



BetoScan

„Selbstfahrendes Scannersystem für Betonflächendiagnosen“

Markus STOPPEL, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Kurzfassung. Das Projekt Betoscan hat zum Ziel eine selbstfahrende und selbstnavigierende Plattform für Sensoren und Messgeräte zu konzipieren. Die Plattform soll hindernisfreie Flächen selbstständig in einem vorgewählten Raster abfahren und dabei Daten ortsreferenziert aufzeichnen.

Einführung

Parkbauten wie Parkhäuser und Tiefgaragen, aber auch Brücken sind besonderen Belastungen ausgesetzt: Fahrzeuge tragen Feuchtigkeit und Salz in das Bauwerk. Die offene Bauweise verursacht wechselnde klimatische Bedingungen. Autos nutzen die Oberfläche der Fahrwege ab und verursachen durch die Abgase Immissionen. Die Untersuchung der vorliegenden korrosiven Belastung kann nach dem Stand der Technik nur punktuell und mit aufwändigen Probenahmen erfolgen. Parkhäuser haben aber wegen ihrer Funktion sehr große Flächen, die mit ausreichender statistischer Sicherheit untersucht werden müssen (nach RiLi SIB [1] bzw. im Rahmen von projektbezogenen Wartungsplänen nach DAfStb Heft 525 [2]).

Das Projekt Betoscan hat zum Ziel eine selbstfahrende und selbstnavigierende Plattform für Sensoren und Messgeräte zu konzipieren und ein Demonstrator im Rahmen des Vorhabens aufzubauen. Nach einer Erprobungsphase wird er für Messeinsätze zur Verfügung gestellt. Die Plattform kann hindernisfreie Flächen selbstständig in einem vorgewählten Raster abfahren und dabei Daten ortsreferenziert aufzeichnen. Berührungsfrei arbeitende Untersuchungsgeräte können kontinuierlich verfahren werden; Punktmessverfahren erfordern eine entsprechende schrittweise Bewegung. Die Messgeräte, die Sensorplattform und die Steuerungseinheit werden miteinander vernetzt und die Messergebnisse in einer Datenbank organisiert. Auf der Plattform kommen, der jeweiligen Messaufgabe angepasst, u.a. folgende Verfahren zum Einsatz: Visuelle Erfassung (Digitalfotos, 3D-Aufnahmen), Potentialfeldmessung (Korrosionsaktivität), Wirbelstromverfahren (Betondeckung), Feuchte-, Temperatursensoren. Weitere Verfahren können nach Bedarf in das offene System integriert werden.

1. Das Projekt

Es gibt zahlreiche Untersuchungsverfahren zur Diagnose von Schäden an Parkhausdecks. Die meisten dieser Verfahren werden jedoch nur punktuell eingesetzt, da die Prüfdurchführung aufwändig und teuer ist. Da keine gesetzliche Verpflichtung besteht, Parkhäuser regelmäßig und vorbeugend zu überprüfen, werden Untersuchungen in der

Regel erst nach dem Auftreten erkennbarer Schäden an der Oberfläche geplant. Hier obliegt es dem Fachingenieur, gefährdete Bereiche zu erkennen und einzugrenzen und somit eine örtlich eingeschränkte Vorauswahl von Untersuchungsfeldern zu treffen.

Es besteht daher ein großer Bedarf, Parkhausdecks großflächig sowie gleichzeitig kosten- und zeiteffizient zu untersuchen, um Folgeschäden rechtzeitig zu erkennen und diese durch frühzeitige Reparaturmaßnahmen zu vermeiden. Es ist nicht möglich, Punktmessverfahren manuell auf großen Flächen anzuwenden, da der Zeitaufwand für die Durchführung wirtschaftlich nicht vertretbar ist. Nur die gleichzeitige automatisierte Anwendung mehrerer Verfahren kann hier zu nutzbaren Ergebnissen führen.

Das Ziel des Projektes ist die Entwicklung einer Prüfplattform zur Schadensdiagnose auf ebenen Betonflächen, wie z. B. Parkdecks.



Abbildung 1 Geplantes Scannersystem für Betonflächendiagnosen (Quelle: Neobotix)

Das zu entwickelnde Prüf- und Bewertungssystem soll ca. 400 m² Parkdeck pro Tag in hoher Flächenmessdichte untersuchen und die Ergebnisse der Aus- und Bewertungsverfahren dokumentieren. Es soll von einer Person bedient und überwacht werden können. Hierbei werden bereits erprobte und auch neu entwickelte Sensoren und Verfahren zum Einsatz kommen, die entsprechend der jeweiligen Fragestellung automatisiert Prüfungen durchführen und die Messergebnisse in einer integrierten Datenbank verwalten. Da die Datenerfassung auf der Nutzung unabhängiger Verfahren beruht, wird hier die Aussagesicherheit durch Informationskombination verbessert.

Die Anwendungsmöglichkeiten des Systems sind Schadensdiagnose, Zustandsermittlung und Qualitätssicherung. Die Plattform bietet die Möglichkeit, ein Schadenskataster über große Flächen aufzunehmen, wobei der Umfang der Untersuchungen durch den jeweiligen Anwendungsfall definiert wird.

Die Ergebnisse der Untersuchungen können durch die Integration weiterer Daten (Bilder, Pläne, vorhandene Diagnosen) ergänzt werden. Die Datenverwaltung erfolgt in einer anwendungsspezifischen Datenbank. Durch die Automatisierung wird eine große Flächenabdeckung bei gleichzeitig hoher Ortsauflösung erreicht, die beim manuellen Einsatz der Verfahren oder der punktuellen Untersuchung nicht gegeben ist. Somit sind für den sachkundigen Planer eine Eingrenzung der Schadstelle und die Ermittlung des Schadensumfanges zuverlässig möglich. Das System bietet dem Bauwerkseigentümer eine sichere Planungsgrundlage des Instandsetzungsaufwandes und ermöglicht Kosteneffizienz bei Bau- und Instandsetzungsmaßnahmen durch systematische Eingrenzung geschädigter Bereiche.

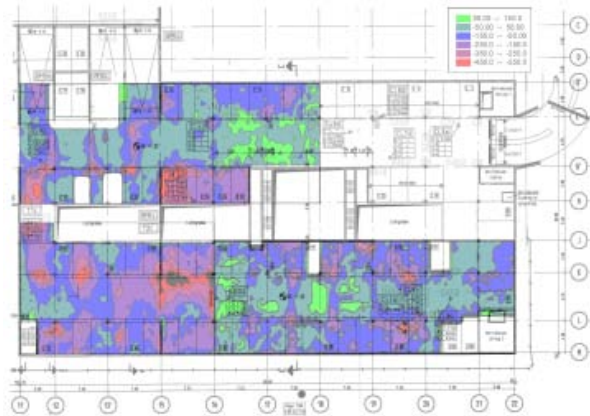


Abbildung 2 Beispiel Messraster als Ergebnis einer Potentialfeldmessung (Quelle: IBAC)

Eine weitere Aufgabe ist die Überprüfung und Dokumentation der Qualität nach erfolgten Instandsetzungsmaßnahmen bzw. nach der Neukonstruktion. Das System liefert dem Anwender Daten, die im Rahmen einer Qualitätssicherung nach Instandsetzung / Neubau auf den Erfolg der Maßnahme bzw. auf deren fachgerechte Ausführung schließen lassen. Durch die große Flächenabdeckung kann abgeschätzt werden, ob die Qualitätsanforderungen erfüllt sind oder ob es Bedarf für die Nachbehandlung gibt.



Abbildung 3 Ultraschallarray mit Punktkontakt-Prüfköpfen (koppelmittelfreie Anwendung) und Handgerät (Quelle: Acsys)

Die Entwicklung der Diagnoseverfahren hat in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht. Moderne Rechnertechnik, innovative Sensoren und die weitere Miniaturisierung von Modulen und Komponenten bietet die Möglichkeit der räumlichen Integration verschiedener Verfahren in einem Prüfsystem. Im Rahmen einer fortschrittlichen Multisensorik, sollen alle Sensormodule eingesetzt werden können, deren Einsatz zur Lösung der anliegenden bauspezifischen Fragestellungen sinnvoll ist.

2. Das Konsortium

Das Konsortium besteht aus drei Forschungseinrichtungen und sieben Klein- und mittelständischen Unternehmen (KMU) bzw. Ingenieurgesellschaften und einem Industriepartner. Somit beinhaltet das Projekt anteilige Forschungs-, Anwender- bzw. Applikationsarbeiten. Die beteiligten Forschungsinstitute **BAM**, **IBAC** und **Fraunhofer-IZFP** erarbeiten die methodischen und applikationsspezifischen Grundlagen in Bezug auf die Messmethodik, die Sensorik, das Design der Mess- und Prüftechnik und die Integration der Module und Komponenten in einen Mess- und Prüfdemonstrator. Die KMU setzen sich aus Entwicklern und Anbietern von Prüf- und Diagnoseverfahren, aus Ingenieur- und

Sachverständigenbüros und Softwarespezialisten zusammen und bilden damit die Basis für eine Praxisumsetzung. Denn nur an der tatsächlichen Anwendbarkeit im Bauwesen lässt sich der Erfolg dieses neuartigen Diagnosesystems messen und bewerten.

Zusammen mit den beiden internationalen Partnern (aus Dänemark und Russland) wird eine europaweite Vermarktung angestrebt.



Abbildung 4 Innonet Logo

Das Netzwerk bietet die notwendige interdisziplinäre Zusammenarbeit in den Bereichen Schadendiagnose, Instandsetzungsplanung und Geräteherstellung. Dies ist besonders vor dem Hintergrund des zunehmenden Anteils von Bauleistungen im Bestand von wirtschaftlichem Interesse. Ein wichtiges Instrument mit dem die Praxisrelevanz des Projekts sichergestellt wird, ist die Mitwirkung eines Anwenderkreises, der das Projekt begleitet und das Konsortium berät. Der Anwenderkreis wird regelmäßig über den Stand der Arbeiten informiert und auch in die Entwicklungen eingebunden ist. Der Kreis setzt sich aus Parkhausbetreibern, Ingenieurbüros, Sachverständigen, Ingenieuren und Wissenschaftlern zusammensetzen, wobei das Hauptaugenmerk auf der Nutzbarkeit der Ergebnisse in der Anwendung und in der Wirtschaftlichkeit (Kosten/Nutzen-Abschätzung) liegt.

3. Derzeitiger Stand und Ausblick

Das erste Halbjahr des Projektes wurde wie geplant zur Analyse der Anforderungen der Endanwender, der Anforderungen an die damit verbundene Messtechnik und die Roboterplattform verwendet.

3.1 Messaufgaben

Die Einsatzbereiche Schadensdiagnose und Qualitätssicherung können sich bezüglich der Messaufgaben stark voneinander unterscheiden. Ziel ist es, durch Kombination einer Vielzahl von möglichen Messparametern möglichst detaillierte Informationen bezüglich des Bauwerkszustandes zu gewinnen. Im Fall der Schadensdiagnose spielen der Zustand der Bewehrung und des Betons eine erhebliche Rolle, die bei der Planung der Plattform frühzeitig zu berücksichtigen ist. So können über geeignete Verfahren Informationen über die Lage und die Korrosionswahrscheinlichkeit der Bewehrung sowie über Rissverläufe und die Leitfähigkeit des Betons gewonnen werden.

Diese Aufgaben spielen bei der Qualitätssicherung dagegen eher eine untergeordnete Rolle. Bei Parkhausdecks ist in erster Linie die regelgerechte Ausführung von Oberflächenschutzsystemen von Interesse. Mit der auf der Plattform integrierten Sensorik soll eine zerstörungsfreie Ermittlung der Schichtdicken möglich sein, um zukünftige Defekte infolge mangelnder Ausführung auszuschließen.

Aufgaben-segment	Einzelaufgabe	Priorität nach Einsatzbereich	
		Erkundung	Qualitätsprüfung
Bewehrung	Betondeckung	++	++
	Bewehrungsverteilung	++	+
	Bewehrungsdurchmesser	+	o
	Korrosionswahrscheinlichkeit	++	o
Beton	Rissbild	++	+
	Rissbreite	++	+
	Risstiefe	+	o
	Leitfähigkeit	++	o
	Feuchteverteilung	+	o
	Feuchtigkeit	+	o
	Hohllagen / Abplatzungen	++	o
	Bauteildicke	o	+
	Oberflächentemperatur	+	o
	Betonqualität (Gleichmässigkeit, E-Modul)	+	+
	Karbonatisierung	o	o
	Festigkeit	-	o
Oberflächen	Ebenheit	+	+
	Haftvermögen	++	o
	Oberflächenhärte	++	o
OS Systeme	Unterläufigkeit / Ablösungen	+	+
	Gesamtschichtdicke	o	++
	Einzelschichtdicke	o	++
	Schichtenaufbau	o	+
	Haftung	o	++
	Griffigkeit, Rauigkeit	o	++
Umgebung	Temperatur	++	o
	Luftfeuchte	o	o

Abbildung 5 Definition und Priorisierung der Messaufgaben(++ sehr wichtig, + wichtig, o neutral, - unwichtig)

3.2 Gerätetechnik

Eine weitere Analyse lieferte eine Auflistung der am Markt erhältlichen Geräte. Diese wurde dahingehend überarbeitet, dass die Priorisierung der gewünschten Verfahren und die Realisierbarkeit der Integration in das System berücksichtigt wurde:

Die Zustandsermittlung und Ortung der Bewehrung sind neben der Untersuchung der Betonstruktur eine wichtige Maßnahme zur Einschätzung des Schädigungsgrades von instand zu setzenden Objekten. Im Rahmen der Qualitätssicherung ist eine Überprüfung der Betondeckung hinsichtlich der für die jeweilige Expositionsklasse geforderten Werte von erheblicher Bedeutung.

Zur Ermittlung der Betondeckung, der Bewehrungsverteilung und des Stabdurchmessers können Bewehrungssucher basierend auf dem Wirbelstromverfahren und Radargeräte eingesetzt werden. Mit Hilfe des Wirbelstromverfahrens kann bei bekanntem Stabdurchmesser die Betondeckung und umgekehrt der Stabdurchmesser bei bekannter Betondeckung bestimmt werden. Dieses Verfahren ist weit verbreitet und wird zurzeit bereits von vielen Anwendern eingesetzt.

Neben der Lage und dem Durchmesser ist eine Aussage über die Korrosionswahrscheinlichkeit der Bewehrung von erheblichem Interesse, da diese einen Einfluss auf die Standsicherheit und die zu planenden Instandsetzungsmaßnahmen hat. Eine zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit geeignete Methode stellt das elektrochemische Potentialverfahren dar, das zur Ortung von korrodierten oder

korrosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt wird. Hierbei ist zu beachten, dass es sich um eine indirekte Messung des Stadiums der Korrosion handelt und daher nur von kundigen Anwendern interpretiert werden kann.

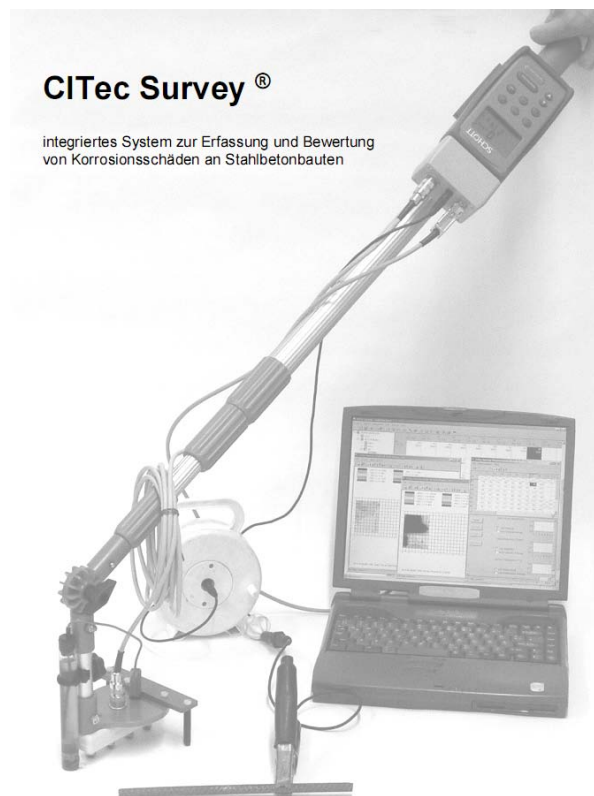


Abbildung 6 Citec Survey, integriertes System zur Erfassung und Bewertung von Korrosionsschäden an Stahlbetonbauten:

Eine Analyse der Betonstruktur liefert einen Aufschluss über die Resttragfähigkeit instandsetzungsbedürftiger Bauteile und wird somit primär zur Erkundung instandsetzungsbedürftiger Bauteile zum Einsatz kommen. Der Schwerpunkt dieser Untersuchungen liegt in der Kartierung vorhandener Risse und Defekte sowie der Abschätzung konstruktiver Kennwerte (Betondruckfestigkeit, E-Modul).

Zur Dokumentation und Analyse des oberflächigen Rissbildes, kann die Oberfläche mit leistungsstarken Kameras abgelichtet und die sichtbaren Fehlstellen bei der späteren Auswertung mithilfe einer entsprechenden Software vermessen werden. Um tiefengestaffelte Informationen über Risse und Rissverläufe zu erhalten, stehen das Impact-Echo- und das Ultraschallverfahren zur Verfügung. Mit dem erstgenannten Verfahren können größere Defekte sowie Bauteildicken i. d. R sicher bestimmt werden. Das Ultraschallverfahren ermöglicht ebenfalls eine Bestimmung der Bauteildicke und eine Lokalisierung von Defekten, jedoch müssen an dieser Stelle baustoffbezogene Details (Größtkorn, Oberflächenbeschaffenheit, etc) bekannt sein, um die Apparatur und Messstrategie anzupassen. Bei der Risstiefenbestimmung verunreinigter Risse ist ein Versagen des Ultraschallverfahrens nicht auszuschließen.

Mit Hilfe der Wennermethode lassen sich Aussagen über die Leitfähigkeit und die Feuchteverteilung oberflächennaher Bereiche des Bauteiles treffen. Die Widerstandsmessung eignet sich kaum zur Bestimmung von absoluten Feuchtwerten, da die gemessenen Widerstände neben der Feuchte von einer Vielzahl weiterer Einflüsse wie Salzgehalt, Inhomogenitäten, Porosität und der Bewehrung im Messbereich abhängen. Dennoch bietet diese Methode genügend Informationen um eine Kartierung der qualitativen

Feuchteverteilung vorzunehmen und somit zusätzliche Informationen korrosionsgefährdeter Bereiche zu erhalten.

Eine alternative Methode bietet das Mikrowellenverfahren, das ebenfalls zur Bestimmung der Feuchteverteilung eingesetzt werden kann. Ein Vorteil liegt in dem geringeren Einfluss des Salzgehaltes auf Ergebnisse dieses Verfahrens.

Zur Ortung von Hohllagen und Abplatzungen stehen die bereits erwähnten Verfahren Radar, Impact-Echo, Ultraschall und Mikrowellen zur Verfügung. Mit Ausnahme des Mikrowellenverfahrens können die genannten Methoden ebenfalls zur Bestimmung der Bauteildicke eingesetzt werden.

Zur berührungslosen Bestimmung der Oberflächentemperatur des Bauteils können Infrarotstrahlungsthermometer zum Einsatz kommen. Diese Methode bietet zudem den Vorteil dass die Messergebnisse nicht durch Wärmeableitung zum Messinstrument verfälscht werden können. Eine Beeinflussung durch Rückstrahlung (Wärme-Spiegelung) von anderen Objekten muss allerdings ausgeschlossen werden. Alternativ bestünde die Möglichkeit einer berührenden Messung mit Thermosensoren.

Um eine Aussage über die Betonqualität und dessen Gleichmäßigkeit zu treffen, kann über das Ultraschallverfahren der E-Modul abgeschätzt sowie über das Mikrowellenverfahren Dichteunterschiede und Inhomogenitäten detektiert werden.

Der Karbonatisierungsgrad des Betons lässt sich zurzeit weder berührungslos noch zerstörungsfrei ermitteln. Die Indikatortechnik ist ein zerstörendes Verfahren zur Bestimmung der Karbonisierungstiefe und kann nicht ohne erheblichen Forschungsaufwand automatisiert werden. Dieses stichprobenartige Verfahren ist vom Anwender manuell durchzuführen und kann nicht auf der Plattform integriert werden.

Die Bestimmung der Betondruckfestigkeit kann über die Korrelation mit der Ultraschallgeschwindigkeit erfolgen. Dieses Verfahren bietet die Möglichkeit zur Bestimmung weiterer oben genannter Kennwerte. Mit Hilfe des Rückprallverfahrens kann die oberflächennahe Druckfestigkeit des Betons ebenfalls abgeschätzt werden. Hierbei handelt es sich um ein in der Praxis bewährtes Verfahren.

Derzeit werden einige der vorgenannten Geräte beschafft und deren mechanische und messtechnische Integration an der Plattform konzipiert. Eine erste Erprobung für das erste Quartal 2008 vorgesehen.

3.3 Ausblick

Ein selbstfahrendes System bietet sich über den Einsatz an Parkdecks hinaus zur Schadenskartierung von flächenhaften Betonstrukturen wie Brücken und Industriefußböden an. Als Anwender des fahrbaren Diagnosegerätes kommen vor allem Prüfinstitute und Ingenieurbüros im Bereich der Betoninstandsetzung, die heute mit konventionellen Verfahren arbeiten, in Frage. Der Einsatz des Prüfsystems ermöglicht die umfassende Schadensdiagnose als Basis für ein erfolgreiches Instandsetzungskonzept. Durch eine umfassende Überwachung von Instandsetzungsmaßnahmen wird die Qualitätssicherung erst gewährleistet. Damit können zukünftig auch neue Dienstleistungen angeboten werden.

Durch die vollflächige Zustandsermittlung ergeben sich neue Möglichkeiten der Beurteilung des Bauwerkszustandes sowie der Festlegung wirtschaftlich und technisch sinnvoller Instandsetzungsmaßnahmen im Vergleich zur derzeitigen Untersuchungspraxis durch vereinzelte stichprobenartige Untersuchungen mit ausgewählten Verfahren.



Abbildung 7 BetoScan Logo

BetoScan ist ein Projekt aus dem Programm zur „Förderung von innovativen Netzwerken“ (Innonet, www.vdivde-it.de/innonet) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Laufzeit: 01.01.2007 bis 31.12.2009.

Projektpartner

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) - Koordinator, Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren (FhG-IZFP), Institut für Bauforschung RWTH Aachen (IBAC), Specht, Kalleja + Partner GmbH, Ingenieurbüro für Bauwesen (SKP), GPS GmbH Abteilung Robotics (Neobotix), Concrete Improvement Technologies GmbH (CITeC), Germann Instruments (GI), Acoustic Control Systems Ltd., Arxes Information Design Berlin GmbH, IGF Ingenieur-Gesellschaft, Sika Deutschland GmbH

Referenzen

- [1] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungsrichtlinie) Teil 1 bis 4, Berlin: Beuth Verlag (2001).
- [2] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Erläuterungen zu DIN 1045-1. Schriftenreihe des DAfStb Heft 525, Beuth Verlag (2003)

Abbildungs- und Quellenverzeichnis

1. Roboterplattform www.neobotix.de
2. Potentialfeldmessung www.ibac.rwth-aachen.de
3. Ultraschallmesskopf www.acsys.ru
4. Innonet www.vdivde-it.de/innonet
5. Quelle: Arbeitspaket 1.1 BetoScan
6. Quelle: www.citec-online.com
7. BetoScan www.betoscan.de