

Bestimmung der Betondeckung der Bewehrung am Bauwerk

Von Thilo Deichsel, Stuttgart, und Jürgen Krell, Düsseldorf

Übersicht

Die Betondeckung der Bewehrung hat zwei wesentliche Aufgaben. Erstens muß sie einen ausreichenden Verbund zwischen Stahl und Beton herstellen und zweitens den Bewehrungsstahl dauerhaft vor Korrosion schützen. Hierfür werden in DIN 1045 Mindestmaße der Überdeckung vorgeschrieben, die an keiner Stelle im Bauteil unterschritten werden dürfen.

Zur nachträglichen Kontrolle der richtigen Bewehrungslage im Bauteil werden unterschiedliche Bewehrungssuch- bzw. Bewehrungstiefenmeßgeräte angeboten. An Probekörpern mit bekannter Bewehrungslage wurde mit 6 praxisüblichen Geräten untersucht, ob und wie genau sich die Dicke der Betondeckung bestimmen läßt. Alle Geräte erlaubten eine qualitativ zuverlässige Aussage über ein deutliches Unterschreiten der Mindestdeckung. Mit aufwendigeren Verfahren konnte die Betondeckung auch bei unbekannter Bewehrung mit einer Genauigkeit von ± 4 mm ermittelt werden.

1. Einleitung

Der Verbundbaustoff Stahlbeton eignet sich aufgrund seiner technischen und wirtschaftlichen Eigenschaften sowie seiner nahezu grenzenlosen Formgebung in besonderem Maße für die unterschiedlichsten Bauaufgaben. Dabei werden innerhalb der Konstruktion dem Stahl meist die Aufnahme der Zugbeanspruchungen und dem Beton neben der Aufnahme der Druckbeanspruchungen noch zahlreiche andere Aufgaben zugewiesen, wie z. B. Raumabschluß, Wärmeschutz, Brandschutz usw. Die dafür notwendigen Eigenschaften des Betons lassen sich durch entsprechende Zusammensetzung in weiten Grenzen einstellen.

Während sachgerecht hergestellter Beton bei den üblichen trockenen oder feuchten Umgebungsbedingungen korrosionsfest ist und daher viele Jahrzehnte ohne weitere Maßnahmen überdauert, muß der Bewehrungsstahl vor Korrosion geschützt werden. Durch die hohe Alkalität des Porenwassers im Beton bildet sich auf dem Stahl eine sogenannte Passivschicht, die den Stahl so lange vor Korrosion schützt, wie ein alkalisches Milieu erhalten bleibt. Mit der Zeit von außen in den Beton eindiffundierende Stoffe können die Alkali-

tät senken oder die Passivschicht schädigen, so daß dann Korrosion der Stahlbewehrung eintreten kann. Um das zu verhindern, muß der Bewehrungsstahl von einer ausreichend dichten und ausreichend dicken Betonschicht überdeckt sein, der sogenannten Betondeckung. Die Stahlbetonnorm DIN 1045 enthält daher in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen und der Betonqualität Mindestmaße der Betondeckung, die im Bauteil an keiner Stelle unterschritten werden dürfen. Wird die Qualität des Betons infolge mangelnder Zusammensetzung, Verarbeitung oder Nachbehandlung nicht erreicht oder wird die Mindestbetondeckung unterschritten, so kann der Bewehrungsstahl korrodieren, was zu unschönen Rostfahnen an den Betonoberflächen, zu Abplatzungen der überdeckenden Betonschicht und in seltenen Fällen sogar zur Gefährdung der Standsicherheit führen kann.

In der Vergangenheit sind Fälle von zu geringer Betondeckung des öfteren aufgetreten, deren Instandsetzung zum Teil sehr kostenintensiv war. Durch die Einführung von Nennmaßen für die Betondeckung, die Vorhaltemaße von 5 bis 10 mm gegenüber den erforderlichen Mindestmaßen aufweisen [1], wurde auf dem Wege der Vorschrift versucht, unabdingbare Herstelltoleranzen zu berücksichtigen. Der Deutsche Ausschuß für Stahlbeton hat sich gleichzeitig dafür ausgesprochen, die Einhaltung der Betondeckung durch geeignete Maßnahmen insbesondere vor dem Betonieren, jedoch erforderlichenfalls auch nachträglich zu prüfen, um so die Dauerhaftigkeit sicherzustellen oder um bei Feststellung von Minderdeckungen die Dauerhaftigkeit der Konstruktion durch geeignete Zusatzmaßnahmen erreichen zu können.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die auf dem Markt am weitesten verbreiteten Bewehrungssuch- bzw. Bewehrungstiefenmeßgeräte hinsichtlich ihrer Handhabung und Genauigkeit zu untersuchen. Dabei wurde zuerst deren Leistungsfähigkeit an Einzelstäben und danach deren praktische Bewährung an einer bauwerksüblichen Bewehrung untersucht.

2. Geräte und Meßprinzipien

Für die einfache Bestimmung der Lage der Bewehrung werden auf dem Markt vor allem unterschiedliche magnetische Geräte angeboten, die in Abschnitt 3 im einzelnen erörtert werden. In besonderen Fällen sind außerdem thermografische Verfahren [2] oder röntgenografische Geräte [3] verwendet worden. Diese Verfahren sind jedoch für eine schnelle Routinekontrolle zu aufwendig und sollen daher hier nicht erörtert werden.

Alle magnetischen Verfahren basieren auf der Messung der Bündelung des erzeugten Magnetfeldes durch die Nähe des Bewehrungsstahls. Der Meßwert wird dabei von der Permeabilität (magnetische Eigenschaft) des Stahls, der Form, dem Durchmesser und dem Abstand zum Meßknopf bestimmt [3]. Die Geräte mit Permanentmagnet (Dauermagnet) liefern keinen numerischen Meßwert; hierbei wird die Lage der Bewehrung anhand der spürbaren Haftkraft abgeschätzt.

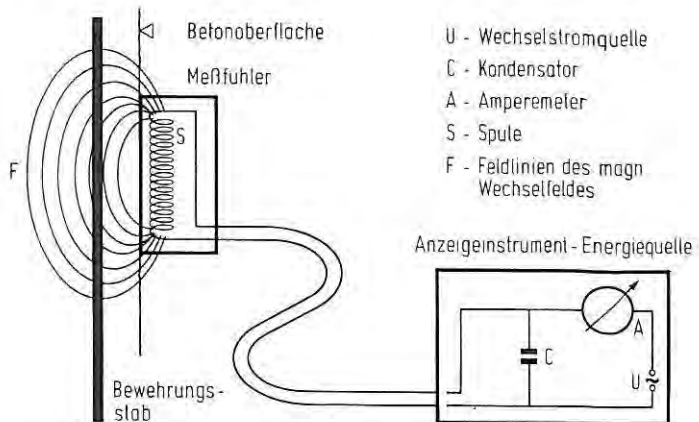


Bild 1 Prinzipielle Funktion elektromagnetischer Bewehrungssuchgeräte

Bei den elektromagnetischen Geräten wird mit einem elektrischen Schwingkreis ein gerichtetes magnetisches Wechselfeld im Meßfühler erzeugt (Bild 1). Gelangt ein ferromagnetischer Gegenstand — hier ein Bewehrungsstab — in den Wirkungskreis dieses Magnetfeldes, werden im Bewehrungsstab Wirbelströme induziert. Der dadurch hervorgerufene „Energieabfluß“ aus dem Meßfühler wird gemessen. Nach entsprechender Kalibrierung (durch den Gerätehersteller) mit Bewehrungsstäben und bekannten Abständen zum Meßfühler kann die Betondeckung bestimmt werden.

Aus diesen allgemeinen physikalischen Grundsätzen ist zu erkennen, daß bei Bewehrungskreuzungen a priori durch die beiden Bewehrungsstähle das Magnetfeld deutlich stärker gebündelt wird und somit die vorhandene Überdeckung unterschätzt wird. Gleichermäßen ist zu erkennen, daß mit einer Einzelmessung nicht zu unterscheiden ist, ob es sich um einen dünnen Stahl mit geringer Überdeckung oder einen dicken Stahl mit größerer Überdeckung handelt.

3. Eigene Untersuchungen

3.1 Geräte

3.1.1 Ferromagnetische Geräte

Gerät A: Flacher Permanentmagnet mit einem Durchmesser von ca. 5 cm, einer Dicke von ca. 1 cm und einem Gewicht von ca. 85 g (z. B. von einer Magnettafel).

Gerät B: Starker Permanentmagnet in einem Kunststoffgehäuse, dessen Abstand zur Betonoberfläche durch eine Hubspindel variiert werden kann; Durchmesser ca. 6 cm, Höhe ca. 11 cm, Gewicht ca. 500 g (beigefügt Aluminiumeichklotz mit einem Stahldurchmesser 15 mm und Überdeckungen von 5, 10, 15 und 20 mm).

Tafel 1 Kenndaten der elektromagnetischen Bewehrungstiefenmeßgeräte (Herstellerangaben)

Gerät	Skala	Überdeckung ablesbar für Durchmesser in mm	Meßbereich der Überdeckung in mm	Zubehör zusätzlich zu Koffer und Betriebsanleitung
D	0 bis 100	12	15 bis 80	Nomogramm für Überdeckung von $\varnothing \pm 12$ mm
E	0 bis 100	Universalskala für 8 bis 32	Bereich I: 0 bis 40 Bereich II: 40 bis 100	Nomogramme für Bestimmung der Dicke unbekannter Bewehrung
F	0 bis 100	wählbar 8 bis 35	Punktsonde: 10 bis 60 Tiefenonde: 20 bis 120 (mit Distanzstück: 0 bis 40)	Nomogramm wie E 2 Sonden Distanzstück

3.1.2 Elektromagnetische Geräte

Gerät C: Einfaches „Leitungssuchgerät“ aus dem Hobbymarktbereich mit einer Zeigerskala von 1 bis 6 Skalenteilen. Das Gerät dient zum Auffinden von Elektroleitungen und Metallgegenständen in Wänden.

Geräte D, E und F: Bewehrungssuchgeräte mit Vorrichtung zur einfachen Überdeckungsbestimmung. Das Meßprinzip ist in Bild 1 dargestellt. Die Kenndaten der Geräte sind in Tafel 1 zusammengestellt.

3.2 Umfang der Untersuchungen

3.2.1 Gerätevergleich durch Messungen am Einzelstab mit bekanntem Durchmesser

Die Leistungsfähigkeit der 6 Geräte wurde zunächst anhand eines im Labor hergestellten Betonprobekörpers mit eingelegten Einzelstäben BSt 420 S der Durchmesser 8 und 12 mm ermittelt (Bild 2), deren Überdeckung von 5 bis 35 mm sorgfältig einjustiert war. Der Abstand der Einzelstäbe untereinander betrug rd. 8 cm. Tafel 2 gibt an, welche Kombinationen (Durchmesser und Überdeckung) mit allen Meßgeräten geprüft wurden.

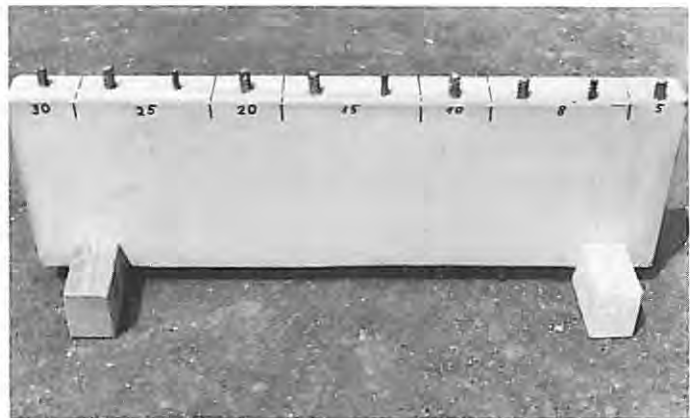


Bild 2 Prüfbalken für die Einzelstabmessung

Tafel 2 Prüfumfang für die Einzelstabmessung am Prüfbalken nach Bild 2

Durchmesser der Bewehrung in mm	Überdeckung in mm						
	5	8	10	15	20	25	30
8	nb	X	nb	X	nb	X	nb
12	X	X	X	X	X	X	X

nb = nicht bestimmt

3.2.2 Bestimmung der Betondeckung bei unbekanntem Durchmesser

Bei unbekanntem Stabdurchmesser konnte die Dicke der Betondeckung nur mit elektromagnetischen Bewehrungssuchgeräten nach Abschnitt 3.1.2 geprüft werden. Bei den Messungen am Einzelstab mit bekanntem Durchmesser hatten sich die drei untersuchten Geräte D, E und F als etwa gleichermaßen aussagekräftig erwiesen. Für die weiteren, zum Teil sehr aufwendigen Messungen wurde daher nur das hinsichtlich Bedienungskomfort und Preis mittlere Gerät dieser Gruppe (Gerät E) eingehender geprüft. Die Durchmesserbestimmung wurde dabei für Einzelstäbe mit Durchmessern von 5 bis 25 mm in unterschiedlichen Tiefenlagen von 2 bis rd. 30 mm durchgeführt.

3.2.3 Untersuchungen an Bauteilbewehrungen

Die Eignung von elektromagnetischen Bewehrungstiefenmeßgeräten unter baupraktischen Bedingungen wurde ebenfalls nur für das Gerät E an sich kreuzender, dichter Bewehrung mit unbekanntem Durchmesser untersucht. Die Bewehrungsanordnung geht aus Bild 3 hervor. Die Bewehrung bestand aus Körben BSt 420 S und BSt 500 M, die durch entsprechende Abstandhalter planmäßig schräg einbetoniert waren, so daß sich auf der Plattenunterseite eine Deckung von 2 bis 30 mm und auf der -oberseite von 30 bis 60 mm ergab. Die Baustahlmatten wiesen Stabdurchmesser von 6,5 mm (Randeinsparung 4 mm) und Maschenweiten von 150 mm auf. In die Körbe waren ferner Einzelstäbe als Zulagen angeordnet, die Durchmesser von 10, 14 und 25 mm aufwiesen.

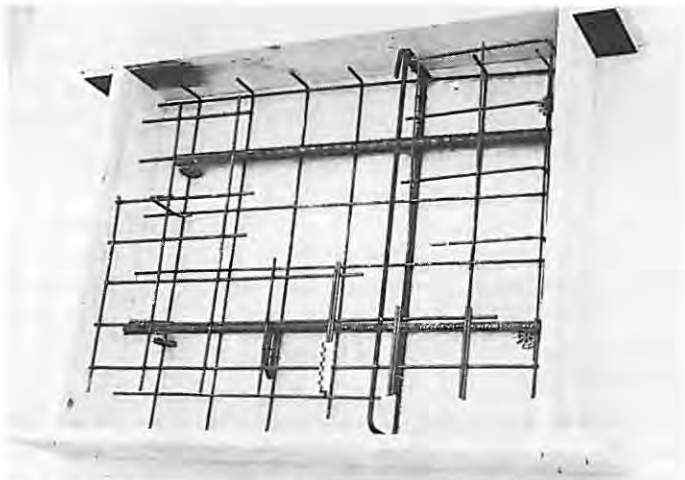


Bild 3 Bewehrungskorb für die Maschenbewehrung

4. Durchführung der Untersuchungen, Ergebnisse und Erörterungen

4.1 Überdeckungsbestimmungen an Einzelstäben mit bekanntem Durchmesser

4.1.1 Ferromagnetische Geräte

Die Messungen wurden an dem Prüfbalken (Bild 2) in vertikaler Lage durchgeführt. Die beiden ferromagnetischen Geräte liefern keine numerischen Meßwerte, sondern Lage der Bewehrung und Betonüberdeckung lassen sich nur subjektiv anhand der spürbaren Magnetkraft abschätzen. Nach relativ kurzer Einübung wurden auch mit mehreren Versuchsdurchführungen qualitativ weitgehend übereinstimmende Ergebnisse erzielt, die in Tafel 3 zusammengestellt sind.

Tafel 3 Meßergebnisse am Einzelstab für die Geräte mit Permanentmagnet am vertikal stehenden Prüfbalken

Gerät	Einstellung ¹⁾ mm	Stabdurchmesser mm	Magnetkraft infolge der Bewehrung bei vorhandener Betondeckung in mm						
			5	8	10	15	20	25	30
A	entfällt	8	nb	++	nb	○	nb	--	nb
		12	+++	+++	+	○	-	--	--
B	5	8	nb	-	nb	--	nb	--	nb
	5	12	○	-	--	--	--	--	--
	10	8	nb	○	nb	-	nb	--	nb
	10	12	+	○	○	-	--	--	--
	15	8	nb	+	nb	○	nb	--	nb
	15	12	+	+	+	+	-	--	--
	20	8	nb	+	nb	+	nb	-	nb
	20	12	+	+	+	+	○	-	--
	30	8	nb	++	nb	+	nb	○	nb
	30	12	+++	+++	++	+	+	○	○

¹⁾ Angabe der Betondeckung laut Eichklotz für Gerät B;

nb = nicht bestimmt; +++ haftend, ++ gerade nicht haftend, + deutlich spürbar, ○ spürbar, - gerade noch spürbar, -- nicht spürbar

Der einfache Haftmagnet A ermöglicht ein sicheres Aufspüren der Bewehrungsstäbe 8 und 12 mm bei Deckungen unter 15 mm. Durch Aufeinandersetzen von 2 Magneten konnte die „Reichweite“ auf rd. 25 mm erhöht werden. Die subjektiv ermittelte Magnetkraft war jedoch schwerer zu erkennen, da das Eigengewicht des Prüfmagneten dadurch erhöht wurde. Eine quantitative Bestimmung der Dicke der Betondeckung war mit diesem Gerät nicht möglich, wohl jedoch eine qualitativ zuverlässige Abschätzung, ob die Betondeckung über oder unter 15 mm dick war.

Das Meßgerät B besteht aus einem kreiszylindrischen Permanentmagneten, der in einer Kunststoffhülle mittels Hubspindel bewegbar ist. Hierdurch kann der Abstand des Magneten von der Auftragsfläche variiert werden. Zur Bestimmung der Betondeckung wird am beigefügten Aluminiumeichklotz, der für einen Stahl mit 15 mm

Durchmesser die Deckungen 5, 10, 15 und 20 mm aufweist, die Empfindlichkeit des Gerätes durch Höhenverstellung so vorgewählt, daß bei der gewünschten „Suchtiefe“ gerade noch eine Magnetkraft spürbar ist.

Tafel 3 enthält im unteren Teil die mit Meßgerät B bei unterschiedlicher Einstellung ermittelten Magnetkräfte. Die Ergebnisse zeigen, daß die wahrnehmbare Haftkraft überwiegend von der Dicke der Betondeckung und nur zum geringeren Teil vom Stabdurchmesser bestimmt wird. Das Meßergebnis hängt von der subjektiven Beurteilung der jeweiligen Magnetkraft ab. Dennoch kann mit ausreichender Erfahrung mit dem Gerät (Fingerspitzengefühl) die Dicke der Betondeckung am Einzelstab auf etwa ± 5 mm abgeschätzt werden. Auf jeden Fall läßt sich mit ausreichender Sicherheit abschätzen, ob eine Betondeckung von z. B. 20 mm deutlich unterschritten wird.

4.1.2 Elektromagnetische Geräte

Mit den elektromagnetischen Geräten wurde die Betonoberfläche des Probekörpers (Bild 2) abgefahren und die Orte relativer Anzeigemaxima als Orte der Bewehrung erkannt. Die Richtung der Bewehrungslage konnte durch Drehen des Meßfühlers bis zum Auffinden des maximalen Zeigerausschlages aufgespürt werden. Die so ermittelte Richtung wurde durch weiteres Abfahren des Bewehrungsstabes bestätigt, wobei sich der Meßwert praktisch nicht änderte.

Die auf diese Weise ermittelten Meßwerte sind in Tafel 4 angegeben. Die Geräte D und E verfügen über analoge Umrechnungsskalen, die für die bekannten Durchmesser der Bewehrungsstäbe die Ablesung der Dicke der Betondeckung ermöglichen. Bei Gerät F ließ sich der Bewehrungsdurchmesser vorwählen und dann direkt die Dicke der Betondeckung ablesen. Die Messungen lassen erkennen, daß die unterschiedlichen Stabdurchmesser nur sehr wenig voneinander abweichende Betondeckungen lieferten, d. h. es zeigt

Tafel 4 Meßergebnisse am Einzelstab für die elektromagnetischen Geräte am vertikal stehenden Prüfbalken

Gerät	Stabdurchmesser mm	Meßgröße	abgelesene Betondeckung mit Hilfe der elektromagnetischen Geräte bei Betondeckung in mm						
			5	8	10	15	20	25	30
C	8 12	Überdeckung in mm ¹⁾	—	na	—	na	—	na	—
			na	na	na	na	na	na	na
D	8 12	Überdeckung in mm ¹⁾	—	na	—	17	—	26	—
			na	na	na	18	23	25	33
E	8 12	Überdeckung in mm ²⁾	—	10	—	17	—	25	—
			4	9	13	16	19	24	29
F	8 12	Überdeckung in mm ¹⁾	—	7	—	15	—	25	—
			6	8	10	14	20	25	31

na = nicht ablesbar

¹⁾ unter Annahme der richtigen Stabdurchmesser

²⁾ unter Anwendung der Universalskala

te sich auch bei diesen Geräten, daß die Betondeckung das Ergebnis wesentlich stärker bestimmt als der Durchmesser des Bewehrungsstahls.

Das Gerät C, das nicht für die Deckungsmessungen, sondern für das Auffinden von Leitungen und dergleichen gedacht ist, erlaubte keine Trennung der verschiedenen Deckungen, da unabhängig von den Deckungen stets über den Stäben der maximale Zeigerausschlag auftrat.

Die als Bewehrungssuchgeräte konzipierten Geräte D, E und F erlaubten bei Anwendung gemäß Bedienungsanleitung per Ablesung die Bestimmung der Dicke der Betondeckung am Einzelstab mit bekanntem Durchmesser mit einer Genauigkeit von ± 3 mm. Für das Gerät F ergab sich bei diesen Versuchen sogar eine Genauigkeit von ± 1 mm (Herstellerangabe ± 3 mm).

Die Größenordnung der gefundenen Meßgenauigkeit bestätigt die rd. 25 Jahre alten Ergebnisse von Ziegler [4] mit 3 unterschiedlichen Bewehrungssuchgeräten.

4.2 Betondeckungsbestimmung bei unbekanntem Durchmesser der Bewehrung

Bei der Messung mittels magnetischer Induktion ist am Zeigerausschlag nicht zu erkennen, ob dieser Wert durch einen entfernten dicken Stahl oder durch einen nahen dünnen Stahl hervorgerufen wird. Infolge Doppelbestimmung an einer Stelle mit und ohne Distanzstück von z. B. 15 mm (Holz oder Kunststoff) wird jedoch der Anzeigewert bei einem dünnen nahen Stahl stärker geschwächt als bei einem dicken fernen Stahl. Aus der Differenz der Meßwerte bei der Doppelbestimmung läßt sich daher der Stabdurchmesser abschätzen.

Die Messungen wurden mit Gerät E durchgeführt, wobei sich die vom Hersteller mitgelieferten „Eichkurven“ als wenig brauchbar erwiesen. Zuerst wurde daher anhand von Messungen an Stählen mit den Durchmessern 5, 8, 12 und 25 mm mit bekannten Deckungen zwischen 1 und 40 mm Kennlinien für die verschiedenen Durchmesser durch Gegenüberstellen der Meßwerte in Skalenteilen mit und ohne Distanzstück von 15 mm ermittelt (Bild 4). Die Kennlinien erlauben anhand einer Doppelmessung mit und ohne Distanzstück unabhängig von der Deckung die Abschätzung des Bewehrungsdurchmessers.

Für die Umrechnung der Skalenteile in die Dicke der Betondeckung wurden weitere „Eichkurven“ anhand der oben genannten Versuchsergebnisse erstellt (Bild 5), aus denen die Betondeckung abgelesen werden kann.

In das Bild ist gestrichelt die Zuordnung der auf dem Anzeigeinstrument vorhandenen Universalskala für die Deckung im Vergleich zu den Skalenteilungen angegeben. Der nicht voll auf die gefundene Krümmung abgestimmte Verlauf der Skala erklärt die in Tafel 4 angegebene zu hohe Deckung von 13 mm bei 45 Skt gegenüber dem Istwert von 10 mm. Aus Bild 5 wäre der „richtige Wert“ mit 10 mm exakt abzulesen. Dadurch verbessert sich die in Abschnitt 4.1.2 angegebene Genauigkeit des Gerätes E auf ± 1 mm für die Einzelstabmessung.

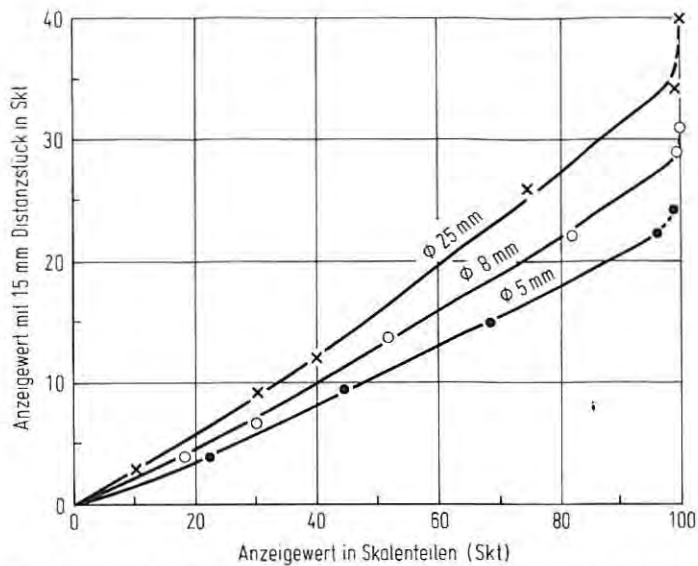


Bild 4 Kennlinien zur Durchmesserbestimmung anhand von Doppelmessung mit Distanzstück

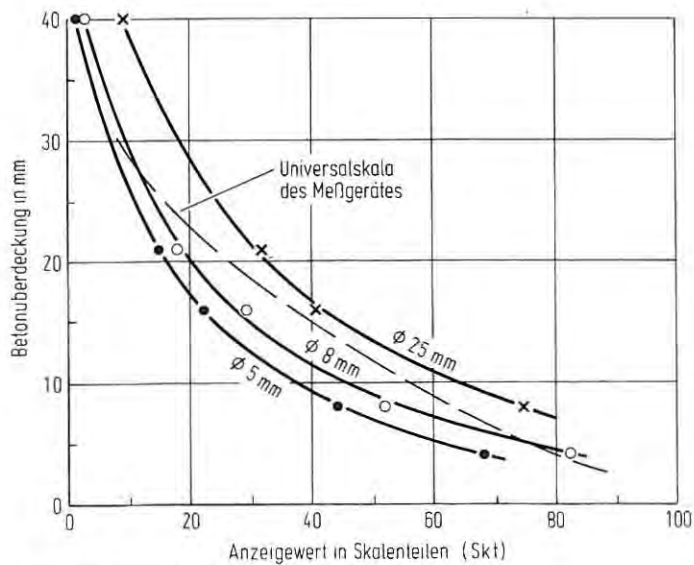


Bild 5 Kennlinien zur Betondeckungsbestimmung

Das beschriebene Vorgehen in zwei Stufen, nämlich zunächst Durchmesserbestimmung und anschließend Ablesen der Betondeckung, ist deutlich aussagekräftiger als das in [4] beschriebene „Probier-Verfahren“ der Bestimmung der Deckungsdifferenzen für verschiedene angenommene Durchmesser. Die Brauchbarkeit dieser Meßdurchführung wurde vor dem Test unter baupraktischen Bedingungen nach Abschnitt 3.2.3 anhand eines 15 mm tief eingelegten, 12 mm dicken Bewehrungsstabes abgeschätzt. Als Meßwerte ergaben sich ohne Distanzstück 35 Skt und mit Distanzstück 10 Skt. Aus Bild 4 ergibt sich der Durchmesser des Stabes zu rd. 10 bis 14 mm, wodurch die Bewehrungstiefe auf 15 ± 1 mm bestimmt werden konnte. Die möglichen Fehler bei der Deckung für einen angenommenen falschen Stabdurchmesser sind in Tafel 5 zusammengestellt.

Tafel 5 Fehler in der Betondeckungsbestimmung bei Umrechnung des Anzeigewerts (von 35 Skt) unter Annahme verschiedener Stabdurchmesser (Ist-Durchmesser 12 mm)

Angenommener Stabdurchmesser in mm	5	8	12	16	20	25
nach Bild 5 ermittelte Betondeckung in mm	11	13	15	16	17	19

Geht man von einem Fehler von rd. 2 Durchmesserstufen der Tafel 4 aus, d. h. statt 12 mm einen Durchmesser von 5 bzw. 20 mm, so liegt der Meßfehler für die Deckung unter ± 4 mm. Durch ein derartiges Vorgehen, d. h. Abschätzen der Stabdurchmesser, läßt sich der Meßaufwand gegenüber Abschnitt 4.3 erheblich vermindern.

4.3 Deckungsmessung an Bauteilbewehrung ohne Vorinformation

Die in Abschnitt 3.2.3 beschriebene Betonplatte wurde auf beiden Seiten mit Hilfe des Gerätes E untersucht. Hierzu wurde zuerst die Anordnung der Bewehrung anhand der maximalen Zeigerausschläge bestimmt und auf der Betonoberfläche angezeichnet. In einem zweiten Meßschritt wurden jeweils in der Mitte zwischen zwei Bewehrungskreuzungen die Meßwerte mit und ohne Distanzstück in „Skalenteilen“ bestimmt. Aus diesen Doppelmessungen konnten die Bewehrungsdurchmesser abgeschätzt werden. Bei Vorhandensein von zwei Eisen wurde ein „Ersatzdurchmesser“ von etwa gleicher Querschnittsfläche gefunden. Bild 6 zeigt die ermittelten Werte im Vergleich zu den Istwerten, die zum Teil durch Anbohren der Betonflächen kontrolliert wurden.

Das Bild zeigt deutlich, daß die Bewehrungslage mit Abweichungen ≤ 4 mm relativ gut aufgespürt werden konnte. Der zugehörige Meßaufwand für das Bestimmen der Bewehrungsanordnung, der Stabdurchmesser und der zugehörigen Überdeckungen betrug für die rd. 1 m² große Betonseite etwa 2 Meßstunden plus Auswertung.

	$\phi 4$	$\phi 5$	$\phi 6,5$	$\phi 8$	$\phi 6,5 + \phi 10$	$\phi 25$	$\phi 6,5$	$\phi 8$	$\phi 6,5$	$\phi 8$	$\phi 6,5$	$\phi 8$	$\phi 6,5$	$\phi 8$
	10	15	18	20	23	26	28	31	$\phi 6,5$	$\phi 8$				
	13	16	7	8	22	25	27	30	$\phi 8$					
	10	17	10	20	21	23	27	35	$\phi 6,5 + \phi 28$	$\phi = 25$				
	11	6	6				25	25	$\phi 6,5$	$\phi 8$				
	15	14	5	16	20	27	30	31	$\phi 6,5$	$\phi 8$				
	10	11	10	5	5		25	25	$\phi 6,5$	$\phi 8$				
	11	14	10	16	20	25	28	30	$\phi 6,5$	$\phi 8$				
	15	18	3	4			25	25	$\phi 6,5 + \phi 14$	$\phi 20$				
	15	16	2	18	20	25	27	31	$\phi 6,5$	$\phi 8$				
			3		23	26	28	31	$\phi 6,5$	$\phi 8$				
					20	23	27		$\phi 6,5$	$\phi 8$				

Bild 6 Soll-Ist-Vergleich der Ergebnisse der Betondeckungsmessung für kreuzende Bewehrung nach Bild 3

Etwa gleiche Genauigkeitsmaße bestätigen sich bei den Messungen der Deckung im Bereich 30 bis 60 mm auf der Plattenrückseite. Hier war der Einfluß der Bewehrungskreuzungen nicht mehr so deutlich spürbar.

Würde man die Durchmesserbestimmung entfallen lassen und auf der Universalskala des Gerätes E direkt die Deckungen ablesen, so vergrößert sich der Meßfehler um weitere rd. ± 4 mm (siehe Abschnitt 4.2), so daß sich insgesamt ein Meßfehler von rd. ± 8 mm ergibt. Das bedeutet, daß durch den erhöhten Meßaufwand mit Distanzstück die Genauigkeit der Bestimmung der Bewehrungslage deutlich verbessert wird.

5. Weitere Einflußgrößen auf die Deckungsmessung

Die in Abschnitt 4 dargestellten Ergebnisse mit einer Genauigkeit von rd. ± 4 mm sind für die Praxis ausreichend. Sie gelten jedoch nur unter der Voraussetzung, daß die Meßgeräte richtig angewendet sowie die Messung und Auswertung mit Sachverstand durchgeführt werden. In den nachfolgenden Abschnitten sollen daher die möglichen Einflußgrößen und Meßfehler erörtert werden.

5.1 Nullpunktdrift

Alle untersuchten elektromagnetischen Meßgeräte zeigten eine gewisse Nullpunktdrift, d.h. Veränderung der Nullstellung während des Betriebes. Im Einzelfall wurden dadurch in kritischen Bereichen systematische Fehler von ± 5 mm in der Bewehrungstiefe hervorgerufen. Es ist daher unabdingbar, die Nullstellung der Geräte durch Aufsetzen des Meßfühlers auf einen bewehrungsfreien Ver-

gleichskörper während der Meßdurchführung in relativ kurzen Abständen zu überprüfen und gegebenenfalls nachzujustieren.

Bei einem der Meßgeräte fiel auf, daß das verwendete Spiralkabel zwischen Meßfühler und Meßgerät beim Auseinanderziehen zu deutlichen Schwankungen der Deckungsanzeige (im Einzelfall rd. ± 5 mm) führte. Dies kann auf Induktionsänderungen bei dem wie eine Spule wirkenden Kabel zurückgeführt werden.

5.2 Betonart

Die Betonart dürfte, sofern keine Stahlzuschläge (Reaktorbau) oder Stahlfasern verwendet werden, keinen Einfluß auf die Überdeckungsmessung haben. Die Suszeptibilität (Kennwert für die magnetischen Eigenschaften) des Baustahls liegt stets um mindestens zwei Zehnerpotenzen über der von Beton [5], so daß unterschiedliche Gehalte an potentiell als „magnetisch“ anzusehenden Stoffen, wie z.B. Fe_2O_3 im Beton oder unterschiedliche Feuchtigkeitsgehalte, das Meßergebnis praktisch nicht beeinflussen.

5.3 Stahlart

Die Stahlgüte hat nach den Untersuchungen in [4] einen erheblichen Einfluß auf die Deckungsmessungen, was anhand der unterschiedlichen Suszeptibilität [5] erklärt werden kann. Für die heute gängigen Betonstähle BSt 420 S und BSt 500 M wurde bei Vergleichsmessungen an 12-mm-Stäben und Betondeckungen von 15 mm mit Meßgerät E für BSt 500 S systematisch eine um maximal 1 mm geringere Betondeckung gefunden als für BSt 420 S. Der Einfluß der Stahlgüte dürfte in den meisten Praxisfällen vernachlässigbar klein sein. Es ist hier zu berücksichtigen, daß die Meßgeräte nur den Abstand zum Stahlkern erfassen und nicht die hervorstehenden Stahlrippen, die deckungsmindernd wirken.

Bei Verwendung anderer Stahlarten, z.B. Spannstahl, kann durch Erstellen zugehöriger Eichkurven die Betondeckung bestimmt werden.

5.4 Temperatur

Die magnetischen Eigenschaften von Stahl sind grundsätzlich temperaturabhängig, die Änderungen der Suszeptibilität mit der Temperatur wird in [5] mit -1‰ je $^{\circ}\text{C}$ angegeben. D.h. wenn man von einer mittleren Meßtemperatur von rd. 15°C ausgeht, so wird bei -5°C die Suszeptibilität um rd. 2% erhöht und bei $+35^{\circ}\text{C}$ um rd. 2% erniedrigt, was bei der Deckungsmessung im Meßwert praktisch nicht erfaßt werden kann. Bei unterschiedlichen Temperaturen ist vielmehr die Konstanz des Meßgeräteverstärkers von Interesse, dessen Nullabgleich häufiger zu überprüfen und nachzustellen ist (siehe Abschnitt 5.1).

6. Grenzen der Anwendbarkeit von elektromagnetischen Geräten

6.1 Reichweite

Die maximal meßbare Deckungstiefe der Bewehrung ist von der aufgetragenen Feldstärke sowie der Meßempfindlichkeit der Geräte

abhängig. Für die Kontrolle der Deckungen nach DIN 1045 bis 4 cm sind die drei geprüften elektromagnetischen Bewehrungssuchgeräte gut geeignet.

6.2 Einfluß eng liegender Parallelbewehrung

Die geprüften Meßgeräte D, E und F lieferten aussagekräftige Meßergebnisse, soweit der Bewehrungsabstand das 1,5-fache der Betondeckung nicht unterschritt. Bei enger liegender Bewehrung wurden die benachbarten Eisen bei der Messung mit erfaßt und es kam zum Unterschätzen der Dicke der Betondeckung. Gleichzeitig wurde das Lokalisieren der Stähle sehr erschwert, da sich ein sehr breiter Bereich mit maximalem Zeigerausschlag ergab.

6.3 Einfluß von sich kreuzender Bewehrung

Die Länge des im Meßfühler erzeugten Magnetfeldes lag bei den untersuchten Geräten im Bereich von 4 bis 16 cm. Diese Länge bestimmt die maximal „störungsfrei“ meßbare Maschenweite, da der Meßwert durch Quereisen im Bereich der Magnetfeldlänge verändert wird. Für Gerät E lag die Meßlänge bei rd. 65 mm. Die Streubreite der Feldlinien über die Meßlänge hinaus kann je Seite teilweise etwa mit der Deckungstiefe des Betonstahls angenommen werden. D.h. für Deckungen von rd. 25 mm ergab sich für eine sichere Prüfung mit Gerät E die minimale Maschenweite zu rd. 120 mm. Bei den durchgeführten Messungen mit Maschenweiten von 150 mm traten daher keine Schwierigkeiten auf.

Bei der Interpretation der Anzeigewerte ist zu beachten, daß sich, wenn man den Meßfühler auf einem Längseisen über eine kreuzende Bewehrung bewegt, zwei Maxima (jeweils unter dem Ein- bzw. Austrittspunkt der Feldlinien am Meßfühler) ergeben, die demselben Querstab zuzuordnen sind.

Ein Querstab etwa gleichen Durchmessers wie der Längsstab liefert, sofern er unter dem Längseisen lag, eine praktisch unmerklich, bis zu 1 mm kleinere Dicke der Betondeckung, während bei einer Querbewehrung oberhalb des Längseisens ein Einfluß in der Größenordnung des Durchmessers des Quereisens gefunden wurde, was auch der tatsächlichen Minderung der Betondeckung entsprach.

Nach [6] läßt sich der Einfluß von Querstäben gerätetechnisch vermeiden, wenn man mit zwei unabhängigen Meßzellen arbeitet, die einen vorgegebenen Abstand aufweisen, und so aus dem Differenzwert der Anzeigen bei Abfahren des Längseisens die Kreuzungen erkennt und eliminiert. Dieses Verfahren versagt jedoch, wenn unter beiden Meßühlern gleichzeitig ein Quereisen liegt.

7. Baupraktische Anwendung

Das Meßgerät A (einfacher Permanentmagnet) ist für das Aufspüren grober Minderdeckungen unter 15 mm anwendbar. Es liefert keinen exakten Meßwert. Somit ist in Zweifelsfällen eine Kontrollmessung mit einem aussagekräftigen Gerät bzw. ein Anbohren des Betons

zur Kontrolle der Bewehrungslage nötig. Die Reichweite des Gerätes läßt es nicht zu, eine Deckung über 15 mm zu erfassen.

Das Meßgerät B (Bewehrungssuchgerät, verstellbarer Permanentmagnet) ermöglicht das Aufspüren von Minderdeckungen bis etwa 30 mm. Aufgrund des relativ großen Eigengewichts des „Meßfühlers“ ist die Magnetkraft im Grenzbereich der eingestellten Prüftiefe nur bedingt zu erfassen. Bereiche deutlicher Minderdeckungen sind jedoch gut erkennbar. In Zweifelsfällen kann durch geeignete Maßnahmen die Betondeckung, z.B. durch Anbohren, geprüft werden.

Das Meßgerät C (einfaches Leitungssuchgerät) ist bestimmungsgemäß nicht zur Bewehrungstiefenmessung vorgesehen und erwies sich als wenig brauchbar für eine Bestimmung der Dicke der Betondeckung.

Die Meßgeräte D, E und F (elektromagnetische Bewehrungssuchgeräte) erlauben eine relativ gute Bestimmung von Lage und Tiefe der Bewehrung (Reichweite bis rd. 6 cm Betondeckung geprüft), wobei die Dicke der Betondeckung mit einer Genauigkeit von rd. ± 3 mm am Einzelstab bestimmt werden kann. Bei entsprechender Erfahrung mit den Geräten und unter Berücksichtigung der minimal meßbaren Maschenweite bzw. des minimalen Bewehrungsabstands (siehe Abschnitt 6.2) lassen sich auch Dicken der Betondeckung von Maschenbewehrungen (Baustahlmatten) mit Zulagen mit einer Genauigkeit von rd. ± 4 mm bestimmen.

8. Folgerungen

Die elektromagnetischen Geräte sind prinzipiell für eine Bewehrungstiefenmessung geeignet, der Meß- und Auswerteaufwand ist für die Bestimmung der Dicke der Betondeckung am „unbekannten Bauteil“ jedoch erheblich. Der Meßaufwand läßt sich deutlich reduzieren, wenn man den Stabdurchmesser kennt (bestimmt hat) oder unter Verminderung der Genauigkeit der Überdeckungsbestimmung abschätzt (Abschn. 4.2).

Die Doppelmessung mit und ohne Distanzstück, die aufwendig und fehleranfällig ist, wenn nicht exakt die gleiche Stelle mit und ohne Distanzstück gemessen wird, könnte entfallen, sofern das Meßgerät über mindestens zwei unterschiedlich starke Magnetfelder (umschaltbar) verfügt. Aus diesen beiden Meßwerten könnte dann der Durchmesser bestimmt werden.

Als künftige Entwicklung ist vorstellbar und wünschenswert, daß eine mikroprozessorgesteuerte Umschaltvorrichtung die unterschiedlich starken Magnetfelder relativ rasch wechselt und selbsttätig aus den Meßwertdifferenzen den Durchmesser und die Betondeckung bestimmt sowie die Werte digital anzeigt. Bewehrungskreuzungen könnten durch Umschalten auf ein senkrecht zur Hauptmeßrichtung liegendes Nebenmeßfeld, das im Prüfgang routinemäßig mit abgefragt wird, angezeigt und für die Überdeckungs-messung rechnerisch eliminiert werden. Sinnvoll wäre zudem eine akustische Warnung bei Unterschreiten einer zuvor eingestellten Deckungstiefe.

9. Zusammenfassung

Für die Dauerhaftigkeit von Außenbauteilen aus bewehrtem Beton ist unter anderem die Einhaltung der Mindestdicke der Betonschicht über der Bewehrung unabdingbare Voraussetzung. Sechs auf dem Markt vorhandene Prüfgeräte wurden daraufhin überprüft, ob und mit welcher Genauigkeit sich mit ihnen die Dicke der Betondeckung nachträglich am bewehrten Beton zerstörungsfrei bestimmen läßt. Dabei ergaben sich die nachfolgenden Ergebnisse.

9.1 Der einfache Permanentmagnet (A) ist nur zum Aufspüren für grobe Minderdeckungen unter 15 mm anwendbar. Die Messung erfordert ein durch praktische Erfahrung erworbenes Fingerspitzengefühl. Sie ist dann jedoch relativ zuverlässig.

9.2 Der Bewehrungssuchmagnet (B) erlaubt das Auffinden von Bewehrungen bis zu rd. 30 mm Betondeckung. Die Dicke der Betondeckung kann ebenfalls nur subjektiv anhand der Magnetkraft bestimmt werden. Die Messung erfordert ein durch praktische Erfahrung erworbenes Fingerspitzengefühl. Deutliche Minderdeckungen sind jedoch relativ zuverlässig erkennbar.

9.3 Das einfache Leitungssuchgerät (C) ist nur für das Aufspüren der Lage, nicht jedoch für die Bestimmung der Betondeckung brauchbar.

9.4 Die elektromagnetischen Bewehrungssuchgeräte D, E und F sind mit ausreichender Erfahrung und bei Kenntnis der Geräteeigenheiten in der Lage, die Betondeckung auch an unbekanntem Bauteilen für nicht zu eng liegende Bewehrung zuverlässig zu erfassen. Mit dem Gerät E, das innerhalb dieser Gruppe eingehendst geprüft wurde, ergab sich auch bei unbekanntem Durchmesser und kreuzender Bewehrung eine Genauigkeit der Bestimmung der Dicke der Betondeckung von ± 4 mm.

9.5 Für die genaue Bestimmung der Dicke der Betondeckung ist ein erheblicher Meßaufwand erforderlich. Dieser könnte durch die empfohlenen Geräteverbesserungen deutlich vermindert werden.

SCHRIFTTUM

- [1] Richtlinie zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit von Außenbauteilen aus Stahlbeton. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Berlin, März 1983.
- [2] Hillemeier, B., und U. Müller-Run: Bewehrungssuche mit der Thermographie. Beton- und Stahlbetonbau 75 (1980), H. 4, S. 83/85.
- [3] Diem, P.: Zerstörungsfreie Prüfmethode für das Bauwesen. Bauverlag, Wiesbaden 1982, S. 144/145.
- [4] Zelger, C.: Vergleichsversuche an drei verschiedenen Bewehrungs-Suchgeräten. Materialprüfung 3 (1961), H. 9, S. 337/344.
- [5] Kohlrausch, F.: Praktische Physik, Band 2, Teubner-Verlag, Stuttgart 1962, 21. Auflage, S. 204.
- [6] Ahlsen, U., und U. Bellander: Estimation of Location and Diameter of Quantity of Reinforcement in in-situ Concrete. Proceedings des RILEM-Seminars „Quality Control of Concrete Structures“, Juni 1979, Stockholm, Vol. 1, S. 201/207.