

1	Einleitung	1
2	Modell eines Wirbelstrom-Aufnehmers	5
2.1	Modell eines Ersatzschaltbildes eines verlustbehafteten Übertragers	7
2.2	Erweitertes Ersatzschaltbild mit mehreren Übertragern	12
3	Lösung der Diffusionsgleichung	16
3.1	Einführung eines übergeordneten Vektorpotentials	17
3.1.1	Berechnung der Wirbelstromdichte	27
3.1.2	Impedanzänderung als Folge einer Energieströmung	29
4	Simulation von Wirbelströmen	33
4.1	Elektrische und magnetische Werkstoffeigenschaften von Betonstahl	33
4.2	Ebenes Wirbelstromproblem	38
4.3	Achsensymmetrische Wirbelstromerregung	40
4.4	Laterale Bewegung der Leiterbahnen und deren Einfluß auf die Wirbelstrom- verteilung	44
4.4.1	Wirkung der induzierten Ströme als magnetischer Dipol	47
4.5	Wirbelstromverlustleistung für die achsensymmetrische Felderregung	52
4.6	Magnetische Energie im Zylinder	60
4.7	Einfluß von Spulen- und Zylindergeometrie auf die Impedanz	68
4.8	Laterale und vertikale Empfindlichkeit	75
5	Modellierung mit Methoden der finiten Elemente	78
5.1	Das magnetische Feld einer Wirbelstromspule mit weichmagnetischem I-Kern	78
5.2	Feldsimulation von Spulen mit weichmagnetischem E-Kern	91
5.3	Wirbelstromspulen mit Topfkern	99
6	Messung an zylindrischen Stäben	100
6.1	Einfluß von Zug- und Schubspannung des Stahls auf die magnetische Hysterese	100
6.2	Kalibrierverfahren handelsüblicher Geräte	106
6.3	Voraussetzungen zur automatisierten Erfassung von Meßreihen	109
6.4	Auswahl der Proben zur Erfassung von Meßreihen am Einzelstab	113
6.5	Abhängigkeit der Impedanz von Stabdurchmesser und Überdeckung	116
6.5.1	Kalibrierung der Meßwerte auf die Überdeckung	116

VI

6.5.2	Bestimmung des Stabdurchmessers mit Hilfe von Ausgleichsgeraden . .	120
6.5.3	Einfluß von Frequenz und Spulengeometrie auf die Bestimmung des Durchmessers	126
6.5.4	Laterale Erfassung der Impedanz	131
6.5.4.1	Empfindlichkeit der Spulengüte gegenüber lateralen Abständen	132
6.5.4.2	Beschreibung der lateral erfaßten Meßdaten mit Hilfe der Regressionsanalyse	136
6.5.5	Die Spulengüte in Abhängigkeit von Stabdurchmesser und elektrischer Leitfähigkeit	142
6.5.6	Vergleich von Spulen unterschiedlicher Breite bei senkrechter und lateraler Annäherung	146
7	Flächenhafte Erfassung der Wirbelstromsignale	149
7.1	Flächenhafte Meßdatenerfassung an räumlich angeordneten Stabstählen mit Hilfe eines xyz-Manipulators	150
7.2	Mobiles Mehrfrequenz-Meßdatensystem mit bildgebenden Verfahren zur Ortung und Analyse von Bewehrungen	157
8	Zusammenfassung und Ausblick	161
10	Literatur	163