



Kontinuierliche Feuchteüberwachung in Ingenieurbauwerken mit MOIST MONITOR

Arndt GÖLLER, hf sensor, Leipzig

Kurzfassung. Feuchte stellt einen der großen Einflussfaktoren auf die Lebensdauer von Gebäuden aller Art dar. Vor allem Aussagen zu ihrem zeitlichen Verlauf helfen bei der Zustandsbeurteilung von Bauobjekten. Bisher wird jedoch die Feuchtemessung mangels geeigneter und robuster Sensoren in den meisten Fällen nicht dauerhaft durchgeführt, sondern nach den bekannten klassischen Verfahren zerstörend vorgenommen. Mit MOIST MONITOR, dem neuen Bauwerksüberwachungs- und -diagnose-System, ist eine kontinuierliche Überwachung und Aufzeichnung des Feuchtezustands an neuralgischen Punkten von Bauwerken möglich geworden. MOIST MONITOR beruht auf den bekannten und bewährten Prozess-Feuchtesensoren der MOIST-Serie. Diese werden in der Errichtungsphase oder nachträglich an wichtigen Punkten in das Bauwerk eingebracht und verbleiben dort langfristig.

Die eingesetzten Mikrowellen-Sensoren sind entsprechend stabil und langlebig ausgeführt. Sie überstehen ohne Probleme das Überfahren mit Walzenzügen oder Verdichtungsmaschinen. Mikrowellen-Sensoren arbeiten nach dielektrischen Messprinzipien und bieten daher besondere Vorteile für die Feuchtemessung. Sie arbeiten schnell und unabhängig von Salzeinflüssen, lassen sich robust ausführen und gut in Bauobjekte integrieren, haben eine hohe Feldreichweite und erfassen somit repräsentative Messvolumina.

MOIST MONITOR arbeitet mit einem integrierten Bussystem, mit dem bis zu 30 Sensoren über ein einziges Kabel an einer Auswerteeinheit betrieben werden können. Die Anzahl der insgesamt anschließbaren Feuchtesensoren ist frei wählbar und praktisch unbegrenzt. In der Auswerteeinheit werden die Feuchtedaten ausgelesen und aufgezeichnet. Es sind Messraten im Sekunden- bis Tagesrhythmus einstellbar. Die Aufzeichnung der Daten ist je nach Konfiguration über mehrere Wochen, Monate oder auch Jahre möglich.

Mit MOIST MONITOR lassen sich von allen sensiblen Stellen in Bauwerken kontinuierlich Feuchtwerte erfassen und damit deren zeitlicher Verlauf aufgenommen werden. Einem Feuchteintritt von außen oder innen und den damit verbundenen nachfolgenden Schädigungen kann auf diese Weise wirksam vorgebeugt werden.

Einführung

Der Schwerpunkt im Bauwesen verlagert sich seit Jahren zum Bauen im Bestand. Sanierung und Modernisierung machen heute den größten Anteil im Baugeschehen aus. Davon betroffen sind auch Ingenieurbauwerke.

Bei einem Gesamtwert der bestehenden Bausubstanz von rund 50 Billionen € ergeben sich bei angenommenen Lebensdauern von bis zu 100 Jahren riesige Summen für die Unterhaltungs- und Sanierungskosten. Eine Möglichkeit zur Kostenreduktion besteht in der Verlängerung der Lebensdauer bestehender Bauwerke in Verbindung mit einer präziseren Vorhersage der verbleibenden Nutzungsdauer. Einer der wichtigsten Wege dorthin führt über fortschrittliche Überwachungs- und Diagnostotechnologien.

Die Bedeutung derartiger Monitoringtechnologien wurde gerade in jüngster Zeit eindrucksvoll bestätigt durch Einstürze öffentlicher Bauwerke, wie z. B. der Eissporthalle in Bad Reichenhall oder der Messehalle in Katowice. Die Forderungen nach geeigneten Maßnahmen für die Überwachung der Bauwerkssicherheit durch permanentes Bauwerksmonitoring sind sehr viel lauter geworden. Die große Zahl bestehender und derzeit unkontrolliert alternder Bauwerke macht daher Bauwerksüberwachung nicht nur wirtschaftlich sinnvoll und notwendig, sondern aus Gründen der Sicherheit auch erforderlich. Mit Hilfe geeigneter Überwachungsmaßnahmen lassen sich Schäden in vielen Fällen frühzeitig erkennen und können so vermieden werden.

Feuchte ist neben mechanischen Belastungen und der Temperatur eine der wesentlichsten Einflussgrößen für Bauwerke. Wasser in beliebiger Form ist eine der Hauptursachen für Schäden in allen Bereichen des Bauwesens. In der Bauzustandsanalyse, bei der Sanierung der Altbausubstanz und für die Zustandsbeurteilung von Ingenieurbauwerken ist Feuchte eine wichtige Messgröße. Ein großer Teil von Feuchteschäden ließe sich durch rechtzeitige zerstörungsfreie Messungen oder geeignete Überwachungsmaßnahmen auf wirtschaftliche Weise erkennen und eindämmen, wodurch enorme Einsparungen für den Einzelnen und die Volkswirtschaft möglich wären.

Vor diesem Hintergrund hat hf sensor als technologisch führendes Unternehmen in der Feuchtediagnose in den vergangenen Jahren das Monitoringsystem MOIST MONITOR für Bauwerke konzipiert, welches eine kontinuierliche Feuchteüberwachung in verschiedensten bautechnischen Anwendungen ermöglicht. Erstmals sind damit robuste Feuchtesensoren kommerziell verfügbar, welche direkt in Bauobjekte eingebracht werden können und – falls erforderlich – auch eine integrierte Temperatursensorik aufweisen. Diese Sensoren widerstehen den harten Anforderungen beim Einbringen in Beton- und Erdbauwerke und ermöglichen eine lange Lebensdauer.

MOIST MONITOR beruht auf den bekannten und bewährten Mikrowellensensoren der MOIST-Serie. Diese werden in der Errichtungsphase oder nachträglich an wichtigen Punkten in das Bauwerk eingebracht und verbleiben dort langfristig. Die Mikrowellen-Sensoren vom Typ MOIST PP sind entsprechend stabil und langlebig ausgeführt. Über das integrierte Bussystem lassen sich bis zu 30 Sensoren an einer Auswerteeinheit betreiben. Die gewählten Mikrowellensensoren haben eine hohe Feldreichweite und erfassen damit repräsentative Messvolumina.

1. Mikrowellen-Feuchtemessung nach dem Reflexionsverfahren

Mikrowellen-Feuchtemessverfahren basieren auf den herausragenden dielektrischen Eigenschaften des Wassers. Der dielektrische Effekt ist bei Wasser so stark ausgeprägt, dass die relative Dielektrizitätskonstante (DK) von Wasser etwa 80 beträgt. Die relative DK der meisten Feststoffe, darunter auch der Baustoffe, ist wesentlich kleiner, sie liegt im Bereich 2 ... 10 und vorzugsweise zwischen 3 und 6. Der Messeffekt wird daher verursacht durch den Unterschied zwischen der DK von Wasser und der DK der Baustoffe.

Im Mikrowellen-Frequenzbereich kommt zum Realteil der DK aufgrund der internen Bindungskräfte auch der Imaginärteil oder anders gesagt die dielektrischen Verluste hinzu.

$$\varepsilon_r = \varepsilon_r' + j \varepsilon_r'' = \varepsilon_r' (1 + j \tan \delta_\varepsilon) \quad (1)$$

Die elektrischen Gesamtverluste $\tan \delta$ eines Materials setzen sich aus den dielektrischen Verlusten und den Leitfähigkeitsverlusten von Ionen (z. B. Salze) zusammen.

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon_r'}{\varepsilon_r''} + \frac{\kappa_{\text{ion}}}{\varepsilon_0 \varepsilon_r 2\pi f} \quad (2)$$

Aus (2) geht hervor, dass im Mikrowellenbereich die Einflüsse der Leitfähigkeit wegen der hohen Frequenz vernachlässigbar klein werden; es tragen nur noch die dielektrischen Eigenschaften des Wassers zu den Verlusten bei, so dass eine Verfälschung durch Salzeinflüsse ausscheidet. Mikrowellenfeuchtesensoren arbeiten daher praktisch versalzungsunabhängig.

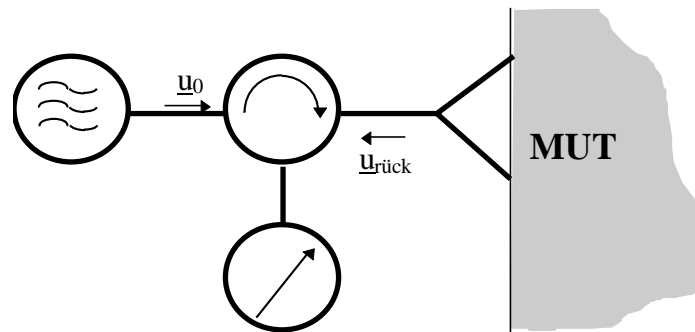


Abb. 1 Mikrowellen-Feuchtemessung nach dem Reflexions-Prinzip

Die heute üblicherweise für Feuchtemessungen an Bauwerken eingesetzten Sensoren arbeiten reflektiv, d. h. sie messen die feuchteabhängige Mikrowellenreflexion. Mittlerweile stehen diese Sensoren neben den in Handgeräten verwendeten und bereits sehr robusten Ausführungsformen auch als Prozesssensoren zur Verfügung, die Schutzgrade bis IP68 erreichen. Derartige Sensoren haben ein rundum dichtes Edelstahlgehäuse und können prinzipiell auch komplett in Wasser getaucht betrieben werden.

2. Mikrowellen-Feuchtesensoren für die Installation in Bauwerken

An Feuchtesensoren, die fest in Bauwerke eingebracht werden sollen, stehen besondere Anforderungen. Sie sind hohen mechanischen Belastungen ausgesetzt und müssen daher entsprechend robust sein. Baumaterialien sind in vielen Fällen nicht homogen, das Material ist besonders im Beton, aber teilweise auch im Erdbau stückig und teilweise grob. Die Sensoren dürfen nicht zu groß sein, um in verschiedene Aufbauten integrierbar zu bleiben. Baumaterialien in Verbindung mit Feuchte und Ionen sind chemisch aggressiv, so dass eingebaute Sensoren auch dieser Belastung widerstehen müssen.

Diese Voraussetzungen werden von den oben beschriebenen Prozesssensoren bereits im wesentlichen erfüllt, so dass gute Voraussetzungen für eine Anpassung auf bauwerksspezifische Umgebungen gegeben waren. In umfangreichen Untersuchungen wurden die Sensoren hohen mechanischen und chemischen Belastungen ausgesetzt. Eine Anpassung der Gehäusekonstruktion ermöglichte eine Reduzierung der Baugröße. Aufgrund des Edelstahlgehäuses kann nach dem Einbau eine Verdichtung auch mit schwerem Baugerät erfolgen.

Ein wichtiger Vorteil besteht in der Ausführung der Sensoren als Antennenstrukturen. Diese strahlen elektromagnetische Wellen in das Material ab, mit denen sich große

Messvolumina erfassen lassen. Für Anwendungen im Baubereich ist dies wegen der Stückigkeit des einzusetzenden Materials von elementarer Bedeutung.



Abb. 2 Mikrowellen-Feuchtesensor beim Einbringen ins Planum einer Straße

Die verwendeten Sensoren liefern an ihrem Ausgang bereits komplett digitale und standardisierte Signale und können somit über ein Bussystem angesprochen werden. Dies hat den großen Vorteil, dass einmal die Sensoren auch nach dem Einbringen ins Bauwerk über entsprechende Software noch konfiguriert werden können. Zum anderen ist für die Verbindung der Sensoren mit einer zentralen Steuerungseinheit nur ein Buskabel nötig, was erhebliche Kosteneinsparungen bei der Verkabelung z. B. in langgestreckten Bauwerken wie Straßen ermöglicht.

Die eingesetzte Steuerungseinheit MOIST CONTROL kann bis zu 30 Sensoren verwalten und weist außerdem verschiedene Funktionen eines Datenloggers auf. Sie zeichnet die Daten aller eingebauten Sensoren mit Datum und Uhrzeit auf. Sie kann entweder kontinuierlich z. B. über eine übergeordnete Steuerung oder diskontinuierlich in größeren Zeitabständen ausgelesen werden. Je nach Ausbaustufe und Detaillierungsgrad des Systems lassen sich über 100.000 Messwerte abspeichern. Mit der zugehörigen Software MOIST MONITOR LOG können die Daten aller Sensoren einzeln wie auch zusammengefasst ausgewertet werden.

Erstmalig steht damit für Bauanwendungen ein System mit verteilten Feuchtesensoren zur Verfügung, das Feuchtesignale von unterschiedlichen Einbauorten zusammenführt. Die Einbringung kann in verschiedenste Schichten oder Elemente von Bauwerken oder Straßenaufbauten erfolgen, so z. B. ins Planum, in die Frostschuttschicht oder in die Asphalttragschicht, in Abdichtungselemente oder deren Nähe, in Dachaufbauten oder an besonders exponierte Positionen von Gebäudefundamenten.

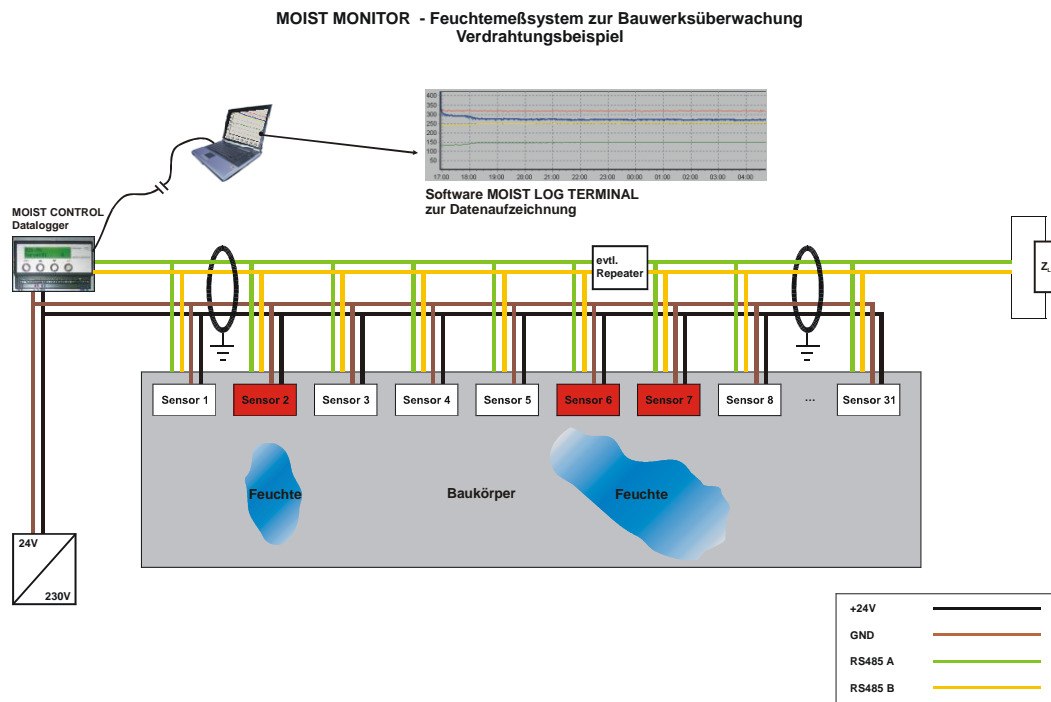


Abb. 3 Verdrahtungsbeispiel für ein Feuchtemonitoringsystem

3. Einsatzbeispiel Feuchtemessung im Straßenbau

Ein Beispiel soll die Einsatzmöglichkeiten von MOIST MONITOR veranschaulichen. Bei der Beurteilung des Zustandes von Straßenbauwerken spielt die Feuchte in den verschiedenen Trag- und Schutzschichten eine wesentliche Rolle. Aussagen zum Feuchtehaushalt sind in vielen Anwendungen äußerst wünschenswert, vor allem Aussagen zum zeitlichen Verlauf und über das Tiefenprofil der Feuchteverteilung.

Bisher wird jedoch die Feuchte mangels geeigneter und robuster Sensoren in den meisten Fällen nicht ermittelt. Wenn es zu einer Feuchtebestimmung kommt, dann wird diese nach den bekannten klassischen Verfahren zerstörend ausgeführt.

Die Aussagekraft derartiger einzelner und obendrein nur punktuell ausführbarer Messungen ist alles andere als gut. In vielen Fällen möchte man jedoch fundiertere Aussagen zum zeitlichen Verlauf der Feuchtebelastung haben. Gefragt sind auch Aussagen zum Feuchtegehalt in verschiedenen Horizonten.

Diese Anforderung wurde 2006 in einem Projekt zum Neubau einer Straße in Brandenburg umgesetzt. Diese wurde auf einer Länge von 1200 m mit Feuchtesensoren und zusätzlichen Temperatursensoren instrumentiert, um Informationen über den Feuchtehaushalt in Planum und Frostschuttschicht zu erhalten. Hintergrund war der Wunsch, Aussagen zum Feuchteverhalten verschiedener neuer in die Frostschuttschicht eingebrachter Materialien zu erhalten. Zu diesem Zweck wurden 24 Feuchtesensoren in 2 Horizonten in die Straße eingebracht und in ein Monitoring-System mit 2 Auswerteeinheiten eingebunden.

Zuerst erfolgte der Einbau der Sensoren in den oberen Bereich des verdichteten Planums. Die Sensoren wurden bereits vorkalibriert geliefert, jedoch wurde während des Einbringens auf der Baustelle noch einmal eine Feinkalibration durchgeführt. Den Abschluss des Einbauvorgangs bildete eine erneute Verdichtung am Einbauort. Im zweiten Schritt wurden die Sensoren nach demselben Schema in die Frostschuttschicht eingebracht.



Abb. 4 Feinkalibration der Feuchtesensoren

Die Sensorkabel wurden in beiden Ebenen jeweils zu einer Seite der Straße nach außen geführt und dort über Abzweigdosen an das Buskabel angeschlossen. In zwei Schaltschränken in der Mitte des zu überwachenden Straßenabschnitts befinden sich die Auswerteeinheiten. Diese fragen im Takt von einer Stunde jeweils alle 12 an ein MOIST CONTROL angeschlossenen Sensoren ab und speichern die Werte.

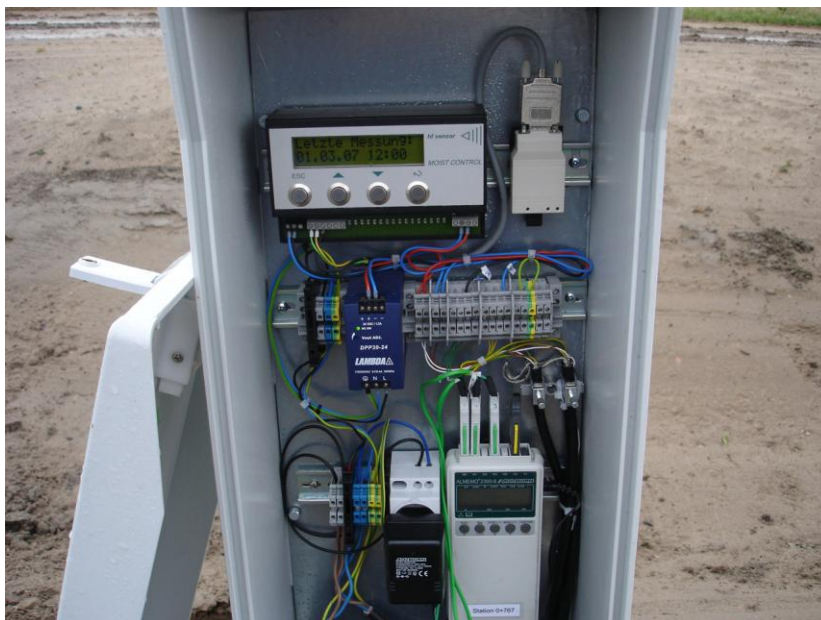


Abb. 5 Auswerteeinheit MOIST CONTROL im Schaltschrank

Über die Steuereinheiten können verschiedene Systemparameter wie die Messrate oder die Uhrzeit eingestellt und Statusmeldungen des Systems erfasst werden. Das Auslesen der Daten ist mit der Software MOIST LOG TERMINAL und einem normalen Notebook möglich. Diese Software ermöglicht die Archivierung der Messdaten, einfache Auswertungsprozeduren sowie die Veränderungen einiger Einstellungen im Monitoringsystem.

4. Zusammenfassung

Mit MOIST MONITOR lassen sich an neuralgischen Punkten von Bauwerken kontinuierlich Feuchtwerte erfassen. Einem Feuchteintritt von außen und den damit verbundenen nachfolgenden Schädigungen kann auf diese Weise wirksam vorgebeugt werden. Auf lange Sicht können so im Betrieb des mit MOIST MONITOR ausgerüsteten Objekts aufgrund der stets genauen Kenntnis des Bauwerkszustandes und der Möglichkeit zur Reaktion auf eventuell diagnostizierte Schäden noch während deren Entstehung erhebliche wirtschaftliche Einsparungen realisiert werden.