

Fachgebiet für Technik im Pflanzenbau
der Technischen Universität München

**Untersuchungen zur Integration
kontinuierlich arbeitender Feuchtemeßsysteme
in ausgewählte Futtererntemaschinen**

Georg Kormann

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät
Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt
der Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.- Prof. Dr. Dr. h.c. (AE Keszthely) J. Schön

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.- Prof. Dr. H. Auernhammer
2. apl. Prof. Dr. H. Schwanghart
3. Prof. Dr. Ir. Josse De Baerdemaeker,
Catholic University Leuven / Belgien
(schriftliche Beurteilung)

Die Dissertation wurde am 18.05.2001 bei der
Technischen Universität München eingereicht
und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan
für Ernährung, Landnutzung und Umwelt
am 16.11.2001 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XV
Abkürzungen und Symbole	XVII
1 Einleitung	1
1.1 Die Notwendigkeit der Qualitätskontrolle	1
1.2 Fehlende Informationen in der Futtererzeugung	2
2 Stand des Wissens	3
2.1 Physikalische Eigenschaften des Meßgutes	3
2.1.1 Eigenschaften des Wassers	3
2.1.2 Wasserbindungen in Feststoffen	4
2.1.3 Einflußfaktoren auf die Feuchtebestimmung	6
2.2 Begriffsdefinitionen für die Feuchtemessung	7
2.3 Verfahren zur Feuchtemessung in Feststoffen	9
2.3.1 Trockenschrankverfahren	11
2.3.2 Leitfähigkeitsmessung	12
2.3.3 Dielektrische Messung	12
2.3.4 Kapazitives Meßverfahren	14
2.3.5 Mikrowellenmeßverfahren	16
2.3.6 Infrarotmeßverfahren	17
2.3.7 Kernresonanzverfahren	19
2.3.8 Kernstrahlungsverfahren	20
2.3.9 Zusammenstellung der relevanten Feuchtemeßverfahren	21
2.4 Bekannte Feuchtemeßverfahren für Futtermüter	23
3 Zielsetzung	27
4 Material und Methoden	29
4.1 Feuchtigkeit als Qualitätsmerkmal von Ernteprodukten	30
4.2 Spezifikation der Futtererntemaschinen	31
4.2.1 Materialfluß und Anbaumöglichkeiten im Feldhäcksler	31

4.2.2	Materialfluß und Anbaumöglichkeiten in der Rundballenpresse	35
4.3	Anforderungen an die Feuchtemessung	37
4.4	Auswahl geeigneter Sensortechnik	40
4.4.1	Einsetzbare Feuchtemeßsysteme	40
4.4.2	Verfügbare Feuchtemeßsysteme	41
4.5	Aufbau eines Testprogramms für Feuchtesensoren	44
4.5.1	Prüfstandversuche an ruhendem Material	45
4.5.2	Prüfstandversuche mit bewegtem Gut	52
4.5.3	Praxisversuche	53
4.5.4	Verfahren zur Probenahme	58
4.6	Hard- und Software für die Datenverarbeitung	60
4.7	Versuchsauswertung	62
4.7.1	Auswertung der Meßergebnisse	62
4.7.2	Berechnung der Gesamtfeuchte	65
5	Ergebnisse	67
5.1	Ergebnisse der Laboruntersuchungen	68
5.1.1	Mikrowellenreflexionssysteme	69
5.1.2	Mikrowellentransmissionssysteme	73
5.1.3	NIR-Systeme	74
5.1.4	Kapazitive Feuchtemeßsysteme	84
5.2	Ergebnisse der Feldversuche	90
5.2.1	Genauigkeitsuntersuchung der Durchsatzermittlung mit dem radiometrischen Meßsystem	90
5.2.2	Vergleich der Probenahmeverfahren	93
5.2.3	Ergebnisse der NIR- Feuchtemeßsysteme	95
5.2.4	Ergebnisse der kapazitiven Feuchtemeßsysteme	103
6	Diskussion und Schlußfolgerung	111
6.1	Einordnung der Ergebnisse	111
6.1.1	Bewertung der Versuche zur Feuchtemessung im Labor	112
6.1.2	Bewertung der Feldversuche zur Durchsatzermittlung	115
6.1.3	Bewertung der Probenahme bei Feldversuchen	115
6.1.4	Bewertung der Praxisversuche zur Feuchtemessung	116
6.2	Verfahrenstechnische Einordnung	118
6.3	Weiterführende Arbeiten	121

7	Zusammenfassung	123
8	Summary	127
9	Literaturverzeichnis	131
10	Anhang	135
10.1	Anhang Material und Methoden	135
10.1.1	Theoretische Bewertung der Feuchtemeßverfahren	135
10.1.2	Übersicht der verfügbaren Feuchtemeßsysteme	141
10.1.3	Berechnungen für die schichtdickenabhängigen Versuche	144
10.1.4	Aufbereitung der Daten von den Feldversuchen	145
10.2	Anhang Ergebnisse	146
10.2.1	Einzelergebnisse Franz Ludwig H ₂ O	146
10.2.2	Einzelergebnisse Strandberg Type 6711	147
10.2.3	Einzelergebnisse MESA MM55	148
10.2.4	Einzelergebnisse Rütter Quadra Beam 6500	151
10.2.5	Einzelergebnisse Litronic FMS System	152
10.2.6	Überprüfung der Sortenunabhängigkeit	154
10.3	Darstellung der Informationen in Ertragskarten	156