

Professur für Unternehmensforschung und Informationsmanagement  
der Technischen Universität München

**Data Mining und Wissensentdeckung im Precision Farming -  
Entwicklung von ökonomisch optimierten Entscheidungsregeln zur  
kleinräumigen Stickstoff-Ausbringung**

Georg Weigert

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. Dr. h. c. A. Heißenhuber

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. P. Wagner,  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
2. Univ.-Prof. Dr. H. Auernhammer
3. Univ.-Prof. Dr. L. Reiner, i. R.

Die Dissertation wurde am 22.02.2006 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 23.06.2006 angenommen.

## **Vorwort**

Nach Abschluss meiner Dissertation möchte ich allen herzlich danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben:

Herrn Prof. Dr. Wagner für die Überlassung des Themas und die Betreuung, für seine Hinweise und Anregungen, aber vor allem auch für seine Förderung und Unterstützung und den gewährten Freiraum.

Herrn Prof. Dr. Auernhammer, dem Sprecher der DFG Forschergruppe IKB-Dürnast, für seinen unermüdlichen und engagierten Einsatz für das IKB-Projekt sowie für die Übernahme des Koreferats.

Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. Heißenhuber für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Herrn Prof. Dr. Schmidhalter und Herrn Dr. Maidl für die umfangreiche Unterstützung bei der Versuchsdurchführung.

Danken möchte ich auch allen Kolleginnen und Kollegen an der Professur für Unternehmensforschung und Informationsmanagement, am Lehrstuhl für Volkswirtschaftslehre sowie allen Mitgliedern der DFG Forschergruppe IKB-Dürnast für eine erlebnisreiche und schöne Zeit.

Nicht zuletzt gehört mein Dank meiner Familie und meinen Freunden.

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	<b>Problemstellung und Zielsetzung.....</b>	<b>4</b>
1.2	<b>Aufbau dieser Arbeit.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Wissensentdeckung in Datenbanken .....</b>	<b>8</b>
2.1	<b>Data Mining und Wissensentdeckung in Datenbanken.....</b>	<b>8</b>
2.2	<b>Die Aufgabe des überwachten Lernens.....</b>	<b>10</b>
2.3	<b>Der Prozess der Wissensentdeckung in Datenbanken.....</b>	<b>14</b>
2.4	<b>Datenvorbereitung und Exploration .....</b>	<b>15</b>
2.4.1	Regeln zur Datenvorbereitung.....	16
2.4.2	Merkmalsraum und Qualität von Daten .....	17
2.4.3	Veränderungen des Merkmalsraumes .....	20
2.5	<b>Data Mining mit künstlichen neuronalen Netzen.....</b>	<b>23</b>
2.5.1	Aufbau und Technik .....	24
2.5.2	Lernverfahren .....	27
2.5.3	Erweiterungen für ein optimiertes Lernen.....	29
2.6	<b>Data Mining mit Entscheidungsbaumverfahren.....</b>	<b>34</b>
2.6.1	Aufbau und Technik .....	35
2.6.2	Konstruktion eines Entscheidungsbaumes .....	37
2.6.3	Pruning-Techniken und spezialisierte Algorithmen.....	39
2.7	<b>Verifikation, Evaluation und Erkenntnisgewinn .....</b>	<b>40</b>
2.7.1	Leistungsvorhersage bei begrenztem Datenumfang.....	40
2.7.2	Erkenntnisgewinn .....	43
<b>3</b>	<b>Forschungsstand der Bereiche Stickstoffdüngung, Precision Farming und Data Mining.....</b>	<b>45</b>
3.1	<b>Schnittmenge I: Stickstoffdüngung und Precision Farming .....</b>	<b>45</b>
3.1.1	Stickstoffdüngung bei Winterweizen .....	46

---

3.1.2	Teilflächenspezifische Stickstoff-Applikation .....	50
3.1.3	Kleinräumige Sensordaten .....	55
<b>3.2</b>	<b>Schnittmenge II: Precision Farming und Data Mining .....</b>	<b>61</b>
<b>4</b>	<b>Entwicklung von Entscheidungsregeln zur kleinräumigen Stickstoff-Ausbringung .....</b>	<b>68</b>
<b>4.1</b>	<b>Ziel und Überblick eines modifizierten WED-Prozesses .....</b>	<b>68</b>
<b>4.2</b>	<b>Material: Versuchsanlagen und Versuchsdurchführung .....</b>	<b>70</b>
4.2.1	Versuchsanlagen und Versuchsdurchführung TU München-Weihenstephan.....	72
4.2.2	Versuchsanlage und Versuchsdurchführung Görzig .....	78
4.2.3	Witterung und Pflanzenentwicklung im Untersuchungszeitraum.....	83
4.2.4	Standortbeschreibung .....	85
<b>4.3</b>	<b>Datenquellen, Datenattribute und Datenvorverarbeitung .....</b>	<b>85</b>
4.3.1	Datenvorverarbeitung IKB-Versuche .....	87
4.3.2	Datenvorverarbeitung der Versuche in Görzig.....	91
4.3.3	Fazit Datenvorverarbeitung .....	94
<b>4.4</b>	<b>Umsetzung: Entwicklung von Entscheidungsregeln und Extraktion von Mustern .....</b>	<b>95</b>
4.4.1	Teilflächenspezifische Ertragsprognose .....	96
4.4.2	Ökonomische Optimierung von N-Gaben mittels trainierter neuronaler Netze zur Ertragsprognose.....	101
4.4.3	Extraktion von ökonomisch optimierten Entscheidungsregeln.....	104
4.4.4	(Vor-)Überlegungen zur Extraktion von Mustern.....	105
<b>4.5</b>	<b>Data Mining I: Versuch Schafhof 02 .....</b>	<b>111</b>
4.5.1	Datenexploration .....	111
4.5.2	Ertragsprognose für die zweite N-Applikation .....	114
4.5.3	Ertragsprognose zur dritten Stickstoff-Applikation .....	116
4.5.4	Zwischenfazit .....	119
<b>4.6</b>	<b>Data Mining II: Versuch D4 03.....</b>	<b>119</b>
4.6.1	Datenexploration .....	120

---

4.6.2	Data Mining bei begrenztem Datenumfang .....	122
4.6.3	Ertragsprognose und Entscheidungsregeln zur ersten N-Applikation.....	123
4.6.4	Ertragsprognose und Entscheidungsregeln zur zweiten N-Applikation.....	128
4.6.5	Ertragsprognose und Entscheidungsregeln zur dritten N-Applikation.....	131
4.6.6	Zwischenfazit .....	135
<b>4.7</b>	<b>Data Mining III: Versuch Görzig 04 .....</b>	<b>136</b>
4.7.1	Datenexploration .....	136
4.7.2	Erste Stickstoff-Applikation.....	141
4.7.3	Zweite Stickstoff-Applikation.....	148
4.7.4	Dritte Stickstoff-Applikation.....	153
4.7.5	Zwischenfazit .....	157
<b>4.8</b>	<b>Verifikation und Erkenntnisgewinn des WED-Prozesses .....</b>	<b>159</b>
4.8.1	Ergebnisse der Feldversuche .....	159
4.8.2	Extrahierte Muster .....	163
<b>5</b>	<b>Diskussion und Schlussfolgerungen.....</b>	<b>168</b>
5.1	Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse .....	168
5.2	Wissensentdeckung in Datenbanken und Precision Farming.....	173
5.3	Verbesserungspotenzial und Ausblick .....	177
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>182</b>
<b>7</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>186</b>
<b>8</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>199</b>