

Institut für Landtechnik  
der Technischen Universität München  
in Weihenstephan  
Direktor: Univ.-Prof. Dr.agr. Dr.h.c. (AE Keszthely) J. Schön

## **Rechnergestützte Östrusüberwachung bei Milchkühen unter Anwendung der Fuzzy-Logic-Methode**

von

**Yong Yang**

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau  
der Technischen Universität München  
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Agrarwissenschaften

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. A. Heißenhuber

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. Dr.h.c. (AE Keszthely) J. Schön
2. Univ.-Prof. Dr. P. Wagner

Die Dissertation wurde am 10. 06. 1998 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau am 22. 06. 1998 angenommen.

Inhalt

|   | Seite     |
|---|-----------|
| Inhaltsverzeichnis .....  | I         |
| Verzeichnis der Abbildungen .....                                     | V         |
| Verzeichnis der Tabellen .....  | VII       |
| Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole .....                         | VIII      |
| <br>  |           |
| <b>1. Einleitung und Problemstellung .....</b>                        | <b>1</b>  |
| <br>  |           |
| <b>2. Stand des Wissens .....</b>                                     | <b>4</b>  |
| 2.1 Physiologie während des Brunstzyklus der Milchkuh .....           | 4         |
| 2.1.1 Steuerung der Geschlechtstätigkeit durch Hormone .....          | 4         |
| 2.1.2 Brunstzyklus der Milchkühe .....                                | 6         |
| 2.1.3 Körpertemperatur im Brunstzyklus .....                          | 11        |
| 2.1.4 Milchttemperatur im Brunstzyklus .....                          | 14        |
| 2.1.5 Physiologisches Verhalten der brünstigen Milchkühe .....        | 16        |
| 2.2 Sensoren zur rechnergestützten Erfassung der Brunstsymptome ..... | 16        |
| 2.2.1 Sensoren am Melkzeug .....                                      | 19        |
| 2.2.2 Bewegungssensor .....   | 19        |
| 2.2.3 Sensor zur Krafftuteraufnahmemessung .....                      | 19        |
| 2.3 Auswertemethode und bisherige Ergebnisse .....                    | 20        |
| <br>  |           |
| <b>3. Zielsetzung .....</b>   | <b>23</b> |
| <br>  |           |
| <b>4. Material und Methode .....</b>                                  | <b>25</b> |
| 4.1 Datengrundlage .....  | 25        |
| 4.2 Fuzzy-Logic .....   | 26        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 4.2.1     | Linguistische Variablen .....                                | 29        |
| 4.2.2     | Zugehörigkeitsfunktionen .....                               | 30        |
| 4.2.3     | Unscharfe Mengen .....                                       | 33        |
| 4.2.4     | Fuzzy-Inferenz .....   | 35        |
| 4.2.5     | Operatoren der Fuzzy-Logic .....                             | 36        |
| <b>5.</b> | <b>Entwicklung des Managementsystems .....</b>               | <b>39</b> |
| 5.1       | Entwicklungsumgebung des Managementsystems .....             | 39        |
| 5.1.1     | Programmierwerkzeug .....                                    | 39        |
| 5.1.2     | Objekt- und ereignisorientierte Programmierung .....         | 41        |
| 5.1.3     | Objekte, Eigenschaften, Methoden und Ereignisse .....        | 43        |
| 5.1.4     | Einschreiben des Programms .....                             | 45        |
| 5.2       | Strategie der Systementwicklung .....                        | 46        |
| 5.3       | Benutzeroberfläche zur Datenverarbeitung .....               | 49        |
| 5.4       | Benutzeroberfläche zur Textverarbeitung .....                | 51        |
| 5.5       | Fehlerbehandlung .....                                       | 52        |
| 5.6       | Entwicklung des Hilfe-Systems .....                          | 53        |
| <b>6.</b> | <b>Entwicklung der Algorithmen zur Brunsterkennung .....</b> | <b>56</b> |
| 6.1       | Analyse von Parametern .....                                 | 56        |
| 6.1.1     | Aktivität .....  | 56        |
| 6.1.2     | Milchleistung .....  | 60        |
| 6.1.3     | Krafftutteraufnahme .....                                    | 63        |
| 6.1.4     | Folgerung aus der Analyse der drei Parameter .....           | 65        |
| 6.2       | Zugehörigkeitsfunktionen .....                               | 67        |
| 6.2.1     | Zugehörigkeitsfunktionen „Aktivität“ .....                   | 67        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 6.2.2     | Zugehörigkeitsfunktionen „Milchleistung“ .....                       | 69        |
| 6.2.3     | Zugehörigkeitsfunktionen „Brunst“ .....                              | 70        |
| 6.3       | Mathematische Ausdrücke für die Zugehörigkeitsfunktionen .....       | 71        |
| 6.3.1     | Mathematische Ausdrücke für die Aktivität.....                       | 72        |
| 6.3.2     | Mathematische Ausdrücke für die Milchleistung .....                  | 72        |
| 6.3.3     | Mathematische Ausdrücke für die Brunst.....                          | 73        |
| 6.4       | Inferenzstrategie und ingenieurmäßiges „Know-how“ .....              | 74        |
| 6.5       | Algorithmen zur Brunsterkennung .....                                | 76        |
| 6.6       | Brunsterkennung im Managementsystem .....                            | 79        |
| 6.6.1     | Fuzzifizierung .....   | 80        |
| 6.6.2     | Fuzzy-Inferenz.....  | 83        |
| 6.6.3     | Defuzzifizierung .....   | 86        |
| 6.6.4     | Ausführung der Östruserkennung im Managementsystem .....             | 91        |
| <b>7.</b> | <b>Modellüberprüfung und Ergebnisse .....</b>                        | <b>92</b> |
| 7.1       | Überprüfung des Erkennungsmodells in Fuzzy-Logic .....               | 93        |
| 7.2       | Überprüfung des Erkennungsmodells in vereinfachter Fuzzy-Logic... .. | 94        |
| 7.3       | Überprüfung der Brunsterkennung durch die Aktivität.....             | 95        |
| 7.4       | Vergleich der Überprüfungsergebnisse .....                           | 96        |
| <b>8.</b> | <b>Diskussion .....</b>  | <b>99</b> |
| 8.1       | Betriebssystem Windows .....   | 99        |
| 8.2       | Programmiersprache Visual Basic .....                                | 100       |
| 8.3       | Fuzzy-Logic .....  | 100       |

---

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 8.4        | Ausgewählte Parameter .....   | 102        |
| 8.5        | Vergleichen mit bisherigen in der Literatur bekannten Methoden .... | 103        |
| <b>9.</b>  | <b>Zusammenfassung.....</b>   | <b>104</b> |
| <b>10.</b> | <b>Literaturverzeichnis .....</b>                                   | <b>107</b> |
|            | <b>Anhang .....</b>   | <b>115</b> |