

(12)

Patentschrift

- (21) Anmeldenummer: A 1477/2003 (51) Int. Cl.⁸: **G01N 27/22** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 2003-09-18
(43) Veröffentlicht am: 2007-10-15

(30) Priorität:
28.09.2002 DE 10245411 beansprucht.

(73) Patentanmelder:
FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE
GMBH
D-76133 KARLSRUHE (DE)
METEOLABOR AG
CH-8620 WETZIKON (CH)

(72) Erfinder:
BRANDELIK ALEXANDER DR.
KARLSRUHE (DE)
HÜBNER CHRISTOF DR.
EDINGEN (DE)
RUPPERT PAUL
WETZIKON (CH)

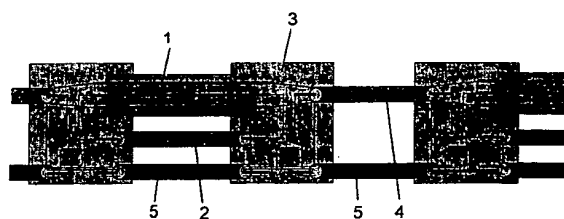
(54) FEUCHTESENSOR

(57) Die Erfindung betrifft einen Feuchtesensor bestehend aus einer mehradrigen Messleitung (1) und einem Phasen/Amplituden-Messgerät oder einem Zeitbereichs-Messgerät.

Die Aufgabe der Erfindung ist es, den Sensor so auszugestalten, dass er eine möglichst große und beliebig geformte Fläche bzw. eine Strecke bei hoher Ortsauflösung erfasst.

Gelöst wird diese Aufgabe durch mehrere mehradrigen Sektionen, die die Messleitung (1) bilden, parallel zu den Messleitungssektionen laufende abgeschirmte Bypassleitungen (2), Schalter (3) zwischen den einzelnen Messleitungs-Sektionen und den parallel dazu laufenden Bypassleitungen (2) zum Auswählen einzelner Messleitungs-Sektionen, wobei anstelle der nicht ausgewählten Messleitungs-Sektionen die entsprechenden Bypassleitungen (2) aktiviert sind und Mittel (6) zur Ansteuerung der Schaltung.

Fig. 1



Die Erfindung betrifft einen Feuchtesensor mit in Sektionen angeordneten Messleitungen zur orts aufgelösten Wassergehalts -bestimmung gemäß Patentanspruch 1.

Für viele Anwendungen ist es wichtig, den Wassergehalt und seine Verteilung in einem Material zu bestimmen. So können durch eine orts aufgelöste Feuchtebestimmung frühzeitig Leckagen in Bauwerken wie Staudämmen, Klärbecken, Deponieabdichtungen, Bauten im Grundwasser oder Schwimmbadbecken erkannt werden. Dies ermöglicht eine kleinräumige, günstige Reparatur von Schadstellen. Gleichzeitig werden damit erheblich Folgeschäden durch nicht erkannte Leckagen verhindert.

In der Landwirtschaft und Gärtnerei hängt die optimale Bewässerung von der großflächigen aber orts aufgelösten Messung der Bodenfeuchte ab. Eine geringe Wasserzufuhr führt zur Schädigung der Pflanzen, während eine zu starke Bewässerung ein Auswaschen der Nährstoffe und eine Versalzung verursacht. Auch stark beanspruchte Grünflächen wie auf Golfplätzen oder in Sportstadien bedürfen einer gezielten Bewässerung in Abhängigkeit der Bodenfeuchteverteilung.

Biofilter werden in zunehmenden Maße zur Reinigung von Abgasen eingesetzt. Ihre Wirkung hängt stark vom Wassergehalt ab, der im Biofilter eine sehr große örtliche Variabilität aufweist. Mit einer orts aufgelösten Feuchtemessung lassen sich diese Wassergehaltsunterschiede bestimmen und eine Bewässerungseinrichtung gezielt regeln. Dadurch wird die Funktionsfähigkeit des Biofilters gewahrt und die Umweltbelastungen reduziert. Darüber hinaus können kleinere, kostengünstigere Filteranlagen mit gleicher Wirkung wie unregelmäßige Anlagen eingesetzt werden.

Im Baubereich kommt es immer wieder zur Durchfeuchtung von Dämmkonstruktionen wie z.B. bei Flachdächern. Eine frühzeitige, orts aufgelöste Feuchtebestimmung ermöglicht auch hier die kostengünstige kleinräumige Reparatur. Darüber hinaus erreicht man eine Einsparung von Heizenergie, die ansonsten bei durchfeuchteter, aber noch nicht als fehlerhaft erkannter Dämmung aufgewendet werden muss.

Leckagen an Rohrleitungen wie z. B. zur Wasser- und Fernwärmeversorgung sollen ebenfalls erkannt und orts aufgelöst gemeldet werden. Dadurch lassen sich Reparaturen schneller ausführen und die Folgeschäden z. B. durch Versorgungsunterbrechungen minimieren.

In der Regel werden zur Feuchtebestimmung Sonden benutzt, die den Dielektrizitätskoeffizienten DK des zu untersuchenden Materials messen. Daraus lässt sich mit Hilfe von Kalibriermessungen die Feuchte ermitteln. Ein eingeführtes Verfahren ist die Zeitbereichs-Reflektionsmessung oder engl. Time Domain Reflektometrie (TDR) genannt. Sie beruht auf der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen entlang von Leitungen. Die elektrischen Eigenschaften von Leitungen und somit der Signalübertragung werden u.a. durch die charakteristische Impedanz, die Dämpfung und die Ausbreitungsgeschwindigkeit beschrieben. Diese Größen hängen bekannterweise von dem in der Regel verlustbehafteten Dielektrikum des Raumes ab, über den sich das elektrische Feld erstreckt. Dieser Raum ist bei koaxialen Leitungen durch die äußere Abschirmung begrenzt. In offenen Leitungssystemen wie der Doppelleitung (Lecher-Leitung) oder Drei- und Mehrfachleitungen dringt das Feld jedoch über die nächste Umgebung der Leiter hinaus. Eine dortige Änderung der Materialeigenschaften wie dem Wassergehalt ändert die obigen Übertragungseigenschaften.

Die Time Domain Reflectometry (TDR) zur Wassergehaltsmessung in Böden ist z.B. aus der Zeitschrift Wasser + Boden bekannt (*R. Rook, S. Melchior, G. Miehlich, „Die Time Domain Reflectometry (TDR) für die Wassergehaltsmessung in Böden“, Wasser + Boden Nr. 4, 1993*). Die dort vorgestellten typischen Sonden haben eine als offene Leitung gestaltete Messgabel mit sehr kurzer Messstrecke. Allgemein werden TDR-Sonden nur in Längen von einigen 10 Zentimetern gefertigt und angeboten. Im Deutschen Patent Nr. 19 501 196 wird ein Feuchtesensor

für ausgedehnte Schichten beschrieben, der wesentlich größere Leitungslängen erlaubt und mit Hilfe von Übersprechen an Leitungskreuzungen eine Ortsauflösung ermöglicht. Dieser Sensor ist hauptsächlich für flächenhafte Messaufgaben mit einfacher Geometrie geeignet. Eine Auflösung entlang linearer Strukturen wie z.B. Rohrleitungen ist nicht realisierbar. Die Ortsauflösung dieses Sensors hängt von der Zahl der möglichen Übersprechstellen ab und ist dadurch deutlich begrenzt. Eine Erhöhung der Ortsauflösung ist nur durch eine Vergrößerung der Anzahl der Messleitungen möglich was zu hohen Kosten und Installationsaufwand führt. Hook et al. (Hook, W. R., Livingston, N. J., Sun, Z. J. und P. B. Hook, "Remote Diode Shorting Improves Measurement of Soil Water by Time Domain Reflectometry", *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Nr 56, 1383-1391, 1992) beschreiben einen Feuchtesensor, der aus aneinandergereihten Leitungsstücken besteht, die durch Kurzschlußdioden voneinander abgetrennt werden können. Es lassen sich damit entlang einer Messleitung mehrere Teilstücke unterscheiden. Die maximale Länge des Sensors ist jedoch auf wenige Meter begrenzt. Nachteilig wirkt sich aus, dass das eingespeiste Signal zur Messung eines Teilstücks alle davorliegenden Messstrecken durchlaufen muss und dadurch stark gedämpft wird. Darüber hinaus erschweren die auftretenden Mehrfachreflexionen die Auswertung der Signale (siehe Sun, Z. J. und G. D. Young, 2001, "A cost effective soil moisture instrument based on time domain transmission measurement", *Proceedings of the Second International Symposium and Workshop on Time Domain Reflectometry for Innovative Geotechnical Applications, Evanston, September 5-7, 109-115*). Ein anderer Ansatz zur Ortsauflösung entlang einer Messstrecke wird von Schlaeger et al. beschrieben (Schlaeger, S, Huebner, C., Scheuermann, A. und J. Gottlieb, 2001, "Development and application of TDR inversion algorithms with high spatial resolution for moisture profile determination", *Proceedings of the Second International Symposium and Workshop on Time Domain Reflectometry for Innovative Geotechnical Applications, Evanston, September 5-7, 236-248*). Die reflektierten Signale werden durch einen aufwendigen mathematischen Algorithmus ausgewertet und das Feuchteprofil entlang der Messleitung ermittelt. Die mögliche Messlänge ist auch hier wegen der unvermeidlichen Dämpfung und Dispersion des Materials auf kürzere Strecken begrenzt.

Die Aufgabe der Erfindung ist einen Sensor so auszugestalten, dass er eine möglichst große und beliebig geformte Fläche bzw. eine Strecke bei hoher Ortsauflösung erfasst. Gelöst wird diese Aufgabe durch die Merkmale des Patentanspruchs 1.

Die Unteransprüche beschreiben vorteilhafte Ausgestaltungen des Sensors.

Die Erfindung wird im folgenden anhand eines Beispiels mit Hilfe der Figuren näher erläutert.

Dabei zeigt die Figur 1 den schematischen Aufbau eines Teils der Messleitung und die Fig. 2 das Schema einer Kompletten Messanordnung.

Die Fig. 1 zeigt einen Ausschnitt des Feuchtesensors. Eine Sektion des Feuchtesensors besteht aus einer Messleitung 1, einem Bypass 2 und einer Steuerleitung 5. Die einzelnen Sektionen werden über abgeschirmte Verbindungsleitungen 4 miteinander in Reihe geschaltet. Die Verbindungsleitungen können entfallen, wenn die Sektionen direkt hintereinander folgen sollen. Die Messleitungen 1 bestehen vorzugsweise aus mehradrigen offenen Leitungen. Vorteilhaft sind dreiadrige Flachbandkabel, deren beiden äußeren Leiter auf Masse gelegt sind. Dadurch erzielt man günstige Dämpfungseigenschaften und eine gute Anpassung an die Koaxialkabel der Bypass- und Verbindungsleitungen 2, 4. Gleichzeitig erweisen sich diese Flachbandkabel als mechanisch stabil, in gewissen Grenzen können sie Setzungen im Material folgen und sie lassen sich leicht verlegen und konfektionieren. Als Messleitung können auch nicht vollständig abgeschirmte Koaxialkabel (s.g. leckende Koaxialkabel) verwendet werden. Deren elektromagnetisches Feld greift durch die Abschirmung in den umliegenden Raum. Die Ausbreitungseigenschaften dieser Koaxialkabel wird deshalb durch den Wassergehalt beeinflusst. Geeignet sind auch Leitungen, wie sie im Deutschen Patent Nr. 198 33 331 "Feuchtesensor für Schichten" beschrieben sind.

Der Bypass und die Verbindungsleitungen 2, 4 sind als verlustarme Koaxialkabel ausgeführt. Zwischen den Sektionen, bzw. zwischen Sektionen und Verbindungsleitungen sind mechanische und/oder elektronische Schalter 3 angeordnet, die eine Umschaltung zwischen Bypass und Messleitung 2, 1 ermöglichen. Die Schalter 3 werden über Steuerleitungen 5 versorgt. Die Steuerleitungen können entfallen, wenn die Schalter an den Verbindungsstellen eine geeignete Dekodiereinrichtung besitzen, die eine Ansteuerung über die Messleitung und die Bypässe 1, 2 ermöglicht. Der Feuchtesensor kann wahlweise mit einem von drei Messverfahren betrieben werden, die sich im Hinblick auf Genauigkeit, Kosten und Verlegungsart unterscheiden.

Messverfahren 1 verwendet ein Zeitbereichsreflektometer. Über eine Ansteuerschaltung wird die zu messende Sektion ausgewählt. Die vor dieser Sektion liegenden Strecken werden durch die Schalter auf Bypass geschaltet. Der direkt nach der Sektion folgende Schalter wird auf den Bypass gelegt, so dass die Messleitung ein offenes Ende aufweist. Dort entsteht eine Reflektion des vom Zeitbereichsreflektometer ausgesandten Impulses. Aus der Laufzeit des Impulses kann abzüglich der Laufzeit der davorliegenden Bypass- und Verbindungskabel der Dielektrizitätskoeffizient entlang der Messleitung und daraus der Wassergehalt bestimmt werden. Zur Erhöhung der Genauigkeit kann dem Messvorgang eine Referenzmessung vorangestellt werden. Dazu legt man den vor der zu messenden Sektion liegenden Schalter auf Bypass und den nach der Sektion folgenden Schalter auf die Messleitung. Es erfolgt eine Reflektion am offenen Ende des Bypasses. Die daraus bestimmte Laufzeit kann mit der Laufzeit der eigentlichen Messung verrechnet werden und ermöglicht die Kompensation von temperaturabhängigen Längenänderungen der Bypässe und Verbindungsleitungen. Ein Vorteil dieses Messverfahrens ist, dass das Ende des Feuchtesensors nicht wieder an das Messgerät zurückgeführt werden muss. Dies ist günstig für die Messung entlang von Strecken wie z.B. bei der Überwachung von Rohrleitungen. Nachteilig ist, dass die Impulsanstiegszeit mit zunehmender Leitungslänge deutlich ansteigt und dadurch die Zeitauflösung und somit die Genauigkeit der Messung sinkt.

Messverfahren 2 verwendet ein Zeitbereichsmessgerät für Transmissionsmessungen. Über eine Ansteuerschaltung wird die zu messende Sektion ausgewählt. Die davor- und dahinterliegenden Strecken werden auf Bypass geschaltet. Ein eingespeister Impuls läuft durch die Bypässe vor der Sektion, durch die Messleitung und dann durch die Bypässe hinter der Sektion. Die Gesamtlaufzeit des Impulses abzüglich der Laufzeiten durch die Bypässe und Verbindungsleitungen ist ein Maß für den Dielektrizitätskoeffizienten entlang der Messleitung bzw. den Wassergehalt. Zur Erhöhung der Genauigkeit kann dem Messvorgang eine Referenzmessung vorangestellt werden. Dazu legt man alle Schalter auf Bypass. Die in dieser Konfiguration bestimmte Laufzeit kann mit der Laufzeit der eigentlichen Messung verrechnet werden und ermöglicht eine Kompensation von temperaturabhängigen Längenänderungen der Bypässe und Verbindungsleitungen. Ein Vorteil dieses Messverfahrens ist die kostengünstige Realisierung der Laufzeitmessung in Transmission mittels handelsüblicher Bauteile. Nachteilig ist, dass die Impulsanstiegszeit mit zunehmender Leitungslänge deutlich ansteigt und dadurch die Zeitauflösung und somit die Genauigkeit der Messung sinkt.

Messverfahren 3 verwendet ein Amplituden/Phasenmessgerät für Transmissionsmessungen. Über eine Ansteuerschaltung wird die zu messende Sektion ausgewählt. Die davor- und dahinterliegenden Strecken werden auf Bypass geschaltet. Die eingespeisten Signale erfahren eine Dämpfung und eine Phasendrehung. Die Phasendrehung abzüglich der Phasendrehung durch die Bypässe und Verbindungsleitungen ist ein Maß für den Dielektrizitätskoeffizienten entlang der Messleitung bzw. den Wassergehalt. Zur Erhöhung der Genauigkeit kann dem Messvorgang eine Referenzmessung vorangestellt werden. Dazu legt man alle Schalter auf Bypass. Die in dieser Konfiguration bestimmte Phasendrehung kann mit der Phasendrehung der eigentlichen Messung verrechnet werden und ermöglicht eine Kompensation von temperaturabhängigen Längenänderungen der Bypässe und Verbindungsleitungen. Dieses Messverfahren ist genauer als die Messverfahren 1 und 2. Voraussetzung ist jedoch, dass die Dämpfung der Messleitungen ausreichend hoch ist, um Mehrfachreflektionen zu unterdrücken (ca. 10 dB Dämpfung genügen). Mit einer Dämpfungsmessung wird dazu ein günstiger Frequenzbereich

ermittelt, in dem die Messung erfolgt. Noch höhere Genauigkeit erzielt man, wenn die Phasendrehung über mehrere Frequenzen aus diesem Bereich bestimmt und daraus die mittlere Phasensteilheit bildet, die wiederum mit dem Wassergehalt z. B. über eine Kalibrierung in Beziehung gesetzt werden kann.

5

Fig. 2 zeigt eine mögliche Verlegungsanordnung des Feuchtesensors zusammen mit einem Steuergerät 6. Typische Realisierungen sind z.B. Sensoren mit einer Länge von 100 m worin 20 Sektionen à 5 m enthalten sind.

10

Patentansprüche:

1. Feuchtesensor bestehend aus einer mehradrigen Messleitung und einem Phasen/Amplituden-Messgerät oder einem Zeitbereichs-Messgerät, *gekennzeichnet durch*
 - a) mehrere mehradrigen Sektionen (1), die die Messleitung bilden,
 - b) Parallel zu den Messleitungssektionen laufende abgeschirmte Bypassleitungen (2),
 - c) Schalter (3) zwischen den einzelnen Messleitungssektionen (1) und den parallel dazu laufenden Bypassleitungen (2) zum Auswählen einzelner Messleitungs-Sektionen (1), wobei anstelle der nicht ausgewählten Messleitungs-Sektionen (1) die entsprechenden Bypassleitungen (2) aktiviert sind und
 - d) Mittel (5) zur Ansteuerung der Schalter.
2. Feuchtesensor nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, das zwischen den einzelnen Messleitungs-Sektionen abgeschirmte Leitungen (4) zur Verbindung angeordnet sind.
3. Feuchtesensor nach einem der Ansprüche 1 bis 2, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Messleitungs-Sektionen (1) aus drei Leitern bestehen, wobei zwei Leiter mit einer gemeinsamen Abschirmung verbunden sind.
4. Feuchtesensor nach einem der Ansprüche 1 bis 2, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Messleitungs-Sektionen (1) nicht vollständig abgeschirmte Koaxialkabel sind.
5. Feuchtesensor nach einem der Ansprüche 1 bis 2, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Mittel (5) zur Ansteuerung der Schalter Steuerkabel und Versorgungskabel sind.
6. Feuchtesensor nach einem der Ansprüche 1 bis 2, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Mittel (5) zur Ansteuerung der Schalter (3) Dekodierschaltungen sind, die keiner getrennten Steuerleitung bedürfen, sondern über die Mess- und Bypassleitung (1, 2) angesprochen werden.
7. Feuchtesensor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Dämpfung der jeweils aktiven Messleitungs-Sektionen mindestens 10 dB beträgt.

45 **Hiezu 1 Blatt Zeichnungen**

50

55



Fig. 1

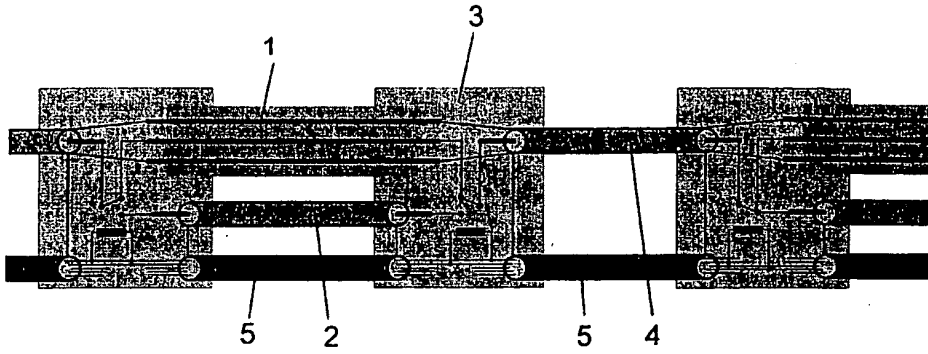


Fig. 2

