

# GENAUIGKEIT VON MILCHMENGENMESSGERÄTEN

Eine Methode zur kontinuierlichen automatisierten Überwachung

Xaver Zenger, Georg Wendl und Hermann Auernhammer, Freising/Weihenstephan

**Für eine kostenbewußte Milchproduktion ist die Kenntnis der täglichen Milchmenge der Einzelkuh notwendig. Dafür wurden automatische Milchmengenerfassungssysteme entwickelt. Deren Genauigkeit ist aber nur gewährleistet, wenn regelmäßige Kontrollen durchgeführt werden. In diesem Bericht wird ein Verfahren für die kontinuierliche Überwachung der Meßgeräte vorgeschlagen, mit welchem Meßgerätefehler automatisch erkannt werden können. Das Verfahren beruht auf einem Vergleich zwischen der erwarteten und der tatsächlich ermolkenen Milchmenge.**

**E**rfolgreiche Milchproduktion ist unter den gegebenen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen in der EG nur möglich, wenn hohe Tierleistungen bei niedrigen Produktionskosten erreicht

werden. Da von den gesamten Milchproduktionskosten 50 % und mehr durch die Futterkosten verursacht werden, muß die Nährstoffversorgung der einzelnen Kuh laufend möglichst genau dem Nährstoffbedarf angepaßt werden. Der Nährstoffbedarf einer Kuh hängt entscheidend von der Milchleistung ab. Die Kenntnis der täglichen Milchmenge ist deshalb eine wichtige Voraussetzung für eine optimale Fütterung.

Für die Ermittlung der täglichen Milchmenge wurden verschiedene automatische Milchmengenerfassungssysteme entwickelt. Die Zahl der in der Praxis installierten Systeme dürfte zur Zeit in Deutschland noch unter 1000 liegen, die Akzeptanz dieser Systeme nimmt jedoch deutlich zu. Werden die Meßgeräte für die offizielle Leistungskontrolle eingesetzt, so müssen sie den Genauigkeitskriterien genügen, die das Internationale Komitee zur Leistungsermittlung von Milchtieren (IKLT) erlassen hat. Nach diesen Bestimmungen sollten sie minde-

stens einmal jährlich überprüft und gegebenenfalls neu kalibriert werden. Die manuelle Überprüfung ist allerdings sehr zeit- und kostenintensiv und kann aus diesem Grund nur punktuell in größeren Zeitabständen erfolgen. Ziel ist es deshalb, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem die Genauigkeit der Meßgeräte ständig automatisch überprüft werden kann und das Hinweise gibt, wenn sich die Genauigkeit der Meßgeräte verschlechtert.

*Die Autoren sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Landtechnik, Weihenstephan (Dir.: Prof. Dr. H. Schön). Akad. Dir. PD Dr. Hermann Auernhammer leitet die Abteilung „Arbeitslehre und Prozeßtechnik“; Akad. Rat Dr. Georg Wendl leitet die Abteilung „Informatik und Agrartechnik“; Dia Xaver Zenger promovierte über dieses Thema.*

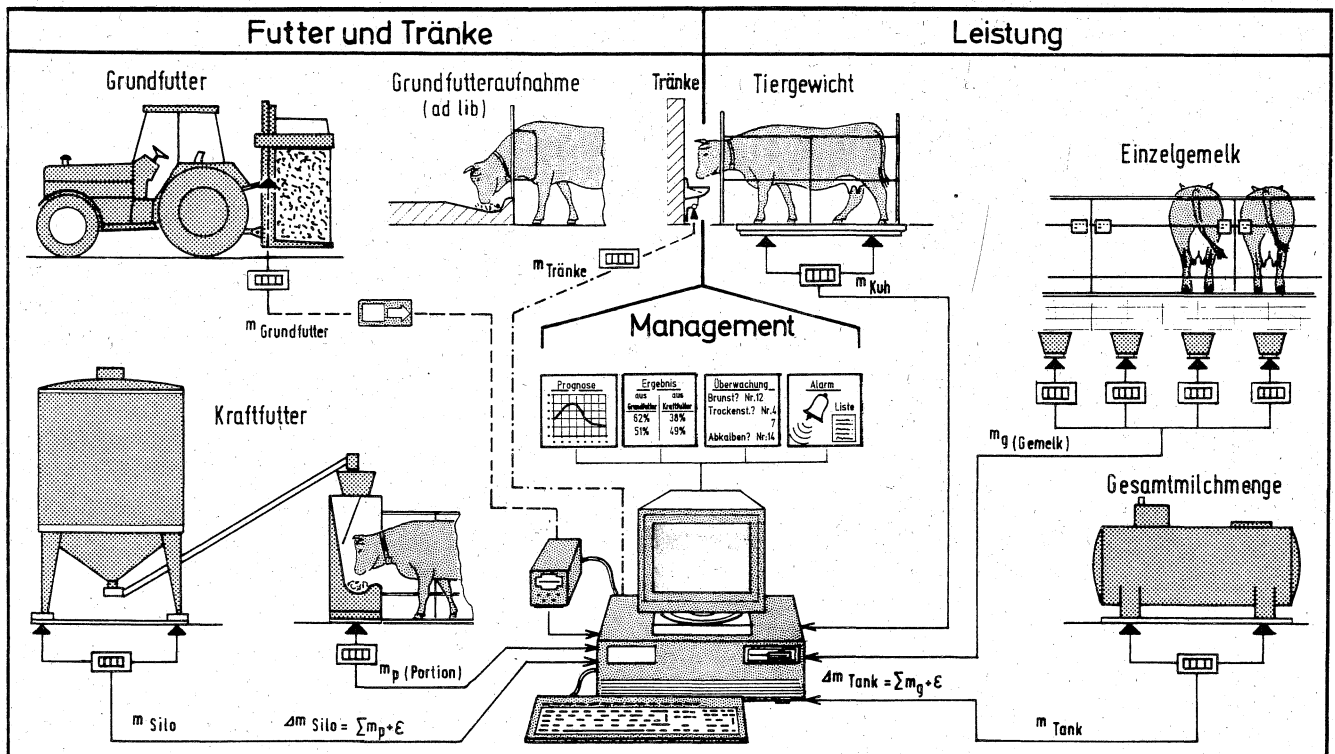


Bild 1: Überwachung der Prozeßsteuerung in der Milchviehhaltung

## Vorgehen.

Zur Entwicklung eines derartigen Verfahrens wurden in einem landwirtschaftlichen Betrieb mit schon vorhandenen Milchmengenmeßeinrichtungen zusätzliche Prozeßrechner und eine automatisiert arbeitende Datenerfassung installiert (Bild 1).

Die gesamte Anlage bestand aus den drei Teilen Fütterung, Leistung und Management. Als Betriebsrechner kam ein handelsüblicher PC mit einem Betriebssystem zum Einsatz, das mehrere Programme gleichzeitig verarbeiten kann (multitaskingfähig).

Auf der Leistungsseite erfolgte die Ermittlung der Tiergewichte über eine Waage in der Kraftfutterabrufstation. Die Milchleistung wurde über die schon erwähnten Milchmengenmeßgeräte erfaßt. Zusätzlich wurde eine Milchtankwaage installiert. Beide Einrichtungen waren online über je eine V.24/V.28-Schnittstelle mit dem Betriebsrechner verbunden.

Der Bereich Fütterung umfaßte die Kraftfutterabruftautomaten mit zusätzlicher Erfassung des Kraftfuttersilowertes. Die Kraftfutterabrufanlage war über eine V.24/V.28-Schnittstelle mit dem Betriebsrechner verbunden. Das Gewicht des Kraftfuttersilos wurde über vier Radlastwaagen unter den Füßen des Silos durch einen separaten PC erfaßt. Die in den Stall gebrachte Silage konnte über eine Wiegeeinrichtung im Traktorheckkraftheber erfaßt werden. Als Datentransfermedium zum PC diente in diesem Falle eine Chipkarte.

Die Datenübertragung zwischen den Prozeßrechnern und dem PC wurde jeweils automatisiert über das Betriebssystem gestartet. Die erfaßten Daten legte der Betriebsrechner in speziellen Tabellen einer Datenbank ab.

Das Verfahren zur Signalisierung von Meßgerätefehlern basiert auf einem Vergleich zwischen der erwarteten und der tatsächlich ermolkenen Gemelksmenge einer Kuh und geht von der Unterstellung aus, daß sich die mittleren Abweichungen zwischen dem aktuellen Gemelk und dem erwarteten Gemelk mehrerer Kühe bei funktionierenden Meßgeräten nicht signifikant von Null unterscheiden. Ist die mittlere Abweichung für ein Meßgerät längere Zeit signifikant von Null verschieden, so wird auf einen Meßgerätefehler geschlossen.

Das beschriebene Überwachungsverfahren geht von folgenden Unterstellungen aus:

1. Der systematische Meßfehler verschlechtert sich nicht gleichzeitig bei allen Meßgeräten.

2. Der Meßfehler driftet in eine Richtung ab (gerichtete Abweichung).

3. Die sonstige Melktechnik arbeitet ohne Fehler.

Die Berechnung der Abweichung zwischen gemolkenener und erwarteter Milchmenge erfolgt nach Formel 1.

$$d_{ikl} = m_{ikl} - M_{ik} \quad (1)$$

wobei

$d_{ikl}$  = Abweichung des Gemelks vom Erwartungswert der Kuh  $k$  am Tag  $i$  und Meßgerät  $l$

$m_{ikl}$  = gemessene aktuelle Gemelksmenge der Kuh  $k$  am Tag  $i$  und Meßgerät  $l$

$M_{ik}$  = erwartete Gemelksmenge der Kuh  $k$  am Tag  $i$

Die Zuverlässigkeit des Überwachungsverfahrens hängt entscheidend von der Berechnung eines realistischen Erwartungswertes ab. Der Erwartungswert und die Standardabweichung für das aktuelle Gemelk wird nach Formel 2 und 3 über die Milchmenge aus den letzten sieben Tagen ermittelt. Dabei werden nur die Milchmengen verwendet, die nicht am zu prüfenden Meßgerät und an mindestens drei verschiedenen Meßgeräten erfaßt wurden.

$$M_{ik} = \frac{m_{i-7;k} + m_{i-6;k} + m_{i-5;k} + \dots + m_{i-1;k}}{u_{ik}} \quad (2)$$

$$SM_{ik} = \sqrt{\frac{(m_{i-x;k} - M_{ik})^2}{u_{ik}}} \quad (3)$$

wobei

$m_{i-x;k}$  = gemessene aktuelle Gemelksmenge der Kuh  $k$  am Tag  $i-x$

$SM_{ik}$  = Standardabweichung für mittlere Gemelksmenge der Kuh  $k$  am Tag  $i$

$u_{ik}$  = Anzahl der vorhandenen Milchmengen der Kuh  $k$  in den letzten sieben Tagen

Um mögliche Zeitdifferenzen zwischen Morgengemelk und Abendgemelk zu vermeiden, wird jeweils für das Morgen- und Abendgemelk ein eigener Erwartungswert berechnet. Da die täglichen Gemelksmengen starken stochastischen

Tab. 1: Beschreibung des verwendeten Datenmaterials

Untersuchungsbetrieb	Milchviehbetrieb (34 ha)
Melkstandtyp	2x4 FGM mit Einzelplatzidentifizierung
Zahl der Meßgeräte	8
Meßgerätetyp	volumetrisch, kontinuierlich, variable Portionen
verfügbare Daten	455 Tage (1. 3. 88 bis 31. 5. 89)
Anzahl der Kühe	34
verfügbare Gemelksmengen	
morgens	10735
abends	10585

Schwankungen unterliegen (bedingt durch externe und interne Einflüsse), müssen Ausreißer zutreffend erkannt werden und dürfen nicht für die Berechnung des Erwartungswertes verwendet werden. Folgende Ausschlußkriterien werden verwendet:

1. Es werden nur Gemelksmengen zwischen dem 30. und 300. Laktationstag verrechnet.
2. Ein gültiger Erwartungswert wird nur berechnet, wenn der Variationskoeffizient ( $SM_{ik} \cdot 100 / M_{ik}$ ) unter 20 % liegt.
3. Liegt die Standardabweichung für die verfügbaren Milchmengen über 1, so werden nur die Milchmengen für die Berechnung eines neuen Erwartungswertes verwendet, die innerhalb des Bereiches ( $M_{ik} \pm 2 \cdot SM_{ik}$ ) (entspricht 95,45 % der Normalverteilung) liegen.
4. Ein Erwartungswert wird weiter nur berechnet, wenn mindestens vier Gemelksmengen aus den letzten sieben Tagen vorhanden sind, die den vorher genannten Bedingungen genügen.
5. Eine Abweichung wird nur berechnet, wenn die aktuelle Gemelksmenge innerhalb des Bereiches ( $M_{ik} \pm 2 \cdot SM_{ik}$ ) liegt.

Die Berechnung der mittleren Abweichung pro Meßgerät und deren Standardabweichung erfolgt nach Formel 4 und 5 aus allen verfügbaren Abweichungen der letzten 30 Tage.

$$D_{il} = \frac{d_{i-30;k;l} + d_{i-29;k;l} + d_{i-28;k;l} + \dots + d_{i-1;k;l}}{x_{il}} \quad (4)$$

$$SD_{il} = \sqrt{\frac{\sum (d_{ikl} - D_{il})^2}{x_{il} - 1}} \quad (5)$$

wobei

$D_{il}$  = gleitendes arithmetisches Mittel der Abweichungen von Meßgerät  $l$  aus den letzten 30 Tagen zum Zeitpunkt  $i$

$SD_{il}$  = Standardabweichung für Abweichungen von Meßgerät  $l$  zum Zeitpunkt  $i$

$x_{il}$  = Anzahl der vorhandenen Abweichungen von allen Kühen in den letzten 30 Tagen (Intervall  $i-30$  bis  $i-1$ ) am Meßgerät  $l$

Für das weitere Vorgehen wird unterstellt, daß die berechneten mittleren Abweichungen normalverteilt sind. Deshalb kann anschließend mit Hilfe der  $t$ -Verteilung die Hypothese  $H_0$  ( $D_{ie} = 0$ ) gegen die Hypothese  $H_1$  ( $D_{il} \neq 0$ ) getestet werden (Signifikanzniveau 0,1 %). Wird die Hypothese  $H_0$  über eine Periode von sieben Tagen hintereinander abgelehnt, so wird ein Meßgerätefehler signalisiert.

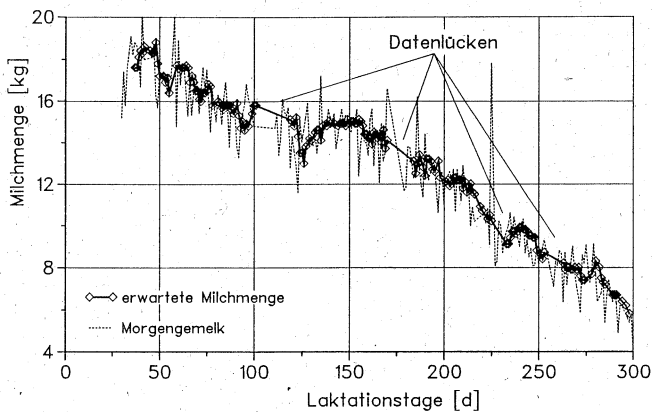


Bild 2: Laktationskurve von Kuh 85 (4. Laktation, Morgengemelk)

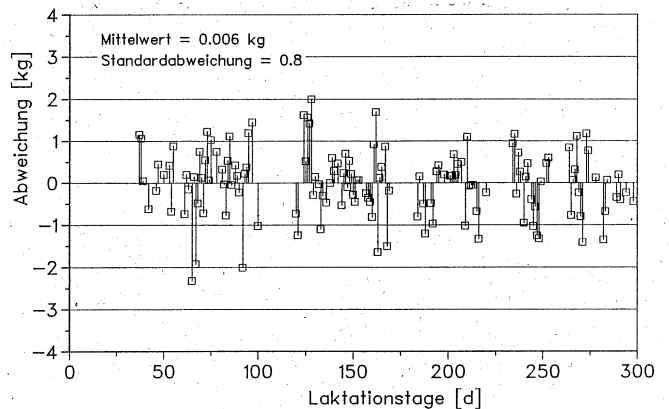


Bild 3: Abweichung des tatsächlichen und erwarteten Gemelks (Kuh 85, 4. Laktation, Morgengemelk)

Das für die Entwicklung des Überwachungsverfahrens verwendete Datenmaterial nennt Tabelle 1.

**Erwartungswert für das Einzelgemelk**

Die Berechnung des Erwartungswertes ist die Grundvoraussetzung für das Überwachungsverfahren. Der Erwartungswert sollte möglichst robust gegen kurzfristige zufällige Änderungen der Milchmenge sein. In Bild 1 sind beispielhaft für eine Kuh die täglich morgendliche Gemelksmenge und der berechnete Erwartungswert aufgetragen. Sehr deutlich ist zu erkennen, daß die tägliche Milchmenge starken Schwankungen unterliegt. Das Berechnungsverfahren für den Erhaltungswert hat zu gewährleisten, daß offensichtliche Extremwerte (etwa am 225. Laktationstag) nicht verwendet werden. Dadurch wird erreicht, daß sich der Verlauf des Erwartungswertes relativ gut dem tatsächlichen Laktationsverlauf anpaßt, wenngleich er naturgemäß dem tatsächlichen Verlauf etwas hinterherhinkt, da vom vergangenen Verlauf auf den zukünftigen geschlossen wird.

Die Abweichung zwischen dem Erwartungswert und der aktuellen Gemelksmenge für die gleiche Kuh ist in Bild 2 dargestellt. Die Abweichungen liegen alle bis auf eine Ausnahme unter  $\pm 2$  kg und streuen mit einer Standardabweichung von 0,8 um den Nullpunkt. Die Höhe der Abweichungen ist unabhängig vom Laktationsstand.

**Abweichungen pro Meßgerät**

Werden die Abweichungen von allen Kühen nach den einzelnen Meßgeräten sortiert und deren 30tägiges gleitendes Mittel berechnet, so kann am Verlauf des Mittelwertes die Genauigkeit des Meßgerätes beurteilt werden. Bild 3 zeigt für Meßgerät 5 die einzelnen Abweichungen und den gleitenden Mittelwert über eine Zeitperiode von 15 Monaten. Die Abweichungen streuen innerhalb des Untersuchungszeitraumes relativ gleichmäßig um den Nullpunkt. Eine signifikante Abweichung vom Nullpunkt kann nicht festgestellt werden. Bei anderen Meßgeräten zeigte sich jedoch durchaus in manchen Zeitabschnitten eine signifikante Abwei-

chung, was auf ein fehlerhaftes Gerät hindeutet.

**Überprüfung des Überwachungsverfahrens**

Die Empfindlichkeit des Überwachungsverfahrens soll nun dadurch getestet werden, daß für Meßgerät 5, von dem angenommen wird, daß es mit keinem systematischen Meßfehler behaftet ist, die tägliche Milchmenge zwischen dem 300. und 400. Laktationstag um 5 % erhöht wird. Die Veränderung gegenüber vorher geht aus Bild 4 hervor. Zwischen dem 316. und 418. Tag wird eine signifikante Abweichung vom Nullpunkt signalisiert und damit die Verschlechterung der Genauigkeit des Meßgerätes erkannt. Der Zeitverzug zwischen Eintritt und Erkennung des Gerätefehlers (gut zwei Wochen) ist durch die Mittelwertbildung über 30 Tage verursacht. Je länger diese Zeitperiode gewählt wird, desto später wird zwar ein Meßgerätefehler erkannt, aber die Sicherheit einer Fehlererkennung nimmt zu, das Risiko einer Fehlentscheidung nimmt ab.

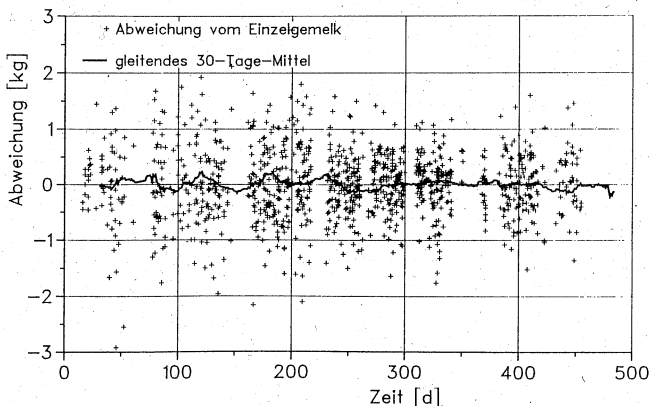


Bild 4: Abweichung des tatsächlichen und erwarteten Gemelks für Milchmengenmeßgerät 5 (34 Kühe, 1. 3. 1988 bis 31. 5. 1989)

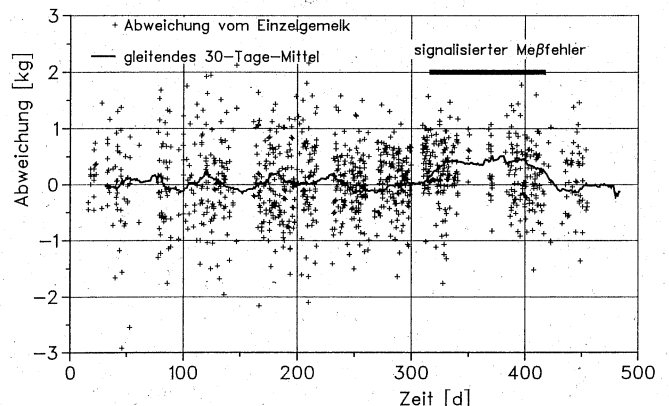


Bild 5: Abweichung des tatsächlichen (um 5% erhöht zwischen 300. und 400. Tag) und erwarteten Gemelks für Milchmengenmeßgerät 5 (34 Kühe, 1. 3. 1988 bis 31. 5. 1989)