

# dTDR zur Prozesssteuerung der Kompostierung von Biomasse

*In einem durch das BMBF geförderten Kooperationsprojekt wurde gemeinsam mit IMKO die dTDR Technik zur dynamischen Erfassung der Bodenfeuchte entwickelt. Sie soll es nun unter anderem ermöglichen, Prozessabläufe bei der Kompostierung zu dokumentieren und zu regeln. Das Optimierungspotenzial bei der Prozessführung dieser Anlagen wird als außerordentlich hoch eingeschätzt.*

Die Entwicklung der dynamischen Time Domain Reflectometry (dTDR) zur unmittelbaren Erfassung des vorliegenden Feldwassergehaltes für die Verfahrenstechnik der Pflanzenproduktion mündet in vielversprechenden Ansätze zur Prozessdokumentation und -regelung [5]. Die Basispezifikation des Sensors ermöglicht eine exakte Wiedergabe der Substratfeuchte bis zu einer elektrischen Leitfähigkeit von etwa 15 mS/cm unter einer zeitlichen Auflösung von 1 Hz. Daraus ergeben sich vielversprechende Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Behandlung feuchter Biomasse.

## Systematische Entwicklung der dTDR-Technologie

Der dTDR-Sensor basiert auf der durch IMKO 1990 vorgestellten TRIME-Technologie, die eine volumetrische Wiedergabe des Bodenfeuchtegehaltes ermöglicht. Die Weiterentwicklung von TRIME zur dynamischen TDR-Technik wurde durch das BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) seit 2002 gefördert [1].

Der Prototyp des Sondenkörpers wurde gemäß den VDI-Richtlinien entwickelt, konstruiert und gefertigt [11]. Die funktionalen Elemente bestehen im Wesentlichen aus zwei Baugruppen. Die Sondenspitze dient zur vertikalen Trennung des Bodengefüges,

um den Messkörper in direkten Bodenkontakt zu bringen. Das Sondengehäuse, in das ein rechteckiges Sondenfenster mit dem Wellenleiter eingearbeitet ist, enthält gleichzeitig die zur Messung benötigte TRIME Elektronik. Diverse Gusselemente aus PVC dienen der Aussteifung der Konstruktion und dem Schutz der Elektronik.

Im ersten Schritt des Entwicklungsprozesses wurde die messtechnisch günstigste Anordnung der einzelnen Komponenten des dTDR-Sensors durch ein numerisch modelliertes elektromagnetisches Feld ermittelt (Matlab, Maxwell 2D). Als Ergebnis dieser Simulation konnte die maximale Bautiefe der Sonde durch eine Aussparung im PVC-Verguss des Sensors verringert werden.

Im zweiten Schritt wurden die geometrischen Vorgaben der Magnetfeldsimulation in die konstruktive Gestaltung des Sondenkörpers eingebunden. Dazu wurde die 3D-Geometrie des Sondenkörpers mit dem System CATIA modelliert und iterativ mit dem Modul *Product Function Optimizer* weiterentwickelt. Den einzelnen Elementen wurden die entsprechenden Materialeigenschaften zugewiesen und statische Randbedingungen für den Zusammenbau definiert. Im Rahmen des Optimierungsprozesses wurde eine mechanische Festigkeitsanalyse der gesamten Baugruppe mit der Finite-Elemente-Methode (FEM) durchgeführt. *Bild 1* (oben) zeigt

Dipl.-Ing. sc. agr. Cornelius Jantschke ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Fachgebiet Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion (Leiter Prof. Dr. K. Köller), Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart; e-mail: [cornelius.jantschke@uni-hohenheim.de](mailto:cornelius.jantschke@uni-hohenheim.de).  
Dipl.-Ing. Nikica Starcevic ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des Fachgebietes Agrartechnik in den Tropen und Subtropen (Leiter: Prof. Dr. J. Müller); e-mail: [nikica.starcevic@uni-hohenheim.de](mailto:nikica.starcevic@uni-hohenheim.de)

## Schlüsselwörter

TDR, dynamisch, Bodenfeuchte, Bioabfall, Biomasse

## Keywords

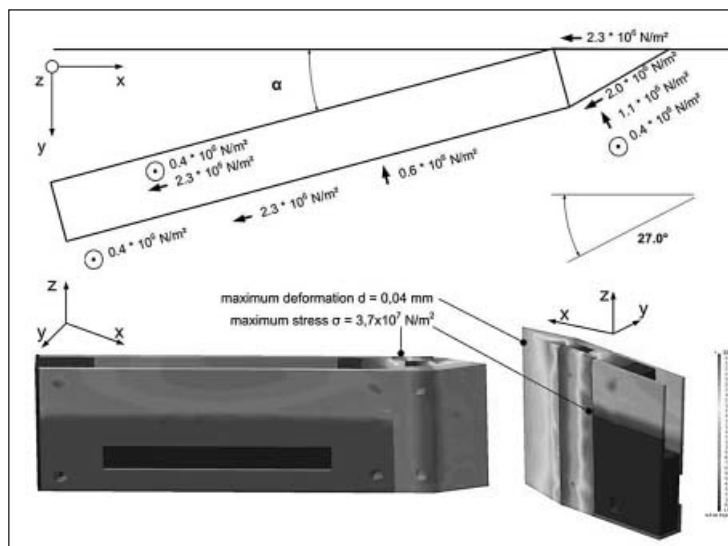
TDR, dynamic, soil moisture, bio waste, biomass

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 06SH09 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

*Bild 1: Momentaufnahme einer Lastfallkombination bei veränderlichen Anstellwinkeln (oben); FEM-Baugruppen-Strukturanalyse für den vorliegenden Lastfall (unten).*

*Fig. 1: Snap-reading of a load case with variable angles of incidence (above); FEM structural components analysis for the presented load case (below)*



exemplarisch für einen Betriebszustand die Lastannahmen auf den Sondenkörper im 3 D-Raum. Ergebnisse von [10] zeigten Lasten von 0,1 bis 0,7 N/mm<sup>2</sup> (Bodenrinne) und 0,3 bis 1,0 N/mm<sup>2</sup> (Feldversuche) für einen ähnlichen Körper. Untersuchungen von [3] und [4] stützen diese Aussage. [9] weist eine Maximallast von 2,3 N/mm<sup>2</sup> bei 16 % Vol. Wassergehalt aus. Diese verringert sich bei 25 % Vol. Wassergehalt auf 0,2 N/mm<sup>2</sup>.

Der Anstellwinkel  $\alpha$  wurde für verschiedene Betriebsszenarios variiert. Entsprechend ändern sich die resultierenden Kräfte. Der gezeigte Lastfall verdeutlicht eine spezifische Belastung des Sondenkörpers bei einer Bodendurchfahrt mit 2 m/s. Die berechnete resultierende Maximalverformung des Sondenkörpers wurde an der Sonden spitze lokalisiert. Die Verformung  $d$  an dieser Stelle beträgt 0,04 mm. In der Nähe des Sensorfensters tritt keine beachtenswerte Verformung auf, was den durch die Anforderungsanalyse festgelegten Werkstoff des Sondenfensters (Aluminium Oxid V38) vor Spannungsbruch schützt. Die maximale Van-Mises-Vergleichsspannung tritt am Verbindungsstoß zwischen der Fassung des Schneidkeils und der Sensorflanke auf und beträgt  $3,7 \cdot 10^7$  N/m<sup>2</sup>.

Der letztlich realisierte Sondenkörper zeichnet sich bei einer ökonomisch optimierten Sonden geometrie durch einen hohen IP - Schutzgrad zur uneingeschränkten Verwendung in der Landwirtschaft aus (IP 55: Schutz gegen Ablagerung von Staub; Schutz gegen Strahlwasser; EN 60529).

### Einsatzfeld „Verfahrenstechnik in der Abfallbehandlung“

Aus den genannten Eigenschaften des entwickelten dTDR-Sensors ergeben sich verschiedene Anwendungsmöglichkeiten bei der Behandlung biogener Reststoffe. Der Feuchtegehalt biogener Reststoffe variiert in einer Anlage ähnlich dem Bodenfeuchtegehalt auf einem Feld zeitlich und räumlich entsprechend der aktuell einwirkenden Umweltparameter. Mechanische Maßnahmen wie Mischen, Verdichten, Wenden können diese Dynamik verstärken. Die Spezifikationen der vorgenannten dTDR-Sonde decken

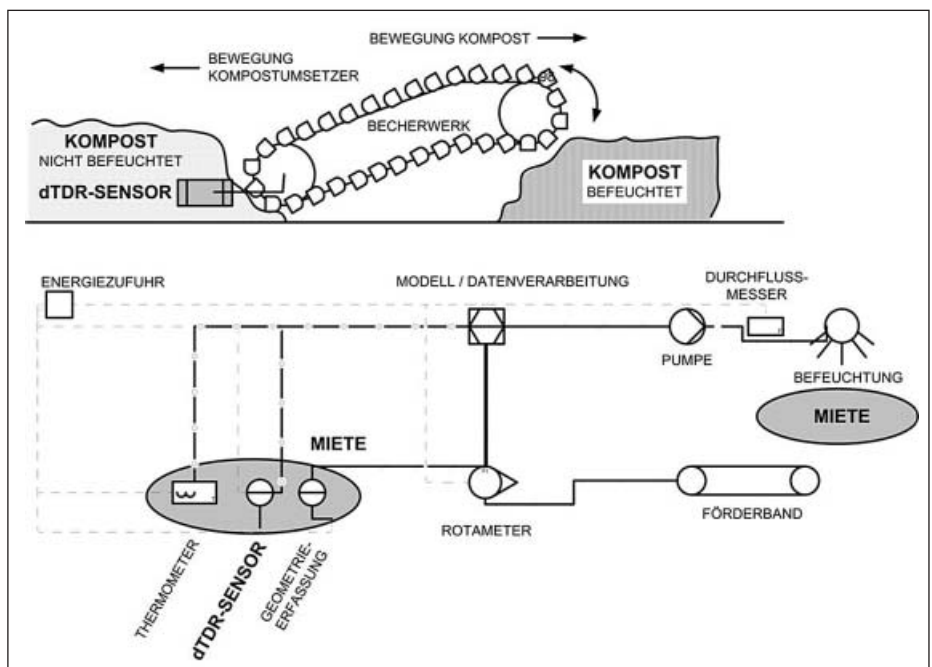


Bild 2: Prinzipskizze eines Kompostumsetzers mit implementierter dTDR-Feuchtemesstechnik

Fig. 2: Scheme of compost heap turners with implemented dTDR moisture measuring technique

den Bereich der Substratkennwerte von Kompost und Biomüll weitestgehend ab (Tab. 1), wodurch generell eine Anwendung der genannten Technik möglich wird. Die Zuverlässigkeit der Messung muss für biogene Reststoffe während weiterführender Versuche nachgewiesen werden.

### Beispiel „Kompostierung“

Während der Kompostierung von Biomüll ist neben der Sauerstoffversorgung und dem anzustrebenden Temperaturverlauf als Indikator mikrobiologischer Abbautätigkeit vor allem ein optimal eingestellter Wassergehalt für einen effektiven Prozessverlauf unentbehrlich. Die derzeitige Praxis in kontinuierlich betriebenen Anlagen besteht in einer subjektiven Bewertung des Rückbefeuchtungsbedarfs durch das Anlagenpersonal. Die Implementierung der dTDR-Messtechnik in Kompostierungsanlagen ermöglicht dagegen die exakte räumliche Quantifizierung des Kompostwassergehalts während der Überfahrt des Kompostumsetzers (Bild 2). Dadurch kann bei entsprechender Steuerung die Rückbefeuchtung in der Komposthalle in Echtzeit gesteuert werden. Die Regelung weiterer Prozessgrößen wie etwa Umsetzgeschwindigkeit und Durchmi-

schungsintensität kann ebenfalls über diese Messgröße realisiert werden. Relevante Aspekte zur Verbesserung der mikrobiologischen Prozesse in Kompostierungsanlagen wurden von [6, 8, 12] dokumentiert.

### Perspektive

Nach einer Reihe von Versuchen zur Evaluierung der vorliegenden Feuchteverteilung in biogenen Reststoffen erscheint eine Anwendung der kürzlich entwickelten dTDR-Technik sowohl in Kompostierungsanlagen als auch in einer Reihe ähnlicher Anlagen zur Behandlung und Verwertung biogener Reststoffe sinnvoll. Durch die genaue Bestimmung des Feuchtegehalts können Prozessabläufe räumlich spezifisch geregelt und optimiert werden. Die Anwendung zielt auf eine autonome Prozesssteuerung durch das Misch- und Förderaggregat und eine gleichzeitige Dokumentation der Prozesskennwerte ab. Die Realisierung einer entsprechenden Steuerung ist nach Berücksichtigung entsprechender mathematischer Modelle für biologische Aktivität möglich. Erste Laborversuche zeigten gute Ergebnisse hinsichtlich der Bestimmung wechselnder Substratzustände unter einer zeitlichen Auflösung von 1 Hz. Die Datendichte ist für die angestrebten Anwendungen bereits ausreichend. Systembegrenzend sind allerdings flache Messtiefen, da eine Mindestschütthöhe von 5 cm erreicht werden muss. Die Verwendung eines Sensors ermöglicht die Erfassung einer 3 cm hohen Substratschicht während der Durchfahrt. Die Erfassung zusätzlicher Daten (Schüttdichte, Substrattemperatur) ermöglicht einen weiteren substrat- und produktspezifischen Abgleich für die Prozesssteuerung. Weitere Testreihen sollen dafür die entsprechende Basis bilden.

	Boden	Biomüll	Kompost	Biomüll-gemisch*
pH	3.0 - 7.5	7.55	5.0 - 8.5	7.5
Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	1.1 - 1.8	0.7	0.35 - 1,1	0.5 - 0.7
Elektrische Leitfähigkeit [mS/cm]	0 - 0,9	2 - 5	2 - 7	2 - 3
Feuchtebereich (feucht) [% Vol]; feucht	50	55	90	40
Feuchtebereich (trocken) [% Vol]; trocken	2	50	30	20

\* Biomüll-/Papier-Gemisch (52 / 48)

Tab. 1: Relevante Kennwerte von Boden, Kompost, Biomüll und Biomüllgemisch (Auszug)

Table 1: Relevant parameters of soil, compost, biowaste and biowaste mixture (extract)