

Lehrstuhl für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
der Technischen Universität München in Freising-Weihenstephan

Sensorgestützte Bonitur von Aufwuchs und Stickstoffversorgung bei Weizen- und Kartoffelbeständen

Josef Schächtl

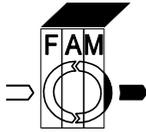
Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für
Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur
Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Agrarwissenschaften (Dr. agr.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. K.-J. Hülsbergen
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. G. Wenzel
2. Univ.-Prof. Dr. U. Schmidhalter

Die Dissertation wurde am 03.03.2004 bei der Technischen Universität München eingereicht
und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung
und Umwelt am 26.05.2004 angenommen



FORSCHUNGSVERBUND AGRARÖKOSYSTEME MÜNCHEN

Erfassung, Prognose und Bewertung nutzungsbedingter
Veränderungen in Agrarökosystemen und deren Umwelt

Josef Schächtl

**Sensorgestützte Bonitur
von Aufwuchs und Stickstoffversorgung
bei Weizen- und Kartoffelbeständen**

FAM - Bericht 65



GSF - Forschungszentrum
für Umwelt und Gesundheit



Technische Universität
München / Weihenstephan

Shaker Verlag
Aachen 2004

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugl.: München, Techn. Univ., Diss., 2004

Copyright Shaker Verlag 2004

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-3185-4

ISSN 0941-892X

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Literaturüberblick und Fragestellung.....	2
2.1	Zerstörungsfreie Verfahren zur Bonitur von Pflanzenbeständen.....	2
2.1.1	Reflexionsoptische Messungen	2
2.1.1.1	Grundlagen	2
2.1.1.2	Einflussfaktoren auf Reflexionsmessungen bei Pflanzenbeständen	5
2.1.1.3	Abbildung agronomisch relevanter Parameter mit Reflexionsmessungen.....	9
2.1.2	Messung der laser-induzierten Chlorophyll-Fluoreszenz	12
2.1.2.1	Emission von Fluoreszenzlicht durch Pflanzen	12
2.1.2.2	Einflussfaktoren auf die Charakteristik der Fluoreszenzstrahlung.....	17
2.1.2.3	Praktische Anwendung der laser-induzierten Chlorophyllfluoreszenz.....	23
2.2	Ertragsbildung und Stickstoffdüngung bei Weizen.....	24
2.2.1	Ertragsbildung und Stickstoffaufnahme von Weizenbeständen.....	24
2.2.2	Teilschlagbezogene Variation der Ertragsbildung bei Weizen	26
2.2.3	Optimierung der Stickstoffdüngung bei Weizen.....	27
2.3	Ertragsbildung und Stickstoffdüngung bei Kartoffel.....	30
2.3.1	Ertragsbildung und Stickstoffaufnahme von Kartoffelbeständen	30
2.3.2	Teilschlagbezogene Variation der Ertragsbildung bei Kartoffeln.....	32
2.3.3	Optimierung der Stickstoffdüngung bei Kartoffeln	32
2.4	Fragestellung der Arbeit.....	35
3	Material und Methoden.....	37
3.1	Feldversuche	37
3.1.1	Kartoffel	37
3.1.1.1	Teilschlagversuche am Standort Scheyern.....	37
3.1.1.2	Düngungs-/Sortenversuch am Standort Großeisenbach.....	40
3.1.2	Winterweizen	42
3.2	Witterung im Untersuchungszeitraum	45
3.2.1	Wetterstation Freising	45
3.2.2	Wetterstation Scheyern	47

3.3	Probenahme und Probenanalyse	48
3.3.1	Probenahme bei Kartoffel	49
3.3.2	Probenahme bei Weizen.....	50
3.3.3	Probenaufbereitung	50
3.3.4	Nährstoffuntersuchungen	52
3.4	Nichtdestruktive Messgeräte zur Bonitur von Pflanzenbeständen	53
3.4.1	Spektralsensorsystem	53
3.4.2	Fluoreszenz-Sensor	55
3.4.3	Weitere nichtdestruktive Messgeräte	58
3.5	Statistische Auswertung.....	58
3.5.1	Varianzanalytische Verrechnung	59
3.5.2	Regressionsanalytische Verrechnungen	59
4	Ergebnisse.....	61
4.1	Ertragsbildung und Stickstoffaufnahme von Weizenbeständen	61
4.1.1	Verlauf der Ertragsbildung.....	61
4.1.2	Verlauf der Stickstoffaufnahme	63
4.1.3	Kornertrag und Ertragsstruktur	66
4.1.4	N-Entzug durch das Korn und N-Verwertung	68
4.1.5	N-Saldo.....	69
4.2	Teilschlagbezogene Unterschiede der Ertragsbildung und Stickstoffaufnahme von Weizenbeständen	70
4.2.1	Verlauf der Ertragsbildung.....	70
4.2.2	Verlauf der Stickstoffaufnahme	71
4.2.3	Kornertrag und Ertragsstruktur	73
4.2.4	N-Entzug durch das Korn und N-Verwertung	76
4.2.5	N-Saldo.....	78
4.3	Ertragsbildung und Stickstoffaufnahme von Kartoffelbeständen	79
4.3.1	Einfluss der Steigerung von Mineraldüngergaben	79
4.3.1.1	Knollenertrag und Ertragskomponenten	79
4.3.1.2	Verlauf der Krautbildung	81
4.3.1.3	Verlauf der Knollenbildung	83
4.3.1.4	Verlauf der Stickstoffaufnahme des Krautes.....	85
4.3.1.5	Verlauf der Stickstoffaufnahme der Knollen	88
4.3.1.6	N-Saldo und N-Effizienz.....	89

4.3.2	Einfluss der Terminierung und Teilung von Mineraldüngergaben	91
4.3.2.1	Verlauf der Knollenbildung	91
4.3.2.2	Verlauf der Krautbildung	94
4.3.2.3	Verlauf der Stickstoffaufnahme des Krautes.....	95
4.3.2.4	Verlauf der Stickstoffaufnahme der Knollen	96
4.3.2.5	N-Saldo und N-Effizienz.....	97
4.4	Teilschlagbezogene Unterschiede der Ertragsbildung und Stickstoffaufnahme von Kartoffelbeständen	99
4.4.1	Charakterisierung der kleinräumigen Ertragsunterschiede	99
4.4.2	Verlauf der Ertragsbildung.....	101
4.4.2.1	Krautbildung.....	101
4.4.2.2	Knollenbildung.....	103
4.4.3	Verlauf der Stickstoffaufnahme	105
4.4.3.1	Stickstoffaufnahme des Krautes.....	105
4.4.3.2	Stickstoffaufnahme der Knollen.....	106
4.4.4	Teilschlagbezogene Reaktion der Ertragskomponenten auf Mineraldüngergaben.....	107
4.4.5	N-Saldo.....	111
4.4.6	Effekt der Staffelung der Mineraldüngergaben auf verschiedenen Teilschlägen	111
4.5	Reflexionsoptische Messungen bei Weizenbeständen.....	113
4.5.1	Reflexionsspektren von Weizenbeständen.....	113
4.5.2	Einflussfaktoren auf die Lage des HWP	114
4.5.3	Eignung der Vegetationsindizes zur Abbildung von Bestandesparametern	116
4.5.4	Einflussgrößen bei der reflexionsoptischen Bonitur der Bestandesparameter....	119
4.6	Reflexionsoptische Messungen bei Kartoffelbeständen.....	127
4.6.1	Charakterisierung der Reflexionsspektren mit dem Vegetationsindex HWP	127
4.6.2	Eignung der Vegetationsindizes zur Abbildung von Bestandesparametern	129
4.6.3	Einflussgrößen bei der reflexionsoptischen Bonitur der Bestandesparameter.....	132
4.6.4	Problematik der Messungen zu frühen Terminen	136
4.7	Messung der laser-induzierten Chlorophyll-Fluoreszenz bei Weizenbeständen	137
4.7.1	Fluoreszenzverhalten von Weizenbeständen.....	137
4.7.2	Einflussfaktoren auf die Ratio der laser-induzierten Chlorophyllfluoreszenz	138

4.7.3	Abbildung von Bestandesparametern durch die Ratio.....	141
4.7.4	Einflussgrößen bei der Bonitur der Bestandesparameter durch die laser- induzierte Chlorophyll-Fluoreszenz.....	144
4.7.5	Vergleichende Betrachtung des Messverfahrens der laser-induzierten Chlorophyll-Fluoreszenz zu den reflexionsoptischen Aufnahmen	146
5	Diskussion	150
5.1	Ertragsbildung und Stickstoffaufnahme.....	150
5.1.1	Winterweizen	150
5.1.2	Kartoffel	155
5.2	Zerstörungsfreie Verfahren zur Bonitur von Pflanzenbeständen.....	164
5.2.1	Erhebung der Messdaten	164
5.2.2	Reflexionsoptische Messungen bei Winterweizen.....	164
5.2.3	Reflexionsoptische Messungen bei Kartoffeln	170
5.2.4	Messung der laser-induzierten Chlorophyll-Fluoreszenz	173
5.3	Konzeption der Strategie einer teilschlagbezogenen variablen Stickstoffdüngung.....	176
5.3.1	Winterweizen	176
5.3.2	Kartoffel	178
5.3.3	Vergleichende Betrachtung der sensorgestützten Stickstoffdüngung bei beiden Kulturarten	179
6	Zusammenfassung	180
6.1	Winterweizen	180
6.2	Kartoffel	181
7	Literaturverzeichnis	182
	Anhang	