonprobe, welche aufgrund der enthaltenen Stahlfasern die Funktion eines Spulenkerns übernimmt. Ein sinusförmiger Wechselstrom i_{err} wird vom Generator G in die Erregerspule eingespeist und die in der Induktionsspule induzierte Spannung U_i gemessen.

Aufgrund der Tatsache, dass nur ferromagnetische Materialien (Eisen, Kobalt und Nickel) ein Permeabilität $\mu_r \gg 1$ aufweisen, der Stahlfaserbeton jedoch bis auf die Stahl-

fasern keine ferromagnetische Materialien enthält, haben alle anderen Materialien nur geringen Einfluss auf die magnetische Permeabilität $\mu_{r,ges}$ der Betonprobe.

Da zudem die Amplitude und Frequenz des Wechselstroms i_{err} durch die Induktionsspule mittels einer Regelung konstant gehalten wird und die durchsetzte Fläche A_{Beton} , die von der Spule umschlossen wird, stets gleich ist, wird die Höhe der Induktionsspannung U_i nur durch die vom Stahlfasertyp bestimmten Permeabilitätszahl μ_r sowie durch den Stahlfasergehalt bestimmt.

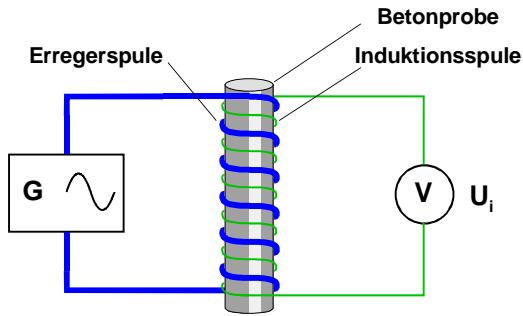


Abb. 2: Messprinzip zur Fasergehaltsmessung im Beton

3. Spulensensor zur Messung magnetischer Kenngrößen

Für die Untersuchung von Frisch- und Festbetonproben hat sich der Sensor in Würfelform (siehe Abb. 3a) bewährt. Die Messungen werden wie folgt durchgeführt:

Zu Beginn einer Messung ist das Messgerät auf den Sensor abzugleichen. Hierzu ist mit dem leeren Sensor eine Messung durchzuführen. Anschließend wird der Frischbeton in einen Probenbehälter aus Kunststoff mit der Kantenlänge von 15 cm eingefüllt (Abb. 3b) über diese Form (oder über die Würfelform aus Festbeton, Abb. 3c) wird dann der eigentliche Sensor gestülpt und die Messung durchgeführt.



Abb. 3: a) Spulensensor, b) Frischbetonbehälter und c) Festbetonmessung mit Sensor, Wendeschablone und Betonprüfkörper; Quelle: www.hertz.st

Diese Messung wird für alle drei Raumrichtungen wiederholt und die Messergebnisse werden gemittelt. Vom Mittelwert wird dann das Ergebnis der Leermessung subtrahiert. Der prozentuale Anteil der drei Einzelmessungen zeigt zudem die Orientierung der Fasern in der Probe an. Je höher der prozentuale Anteil der Einzelmessung am Mittelwert, desto mehr Fasern sind hauptsächlich in der entsprechenden Messrichtung orientiert.

4. Bestimmung des Stahlfasergehalts

Wie der Vergleich der Messwerte in Abb. 4 mit der linearen Trendlinie zeigt, ergibt sich für alle unterschiedlichen Stahlfasertypen eine nahezu lineare Abhängigkeit des Mittelwertes der Induktionsspannung U_i von dem Stahlfasergehalt der Betonproben.

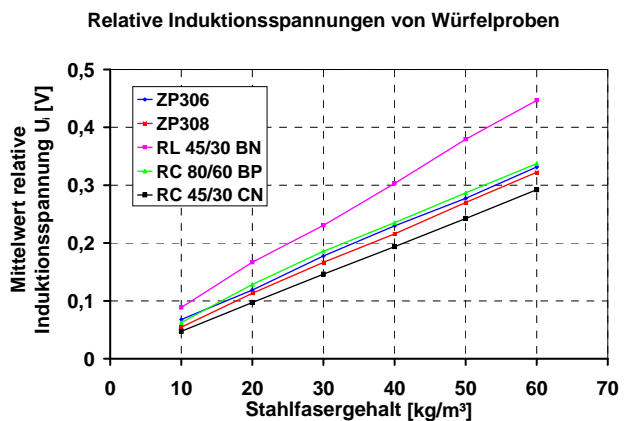


Abb. 4: Stahlfasergehaltsmessung: Kalibrierkurven an Betonwürfeln für fünf unterschiedliche Fasertypen als Mittelwerte der Messungen in allen drei Raumrichtungen

Aufgrund der unterschiedlichen Legierungen der verschiedenen, am Markt erhältlichen Stahlfasertypen ist für die exakte Bestimmung des Stahlfasergehaltes eine Vorabkalibrierung an Kalibrierproben mit Stahlfasern identischen Typs notwendig.

Bei der Untersuchung der Prüflinge kann dann durch Vergleich der gemessenen Induktionsspannung mit dem bei der Kalibrierung ermittelten Werten der Stahlfasergehalt bestimmt werden.

5. Stahlfaserorientierung

Jede Stahlfaser kann als magnetisierbarer Stab mit einer magnetischen Vorzugsrichtung betrachtet werden. Die Induktionsspannung in der Induktionsspule ist dann maximal, wenn alle Stahlfasern entlang der Feldlinien ausgerichtet sind. Liegen die Stahlfasern quer zur Feldrichtung, ist der Einfluss der Fasern auf das Magnetfeld minimal.

Durch Messung der Induktionsspannung U_i in den drei Raumrichtungen kann demzufolge auf die mittlere Faserorientierung getroffen werden. Ist die Induktion in einer der Raumrichtungen größer, so sind anteilig mehr Fasern in diese Richtung orientiert als in den beiden anderen Raumrichtungen. Die Abb. 5 zeigt die Abhängigkeit der Induktionsspannung U_i vom Winkel zwischen den Stahlfasern und dem magn. Wechselfeld für zwei verschiedene Stahlfasertypen

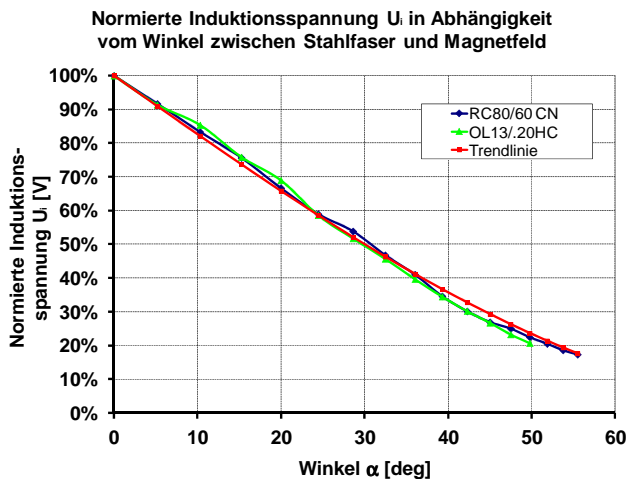


Abb. 5: Abhängigkeit der Stahlfaserorientierung vom Bezugswinkel für zwei Stahlfasertypen mit Trendlinie

Bei beiden Fasertypen wird mit zunehmendem Winkel zwischen Stahlfasern und Magnetfeld die Induktionsspannung kleiner. Die Winkelabhängigkeit ermöglicht es, die mittlere Faserorientierung in Bauteilen und Bauwerken an ausgewählten Proben zu ermitteln. Hierzu müssen aus dem Bauteil bzw. Bauwerk entsprechende Proben mit einer Kantenlänge von max. 15 cm entnommen werden, [3], [4].

6. Erweiterungen des Messsystems für Bohrkern

Für die Untersuchung des Fasergehaltes an zylindrischen Bohrkernen wird ebenfalls ein würfelförmiger Sensor verwendet. Die Probe wird dann, äquivalent zum Würfel, von allen Seiten gemessen. Die Messergebnisse werden im Messgerät mit einem Anpassfaktor unterschiedlich gewichtet, [3]. Ist der Bohrkern länger als 15 cm, so muss dieser für die Untersuchung auf eine Länge von 15 cm gekürzt werden. Bei kürzeren Bohrkernen wird die Bohrkernlänge im Messgerät eingegeben und im Messergebnis berücksichtigt.

Die Messwerte können per Schnittstelle direkt auf den PC übertragen oder zuerst im Messgerät gespeichert und später gesammelt vom PC abgerufen werden. Der ge-

speicherte Datensatz jeder Messung besteht aus den Ergebnissen der Einzelmessungen, dem Mittelwert, Datum, Uhrzeit, Fasertyp und einer eindeutigen Probenkennung.

7. Zusammenfassung

Bei der Erstellung von Bauwerken aus Stahlfaserbeton war die Bestimmung des Stahlfasergehaltes mittels Auswaschversuch bisher so zeitaufwändig, dass nur stichpunktartig einzelne Proben genommen werden konnten, um den zeitlichen Ablauf der Betonage nicht zu behindern. Mit dem BSM100 ist jetzt erstmalig möglich, den Stahlfasergehalt des Inhalts jedes Mischfahrzeuges zeitgleich während der Betonage zu bestimmen. Hierdurch wird erstmals lückenlose und umfassende Überwachung der Baumaßnahme möglich.

Da mit dem BSM100 auch Bohrkernproben untersucht werden können, erhält der Anwender zudem die Möglichkeit, im Rahmen der nachträglichen Untersuchung oder bei der Schadensbeurteilung an geschädigten Bauwerken und Bauteilen den Fasergehalt und die Faserorientierung der Bohrkernproben zu bestimmen. Die zeit- und kostenaufwändige Zerstörung der Probe zur Bestimmung des Fasergehaltes oder die mit noch mehr Aufwand verbundene Röntgenuntersuchung zur Bestimmung der Faserorientierung sind nicht mehr notwendig.

8. Literaturverzeichnis

- /1/ Website:
<http://www.hertznet.de/de/products/measurement/bsm100>
- /2/ Budelmann, H.; Holst, A.; Wichmann, H.-J.: Magnetoelastische Spannkraftmessung in Bauwerken, Beton- und Stahlbetonbau (104) 2009, H.6, S. 330-339
- /3/ Wichmann, H.-J.: Bestimmung des Fasergehaltes und der Faserorientierung im Stahlfaserbeton, Betonbodenfachtag 2009, Braunschweig, Betonmarketing Nord
- /4/ Wichmann, H.-J.; Budelmann, H.; Holst, A.: Determination of Steel Fiber Dosage and Orientation in Concrete, In: Proc. of the 13th International Congress and Exhibition Structural Faults + Repair – 2010, 15th – 17th June 2010, Edinburgh