

## Milchmengenprognose und Supply Chain Management in der Milchwirtschaft

Michael Schmid<sup>1</sup>, Sascha Wörz<sup>1</sup> und Heinz Bernhardt<sup>1</sup>

**Abstract:** Der Beitrag konzentriert sich auf die Entwicklung eines Milchmengenprognosetools für milchverarbeitende Unternehmen. Dabei werden unterschiedliche Prognosemodelle für verschiedene Prognosezeiträume auf Basis einer Umfrage, einer Moving-Average-Polynomregression und einer gleitenden Polynomregression entwickelt, und anschließend anhand von Daten einer Molkerei validiert. Die einprozentige Genauigkeit der kurzfristigen Prognosemethode ermöglicht eine optimale verfeinerte Produktionsplanung innerhalb einer Molkerei. Das Ergebnis der langfristigen Milchmengenschätzung mit sehr hoher Rücklaufquote erleichtert die strategische Milchmengenplanung in milchverarbeitenden Unternehmen. Deshalb ist die zeitskalenabhängige Milchmengenprognose von zentraler Bedeutung.

**Keywords:** Milchmengenprognosetool für verschiedene Zeitskalen; Optimierung der Produktionsplanung; effizientes Supply Chain Management; strategische Milchmengenplanung.

### 1 Einleitung

Durch die Abschaffung der europäischen Milchquotenregelung zum 31.03.2015 wurden die Molkereien bezüglich strategischer Milchmengenplanung vor neue Herausforderungen gestellt. Eine effiziente Betriebsstruktur in milchverarbeitenden Unternehmen erfordert jedoch die Kenntnis über zukünftige Milchanlieferungsmengen von Vertragslandwirten in Abhängigkeit verschiedener Zeitskalen, weshalb effiziente Prognosetools und empirische Datenerhebungen in Form von Meinungsumfragen von großer Bedeutung sind. Verschiedene Forecastmodelle wurden bereits auf Einzelkuh- oder Milcherzeugerebene angewandt. Diese Modelle beruhen auf Methoden der Polynomregression und neuronalen Netzen. Die Prognosezeiträume dieser Modelle reichen von einer zehn Tages-Milchmengenvorhersage bis hin zu einer 365 Tages-Milchmengenvorhersage [AS87, Mu14, O199 QKB05, Zh16]. Die langfristige Milchmengenschätzung auf Landkreisebene kann durch stückweise lineare Interpolation der zukünftigen Milchmenge durch vergangene Milchanlieferungsmengen erfolgen [Sc15]. Anstatt Milchmengenprognosen auf Einzelkuh oder landwirtschaftlicher Ebene durchzuführen, sollen im Rahmen dieses Beitrages Prognosemodelle für milchverarbeitende Unternehmen für gesamte Milcheinzugsgebiete und verschiedene Zeitskalen (kurz-, mittel- und langfristig) entwickelt werden.

---

<sup>1</sup> Chair of Agricultural Systems Engineering, Am Staudengarten 2, 85354 Freising-Weihenstephan, Germany, {mschmid, sascha.woerz, heinz.bernhardt}@wzw.tum.de

## 2 Material und Methoden

Die für diesen Beitrag verwendeten Milchanlieferungsdaten basieren auf den erfassten Milchmengen einer Molkerei im Zeitraum von 2012 bis 2016 auf Kalenderwochenebene. Bei der Milcherfassung beim Erzeuger wird die zur monatlichen Abrechnung benötigte Milchmenge gemessen. Zur Schätzung der langfristigen Milchmengenentwicklung wird eine schriftliche Umfrage bei 1.022 Milcherzeugern durchgeführt. Die Überprüfung der Repräsentativität dieser Umfrage erfolgt über einen modifizierten Binomial-Test bei einem Signifikanzniveau von fünf Prozent. Die Auswertung der Daten und die Erstellung der Algorithmen erfolgt über das Statistikprogramm R. Die langfristige Milchmenge für die Jahre 2017, 2018 und 2019 wird über die Rücklaufquote ermittelt. Die mittelfristige Milchmengenschätzung basiert auf der Moving-Average-Polynomregression. Dabei werden Milchmengen vergangener Jahre kumuliert, so dass kumulierte Milchmengen auf Kalenderwochenebene resultieren. Zusätzlich erfolgt die Auswahl eines Polynomgrades zwischen Polynomgrad eins bis fünf. Ausgehend von einer vorgegebenen Anzahl an Stützstellen wird das eindeutig bestimmte Regressionspolynom der kumulierten Milchmengen an den Stützstellen 52 bis Anzahl der Stützstellen/52 berechnet. Durch Verschiebung der Stützstellen um jeweils eine Stützstelle nach links werden eindeutig bestimmte reelle Regressionspolynome ermittelt, wobei diese bis zur ersten Kalenderwoche nach links verschoben werden. Durch Auswertung aller erhaltenen Regressionspolynome an den jeweiligen Stützstellen und anschließender arithmetischer Mittelwertbildung werden quasioptimale und robuste kumulierte Milchmengenschätzungen erhalten, aus denen mithilfe von Vorwärtsdifferenzierung erster Ordnung Milchmengenschätzungen für die einzelnen Kalenderwochen berechnet werden. Diese Milchmengenschätzungen werden schließlich an die geschätzte Jahresmilchmenge mittels einer Translation adaptiert und an die geschätzte Jahresmilchmenge angepasst. Die auf Kalenderwoche 52 hochgerechnete Milchmenge resultiert aus dem Produkt der geschätzten Jahresmilchmenge multipliziert mit dem Quotienten aus geschätzter Milchmenge in Kalenderwoche 52, und der geschätzten kumulierten Milchmenge in Kalenderwoche 52. Die kurzfristige Milchmengenschätzung erfolgt über die gleitende Polynomregression. Dabei wird zunächst ein Polynomgrad zwischen eins und fünf ausgewählt. Ausgehend von einer vorgegebenen Anzahl an Stützstellen, die jeweils Kalenderwochen entsprechen, wird nun das eindeutig bestimmte reelle Regressionspolynom der Milchmengen an den Stützstellen 52 – Anzahl der Stützstellen berechnet, um eine quasioptimale und robuste Milchmengenschätzung für Kalenderwoche 53 zu erhalten. In Abhängigkeit der Anzahl der zu ermittelten Forecasts werden gegebenenfalls die Kalenderwochen jeweils um eine Kalenderwoche nach rechts verschoben und die dazugehörigen Regressionspolynome bestimmt, um die restlichen Forecasts als quasioptimale und robuste Milchmengenschätzung zu erhalten. Ist die Anzahl der zu ermittelten Forecasts zu hoch, werden bereits berechnete Forecasts durch reale Milchmengen aus der Vergangenheit ersetzt und dann auf deren Basis weitere Forecasts ermittelt.

### 3 Ergebnis und Diskussion

Mit einer Rücklaufquote von 90 % ( $n = 920$ ) dient die schriftliche Erzeugerumfrage als verlässliche Datengrundlage für alle befragten Milcherzeuger der Molkerei. Das Ergebnis der langfristigen Milchmengenschätzung zeigt nachfolgende Tabelle 1.

Jahre	2017	2018	2019	2020
Milchmenge (kg)	227.095.000	229.170.000	230.364.000	232.568.000

Tab. 1: Prognostizierte langfristige Milchmenge

Die relative Milchmengenzunahme über den gesamten langfristigen Prognosezeitraum beträgt 2,4 %. Nachfolgende Abbildung 1 veranschaulicht das Ergebnis der mittelfristigen und kurzfristigen Milchmengenprognose für das Jahr 2016 im Vergleich zur tatsächlich angelieferten Milchmenge. Beide prognostizierte Milchmengen basieren auf Polynomgrad zwei mit vier Stützstellen.

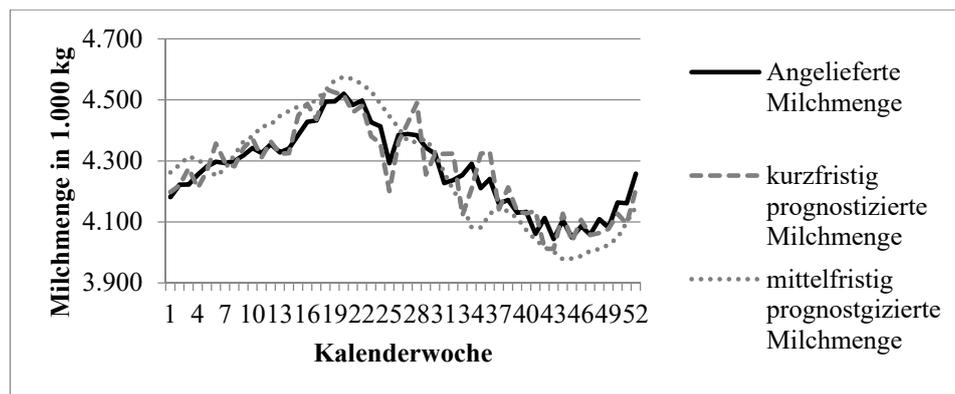


Abb. 5: Ergebnis der kurzfristigen Milchmengenschätzung (grau gestrichelt) und der mittelfristigen Milchmengenschätzung (grau gepunktet) im Vergleich zur wirklich angelieferten Milchmenge (schwarz)

Die Genauigkeit der mittelfristigen Milchmengenprognose im Vergleich zur tatsächlich angelieferten Milchmenge liegt im Bereich von 2,30 Prozent und -4,85 Prozent. Eine geringe Abweichung im Bereich von plus ein und minus ein Prozent spricht für die hohe Präzision der Forecastmethode. Bei den Kalenderwochen 23 bis 37 in den Sommerwochen liegen höhere Abweichungen als in den restlichen Kalenderwochen vor. Dies kann durch die auf die Physiologie der Milchkühe wirkende exogene Variable Temperatur und Luftfeuchtigkeit begründet werden [Be12].

Die mittelfristige Milchmengenschätzung dient in milchverarbeitenden Unternehmen als genaue Produktionsplanung, während die kurzfristige Milchmengenplanung zur verfeinerten Produktionsplanung herangezogen wird. Eine frühzeitige Diagnose von Milchüberschüssen oder Milchdefiziten stellt für milchverarbeitende Unternehmen termingerechte

Reaktionen dar. Das langfristige Ergebnis lässt den Molkereien in Vergleich mit den langfristigen geplanten Unternehmenszielen eine strategische Milchmengenplanung im Rahmen einer Milcherzeugerakquise zu.

## 4 Fazit

Dieser Beitrag stellt Modelle und Ergebnisse zur Schätzung der Milchmenge bezüglich verschiedene Zeitskalen vor. Die dabei entwickelten Methoden erlauben aufgrund Ihrer Genauigkeit eine Milchmengenvorhersage für einen langfristigen, mittelfristigen und kurzfristigen Prognosezeitraum. Neben der Optimierung der Produktionsprozesse in milchverarbeitenden Unternehmen ermöglicht die mittelfristige und kurzfristige Milchmengenprognose ein effizientes Supply Chain Management. Gleichzeitig lassen sich Zu- und Verkäufe von Milch am Spotmarkt mit entsprechenden Preiskonditionen frühzeitiger planen. Zusätzlich erlaubt die kurzfristige Forecastmethode eine Optimierung der Milchlogistik im Rahmen einer Kapazitätsplanung. Eine Optimierung der strategischen Milchmengenplanung wird durch die langfristige Mengenschätzung garantiert.

### Literaturverzeichnis

- [AS87] Ali, T. E.; Schaeffer, L. R.: Accounting for covariances among test day milk yields in dairy cows. In: Canadian Journal of Animal Science 1987 (67), S. 637–644, 1987.
- [Be12] Beskorovajni, R.; Jovanovic, M.; Samolovac, L.; Stojic, P.: Temperature and humidity as stress factors in milk production. In: Third international Scientific Symposium "Agrosym Joharia 2012", S. 466–471: 2012.
- [Mu14] Murphy, M. D.; O'Mahony, M. J.; Shalloo, L.; French, P.; Upton, J.: Comparison of modeling techniques for milk-production forecasting. In: J. Dairy Science (97), S. 3352–3363, 2014.
- [OI99] Olori, V.E.; Brotherstone, S.; Hill, W.G; McGuirk, B.J.: Fit of standard models of the lactation curve to weekly records of milk production of cows in a single herd. In: Live-stock production Science (58), S. 55–63, 1999.
- [QKB05] Quinn, N.; Killen, L.; Buckley, F.: Empirical algebraic modelling of lactation curves using Irish data. In: Irish Journal of Agricultural and Food Research 44 (1), S. 1–13, 2005.
- [Sc15] Schmid, M.: Analyse der regionalen Milchmengenentwicklung in Bayern auf Landkreisebene. Freising, 2015.
- [Zh16] Zhang, F.; Murphy, M. D.; Shalloo, L.; Ruelle, E.; Upton, J.: An automatic model configuration and optimization system for milk production forecasting. In: Computers and Electronics in Agriculture 128, S. 100–111, 2016.