

# Statistische Modelle für die Erkennung von Euterkrankheiten in AMS

*Die Zuverlässigkeit der Früherkennung von Euterkrankheiten in AMS ist unzureichend. Zur Erhöhung der diagnostischen Sicherheit müssen ergänzende Kriterien für die Mastitis-Erkennung ermittelt werden. Von einer Herde von 105 Kühen, welche in zwei AMS gemolken werden, wurden die Parameter Milchbildungsrate, Milchfluss und Zwischenmelkzeit einzeln sowie in Kombination mit der elektrischen Leitfähigkeit analysiert. Während Ein-Parameter-Modelle die höheren Spezifitätswerte aufzeigten, wurden für die Verknüpfung der vier Eingangsparameter durch Indexmodelle durchgehend die besseren Sensitivitätswerte festgestellt.*

Stefan D. Köhler ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte (IASP) an der Humboldt-Universität zu Berlin, Invalidenstr. 42, 10115 Berlin; e-mail: stefan.d.koehler@agrar.hu-berlin.de.

Prof. Dr. Otto Kaufmann ist tätig am Institut für Nutztierwissenschaften der Humboldt-Universität zu Berlin, Philippstr. 13, 10115 Berlin. Die Arbeit wurde gefördert aus Mitteln des Vereins für Agrar- und Stadtökologische Projekte e.V.

## Schlüsselwörter

Eutergesundheit, AMS, Melkparameter, Milchparameter, statistische Modelle

## Keywords

Udder health, AMS, milking parameters, milk parameters, statistical models

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 02606 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

**E**utergesundheit und Milchqualität erlangen bei automatischen Melksystemen (AMS) wegen der gesetzlichen Anforderungen zur Milchhygiene eine besondere Bedeutung, weil die visuelle Kontrolle durch den Melker entfällt. Gegenwärtig ist in AMS-Betrieben die Diagnostik von klinischen und subklinischen Mastitiden jedoch kaum gewährleistet [1, 2]. Ziel war daher, angenommene Zusammenhänge zwischen Melk- und Milchparametern einerseits und der Eutergesundheit andererseits auf einfache Weise zu modellieren.

## Material und Methoden

Im untersuchten Betrieb werden etwa 105 Holstein-Kühe mit einer mittleren Laktationsleistung von 6500 bis 7000 kg an zwei AMS („Astronaut“, Lely Melksysteme) gemolken. Der Gesundheitsstatus der Euterviertel ist unter Verwendung der Empfehlungen der DVG (1994) bewertet worden. Als „auffällig“, also mehr oder weniger krank, wurden Euterviertel bezeichnet, für welche Zellgehalte von >100000 und ein positiver bakteriologischer Befund registriert wurden. „Unauffällig“ bedeutet demgegenüber Zellgehalte von < 100000 Zellen und das Fehlen eines positiven Befundes. Als „positiver Befund“ wurden klinische Sekretveränderungen oder der Nachweis von Mastitisserregern eingestuft. Bedeutsame klinische Euterveränderungen sind berücksichtigt worden (atrophische, derb-umfangsvermehrte, großknotige Viertel).

An fünf aufeinanderfolgenden Tagen (März 2002) sind an beiden AMS ununterbrochen die Einzelgemelke aller Euterviertel mit acht Geräten vom Typ „LactoCorder low flow“ (WMB AG) erfasst worden. Als

Milchfluss fanden die Messwerte DMHG (durchschnittliches Minutenhauptgemelk) Verwendung. Die standardmäßig nicht angezeigten Werte ELHMF (elektrische Leitfähigkeit während des höchsten Milchflusses) konnten nach vorhergehender Manipulation der Datei „Lacto.ini“ ausgelesen und verarbeitet werden. Für die Berechnung der Zwischenmelkzeit sind die Zeiteinträge aufeinanderfolgender Datensätze voneinander subtrahiert worden. Die Milchbildungsrate ergibt sich als Quotient der Messwerte MGG (maschinelles Gesamtgemelk) und der zugehörigen Zwischenmelkzeiten.

Um krankhafte Veränderungen erkennen zu können, bietet sich die Normierung aktueller Messwerte mit Hilfe von viertelspezifischen Normalwerten an. Stand der Technik in AMS ist es, anhand des arithmetischen Mittels von n vorangegangenen Messungen zu normieren (gleitender Mittelwert). Dieses Vorgehen berücksichtigt bislang jedoch nicht die viertelindividuell sehr unterschiedliche physiologische Schwankungsbreite von „normalen“ Messwerten. Unterstellt man eine Normalverteilung der Merkmalsausprägungen gesunder Euterviertel, so bildet für diese Schwankungsbreite die Standardabweichung ein statistisches Maß. Normalwert eines Parameters wäre dann der gleitende Mittelwert zuzüglich eines gewissen Teils (zum Beispiel die Hälfte) der Standardabweichung:

- Milchbildungsrate:  
 $w_{\text{norm}} = (w / (\text{Mittelwert} - 0,5 \cdot s))$
- Milchfluss:  
 $x_{\text{norm}} = (x / (\text{Mittelwert} - 0,5 \cdot s))$
- Zwischenmelkzeit:  
 $y_{\text{norm}} = (y / (\text{Mittelwert} + 0,5 \cdot s))$
- Leitfähigkeit:  
 $z_{\text{norm}} = (z / (\text{Mittelwert} + 0,5 \cdot s))$

Tab. 1: Vergleich der normierten Parameterwerte (U=unauffällig, A=auffällig)

Table 1: Comparison of the standard parameter data

	MBR		MF		ZMZ		LF	
	U	A	U	A	U	A	U	A
MW	1,02	0,83	1,04	0,91	0,93	1,00	0,99	1,06
s	0,21	0,23	0,16	0,20	0,22	0,18	0,04	0,09
Min	0,31	0,41	0,60	0,51	0,51	0,61	0,86	0,90
Max	1,76	1,80	1,79	1,68	1,91	1,47	1,13	1,34
t-Wert	5,491		4,858		1,975		9,237	

Die Mittelwertdifferenzen sind statistisch mindestens signifikant ( $p < 0,05$ ). Kritische t-Werte;  $\alpha = 0,1:1,653$ ;  $\alpha = 0,01:2,601$ ;  $\alpha = 0,001:3,340$ .

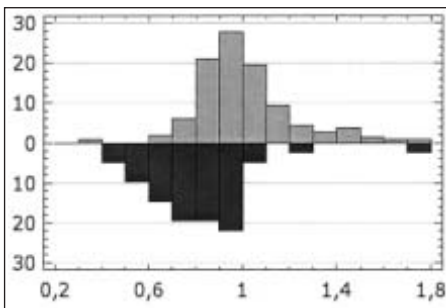


Bild 1: Vergleich der relativen Häufigkeitsverteilung (links, in %) für die normierte Milchbildungsrate „unauffälliger“ (oben) und „auffälliger“ (unten) Euterviertel

Fig. 1: Comparison of the relative frequency distribution (left in %) for the standardized milk production rate of „inconspicuous“ (above) and „conspicuous“ (below) udder quarters.

wobei  $w_{norm}$ ,  $x_{norm}$ ,  $y_{norm}$  und  $z_{norm}$  die normierten Parameterwerte,  $w$ ,  $x$ ,  $y$  und  $z$  die absoluten Messwerte,  $s$  die Standardabweichung der Stichprobe und 0,5 den Faktor für das Vertrauensintervall symbolisieren.

Für die Modellierung der unterstellten Zusammenhänge zwischen Milchbildungsrate, Milchfluss, Zwischenmelkzeit sowie elektrischer Leitfähigkeit einerseits und der Euter Gesundheit wurden einfache statistische Ansätze (Ein-Parameter-Modelle, Indexmodelle) genutzt. Zur ersten Gruppe gehören Grenzwertmodelle. Die Modelle GW 1 bis GW 4 erkannten eine Abweichung von 5 % vom Normalwert als „auffällig“. In den Modellen GW 5 bis 8 wurde erst bei einer Verschlechterung des jeweiligen Parameters um 10 % „auffällig“ diagnostiziert. Mit der zweiten Gruppe von Modellen lassen sich alle Eingangparameter miteinander verknüpfen. Dafür werden die Abweichungen vom Normwert (1,00) unter Berücksichtigung ihrer jeweiligen Bedeutung nach folgender Gleichung summiert:

$$i = (w_{norm} - 1) + (x_{norm} - 1) + (1 - y_{norm}) + (1 - z_{norm})$$

Indizes  $i$  mit negativem Vorzeichen weisen demnach auf „auffällig“ hin, während Werte von größer oder gleich Null „unauffällig“ bedeuten. Modell Index 1 verknüpft alle Abweichungen ohne eine besondere Gewichtung von einem der vier Parameter. In den Modellen Index 2 bis Index 5 wurden nacheinander die Milchbildungsrate (2), der Milchfluss (3), die Zwischenmelkzeit (4) oder die Leitfähigkeit (5) durch den Faktor 2 vor dem jeweiligen Term höher gewichtet.

Entsprechend einer Analyse der Rohdaten, insbesondere der auffälligen Striche, wurde den normierten Werten Milchbildungsrate, Milchfluss und Zwischenmelkzeit der normierte Leitfähigkeitsmesswert der vorangegangenen Messung zugeordnet. Dieses Herangehen ist zusätzlich durch Literaturangaben abgesichert, nach denen die Leitfähigkeit registrierbare Peaks (wenn überhaupt) kurz vor nachweisbaren Veränderungen der Milch aufweist [3, 4]. Der für die  $m$ -te Melkung eines Euterviertels modellier-

te Datensatz enthält also die Datenfelder

$$[w_{norm}(m)]; [x_{norm}(m)]; [y_{norm}(m)]; [z_{norm}(m-1)]$$

mit der genannten Bedeutung der Variablen

$w_{norm}$ ,  $x_{norm}$ ,  $y_{norm}$  und  $z_{norm}$ .

Zu Vergleichszwecken ist aus den Speicherdateien der Robotersoftware beider Melkroboter eine Alarmliste zusammengestellt worden. Diese enthält alle Hinweise der AMS hinsichtlich erhöhter Leitfähigkeitswerte und abnormer Milchqualität (MQC) innerhalb des Versuchszeitraumes zuzüglich des vorherigen Tages. Die Maßzahl „Wahrscheinlichkeit von Fehldiagnosen“ ergibt sich als Quotient aus der Anzahl fehlerhafter Klassifizierungen und der Gesamtzahl der Datensätze (474). Alle Berechnungen wurden unter Verwendung der Programme Excel 2000, Access 2000 sowie Statgraphics Plus 5.0 durchgeführt.

### Ergebnisse

Die unterschiedlichen Modelle wurden an 474 Datensätzen normierter Parameterwerte getestet, welche aus 2826 Einzeldatensätzen von 195 „unauffälligen“ und 41 „auffälligen“ Eutervierteln berechnet worden waren. Tabelle 1 zeigt die Zahlenwerte der normierten Parameter. Wie nach Klassenbildung die Häufigkeitsverteilungen bestimmter Merkmalsausprägungen „unauffälliger“ und „auffälliger“ Viertel voneinander abweichen, ist aus den Bildern 1 und 2 beispielhaft für die normierte Milchbildungsrate und die normierte elektrische Leitfähigkeit ersichtlich. Die Tabelle 2 liefert die Resultate für die Ein-Parameter-Modelle (Grenzwertmodelle), die Auswertung der Meldungen der Melkroboter und die Bilanz der Indexmodelle.

### Diskussion

Die Normierung ergab bei allen Eingangsparametern für die Mittelwerte der Gruppen „unauffällig“ und „auffällig“ die erwarteten Unterschiede. Normierte Milchbildungsrate und normierter Milchfluss „auffälliger“ Viertel liegen deutlich unter dem von „unauffälligen“ Vierteln, während normierte Zwischenmelkzeit und normierte Leitfähigkeit erhöht sind.

Im Vergleich der Modelle fällt auf, dass die Indexmodelle über die klar besseren Sen-

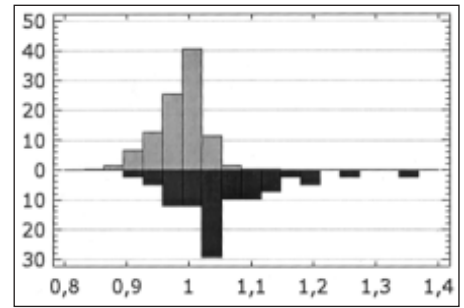


Bild 2: Vergleich der relativen Häufigkeitsverteilung (links, in %) für die normierte elektrische Leitfähigkeit der Milch „unauffälliger“ (oben) und „auffälliger“ (unten) Euterviertel

Fig. 2: Comparison of the relative frequency distribution (left in %) for the standardized electric conductivity of „inconspicuous“ (above) and „conspicuous“ (below) udder quarters

sitivitätswerte verfügen. Allein die Kombination mehrerer Kriterien kann also bereits den gewünschten Zugewinn in der Erkennung von auffällig veränderten Strichen liefern. Ein-Parameter-Modelle weisen demgegenüber eine tendenziell hohe Spezifität auf. Das gilt hauptsächlich für den Parameter normierte elektrische Leitfähigkeit (98,2 und 99,8 %). Dieser Besonderheit geschuldet wurde mit einer zulässigen Abweichung von 10 % vom Normalwert eine sehr niedrige Quote falscher Diagnosen berechnet (6,8 %). Positiv im Vergleich zu den sonst niedrigen Sensitivitätswerten nimmt sich innerhalb der Grenzwertmodelle der Parameter Milchbildungsrate aus. Mit einer Akzeptanz von 5 % Abweichung vom Normalwert konnten immerhin 30 von 41 auffälligen Eutervierteln identifiziert werden.

Bei Optimierung nach zwei Zielen (hohe Sensitivität plus niedrige Wahrscheinlichkeit von Fehlklassifizierungen) wäre im vorliegenden Fall dem Grenzwertmodell 4 der Vorzug zu geben. Für die kombinierte Alarmliste der AMS wurde zwar eine nur geringfügig erhöhte Wahrscheinlichkeit von Fehldiagnosen errechnet. Diese war jedoch mit einer kaum akzeptablen Sensitivität von 17,1 % gepaart.

Die Resultate von Ein-Parameter- und Indexmodellen lassen drei Schlüsse zu:

- Veränderungen der Milchbildungsrate eignen sich besonders zur Erkennung von Euterkrankheiten.
- Der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit kommt eine vornehmliche Rolle bei der Erkennung gesunder Euterviertel zu.
- Eine Verknüpfung mehrerer Parameter lässt einen deutlichen Anstieg der Sensitivität erwarten.

Tab. 2: Ergebnisse der Modellierung mit der Grenzwertmethode und durch Indexbildung sowie Vergleich mit dem AMS-Modell

Table 2: Results of modeling by means of threshold values or formation of indices and comparison with AMS-model

Parameter	Milchbildung		Milchfluss		Zwischenmelkzeit		Leitfähigkeit		AMS	Verknüpfung aller vier Parameter				
	GW 1	GW 5	GW 2	GW 6	GW 3	GW 7	GW 4	GW 8		Index 1	Index 2	Index 3	Index 4	Index 5
Sensitivität (%)	73,2	63,4	65,9	46,3	58,5	19,5	41,5	24,4	17,1	90,2	<b>92,7</b>	87,8	75,6	90,2
Spezifität (%)	60,3	72,1	70,7	83,4	77,6	85,5	98,2	<b>99,8</b>	99,5	65,4	57,7	64,9	69,7	66,5
Fehldiagnosen (%)	38,6	28,7	29,7	19,8	24,1	20,3	<b>6,8</b>	<b>6,8</b>	7,6	32,5	39,2	33,1	29,7	31,4