

Kriterien zur Auswahl deterministischer oder stochastischer Arbeitszeitkalkulationsmethoden

Von H. A u e r n h a m m e r

Zusammenfassung

Die Kalkulation des Zeitbedarfes wurde bisher losgelöst von den Abhängigkeiten des Gesamtsystems „Arbeit“ durchgeführt. Diese Betrachtungsweise kann aber aufgrund der dadurch vorliegenden Unkenntnis der Interaktivitäten innerhalb des Systems nicht mehr befriedigen. Deshalb wurden die derzeit angewandten Methoden der deterministischen und der stochastischen Modellkalkulation auf dieses Kriterium hin untersucht. Es zeigte sich, daß beide Modellformen in ihrer derzeitigen Form erhebliche Mängel in bezug auf die genannten Forderungen aufweisen. Weitere intensive methodische Arbeiten sind deshalb unumgänglich.

Summary

Calculation of labour requirement is done by deterministic or stochastic models. In this paper both methods are examined in giving informations about interactivities in the whole system „work“. It is shown, that deterministic models cannot give this informations whereas its structure and its handling is relatively simple. In comparison with it stochastic models can give the required informations but its construction is difficult and its calculation needs very much time. Therefore both methods cannot satisfy and for common uses more methodic work has to be done.

1. Problembeschreibung

Innerhalb der Systemanalyse landwirtschaftlicher Arbeiten nahm die Ermittlung des Arbeitszeitbedarfes bisher breiten Raum ein. Dabei wurde dieser Parameter vielfach vollständig isoliert betrachtet, obwohl starke Abhängigkeiten zwischen dem Arbeitsablauf, den Arbeitshilfsmitteln und der Arbeitsperson bestehen. Bedingt durch knapper werdende Energieangebote und durch Bestrebungen zur Humanisierung der Arbeitsplätze kommt aber diesen Interaktivitäten eine immer größere Bedeutung zu. Deshalb muß die Frage gestellt werden, ob die derzeitigen Methoden der Modellarbeitszeitkalkulation in der Lage sind, über die Zeitkalkulation hinausgehende Informationen zu verarbeiten und an den Zeitablauf gebundene Ergebnisse zu erstellen.

2. Die Grundlagen der Zeitkalkulation

Seit den grundlegenden Arbeiten von HAMMER (4) wird der Zeitbedarf für einen definierten Arbeitsabschnitt als Funktion seiner Einflußgrößen dargestellt. Im Hinblick auf eine minimale Zahl solcher Abschnitte bei maximaler Kombinationsmöglichkeit erfolgt diese Darstellung zweckmäßigerweise bei den Arbeitselementen, d. h. bei den kleinsten noch meßbaren Abschnitten. Aber auch schon dort bestehen die Abhängigkeiten zwischen Zeitbedarf und Arbeitsbelastung bei manuellen Tätigkeiten (2) sowie zwischen Zeitbedarf und Energiezufuhr bei Prozeßelementen. Fast immer wird es sogar so sein, daß die zeitliche Länge des Elementes die Einflußgröße für die Interaktivität ist. Das bedeutet aber, daß bei der Erfassung der genannten Abhängigkeiten die exakte

zeitliche Reihenfolge der am Ablauf beteiligten Elemente unumgänglich ist.

3. Die Methoden der Modellkalkulation

Die Kalkulation des Zeitbedarfes erfolgt vorwiegend nach zwei Methoden, deren Benennung nach der Form der Modellbildung erfolgt. Wird der Ablauf ohne Möglichkeit der Abweichung vorgegeben, dann handelt es sich um *deterministische Modelle*. Erfolgt dagegen eine Zuordnung innerhalb eines Grobschemas mit von der zeitlichen Länge der Elemente abhängiger systemeigener Ablaufgestaltung, dann handelt es sich um *stochastische Modelle*.

3.1 Der deterministische Modellansatz

Bei allen Zeitkalkulationen durch Überschlagsrechnung oder durch einfache additive Verknüpfung der am Ablauf beteiligten Elemente handelt es sich nach der obengenannten Zuordnung um deterministische Modellansätze. Als Beispiel (1) kann dafür die Entnahme von Maissilage aus dem Hochsilo mit einer Obenfräse genannt werden (Abb. 1). Mathematisch werden dabei die Arbeitselemente

- Gehen zum Silo
- Vorbereitende Arbeiten mit Einschalten der Fräse
- Silageentnahme mit der Fräse (Nachsenken der Fräse)
- Silageentnahme mit der Fräse
- Ausschalten mit nachbereitenden Arbeiten
- Silagekarren schieben oder andere

zum Zeitbedarf verknüpft. Überwacht in diesem Modell die Arbeitsperson den Ablauf, dann ist das Zeitbedarfsmodell zugleich das dem Zeitablauf entsprechende Arbeitsablaufmodell. Die Praxis zeigt aber, daß aufgrund der geringen Auswurfleistung von Silofräsen dieser Arbeitsablauf selten durchgeführt wird. Allgemein wird nach dem Einschalten

der Fräse eine andere Tätigkeit durchgeführt und etwa alle 10 Minuten die Fräse nachgesenkt.

Für dieses Modell stimmt dann der Arbeitsablauf mit dem Zeitablauf nicht mehr überein, denn parallel ablaufende Tätigkeiten können im deterministischen Modell nicht dargestellt werden. Für die reine Zeitbedarfskalkulation würde in diesem Beispiel zuerst die Gesamtfräszeit errechnet und daran anschließend n-mal die Arbeitselementfolge

gehen — nachsenken — gehen,

während die Fülltätigkeiten vor oder nach dem aufgezeigten Ablaufzyklus errechnet würden.

Ähnlich verhält es sich, wenn die Silageentnahme mit einer Fräse mit Absenkautomatik erfolgt. In diesem Modell würde der Zeitbedarf für die Entnahme überhaupt nicht mehr berechnet werden, weil dieser Abschnitt an die Arbeitsperson keine Anforderungen stellt. Da dieser Arbeitsablauf aufgrund seiner großen Störanfälligkeit in der Praxis nur in wenigen Fällen anzutreffen ist, soll für die Darstellung der Interaktivitäten das Modell mit den Nachsenkvorläufen näher untersucht werden (Abb. 2). Auf dieser Darstellung sind der Arbeitsablauf und die Anforderungen an die Arbeitskräfte sowie an die Energiezufuhr für das Arbeitshilfsmittel dargestellt. Nach SCHMIDTKE (9) könnte für ein derartiges Modell die erforderliche Erholzeit ermittelt werden, wenn die Arbeitsbelastung und die Arbeitsdauer bekannt wäre. Er wird jedoch im Modell verzerrt wiedergegeben. Ähnlich verhält es sich mit der Energiezufuhr für das Hilfsmittel Fräse in Form von elektrischem Strom. AYIK (3) und HEYL (5) haben dafür die Bedarfszahlen ermittelt. Aber auch dafür wird die strenge zeitliche Ablauffolge benötigt und dies um so mehr, als durch die Fülltätigkeiten zwischen den Nachsenkvorläufen zusätzliche Anforderungen an die Energiezufuhr anfallen können. Zu-

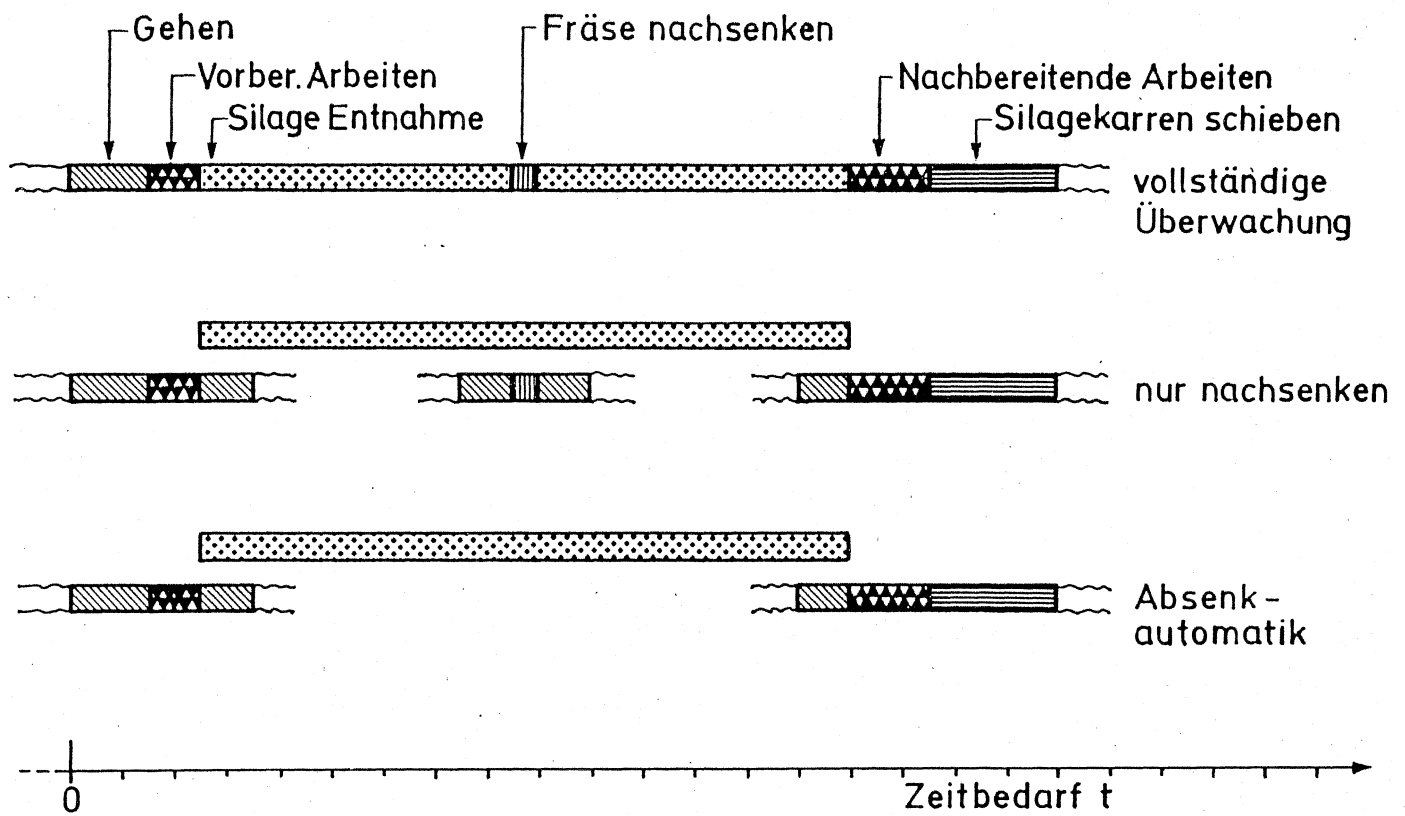


Abb. 1: Arbeitsablaufplan für die verschiedenen Möglichkeiten der Silageentnahme aus Hochsilos mit Oberfräsen

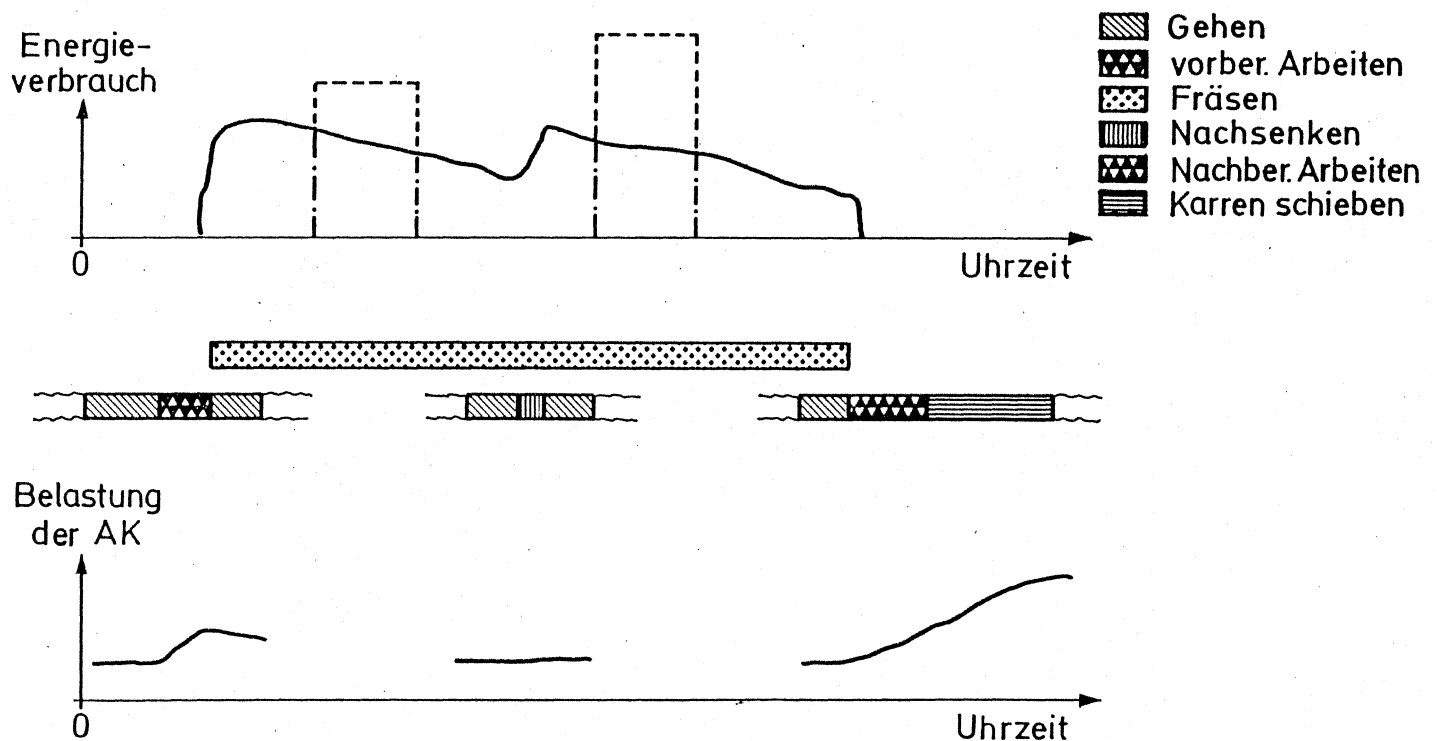


Abb. 2: Arbeitsablaufplan mit zeitlicher Zuordnung der Anforderungen des Arbeitsgegenstandes an die Arbeitsperson und die Energiezufuhr

sammen mit der Grundanforderung entstehen dadurch aber für das Energieangebot unerfüllbare Spitzen, die eine wichtige Beurteilungsgröße für Arbeitsverfahren darstellen.

Somit wird aus den aufgezeigten Zusammenhängen ersichtlich, daß der deterministische Modellansatz:

— Elemente mit einer vorgegebenen Form verarbeiten kann,

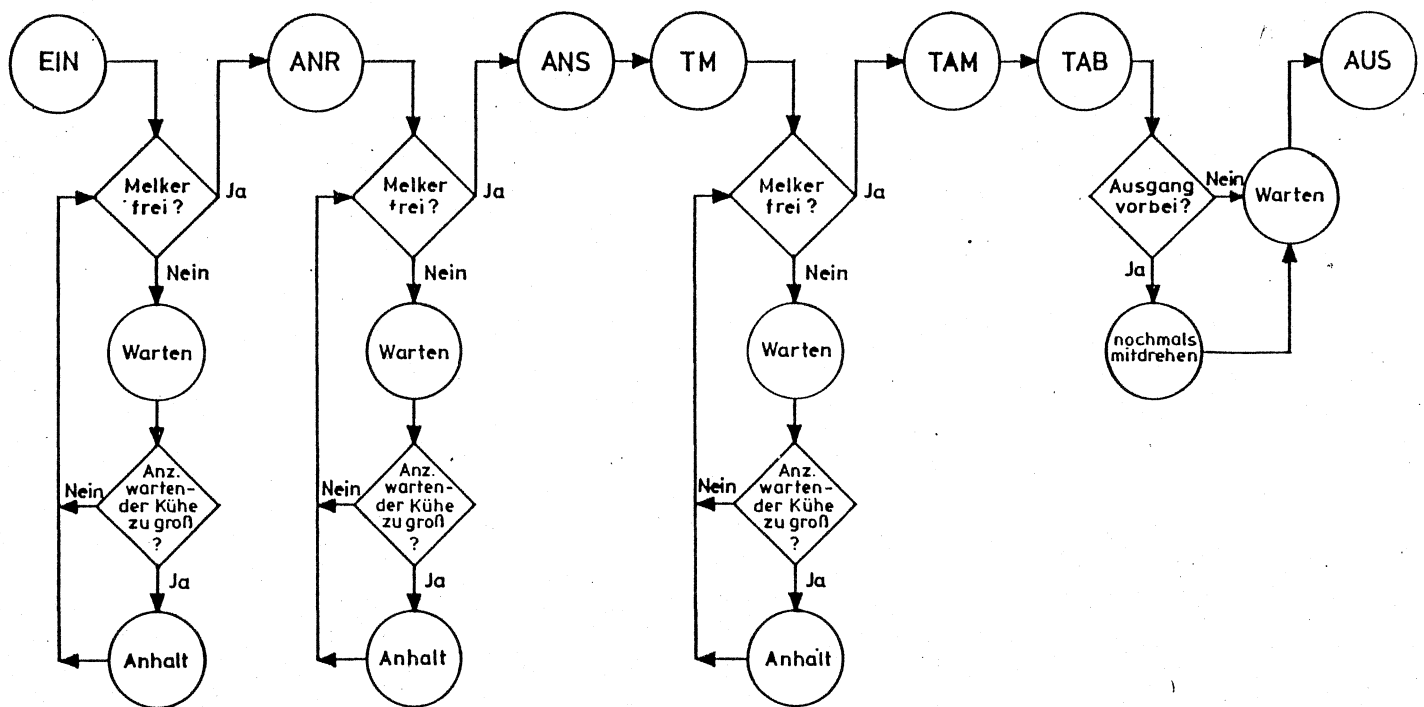


Abb. 3: Beispiel für ein Grobschema zum Arbeitsablauf im Karussellmelkstand für die stochastische Simulation

- einen einfachen Modellaufbau besitzt,
- bei kleinen Modellen eine einfache Berechnung zuläßt und
- selbst bei großen Modellen mit Hilfe der Datenverarbeitung und von Datenbanken in kürzester Zeit das Ergebnis liefert.

Nicht kann dagegen dieser Modellansatz:

- Den vorgegebenen Ablauf verändern,
- zusätzliche, elementspezifische Angaben mit Bindung an die Zeitachse errechnen und
- Zwischenzeitintervalle mit terminlich möglichen Arbeiten füllen.

3.2 Der stochastische Modellansatz

Diese Kriterien veranlaßten z.B. PEN, SCHÖN u. a. (8), komplexere Arbeitsablaufsysteme mit Hilfe der stochastischen Simulation zu untersuchen. Gegenüber dem deterministischen Modellansatz zeichnen sich derartige Methoden (z.B. GPSS¹⁾) dadurch aus, daß sie

- das Element als Zufallsereignis betrachten und bei den bekannten Methoden dafür lediglich einen Mittelwert mit bekannter Streuung zulassen;
- diese Elemente aufgrund der unterschiedlichen Länge über die Graphentheorie für logische Entscheidungen verwenden und damit den Ablauf in freier Systemkombination ermöglichen.

Zur Verdeutlichung dieser Zusammenhänge wird auf Abb. 3 das Modell des Karussellmelkstandes dargestellt. Es zeigt an vorgegebenen Stellen die Entscheidungsmöglichkeiten und führt dort zum Fortgang des Ablaufes oder zu Warte- bzw. Anhaltezeiten. Dabei wird an jeder Entscheidungsstelle ein Ereignis-Suchmechanismus eingeschaltet, welcher den Sprung zu einem benötigten Element sucht. Dadurch wird es möglich, sowohl Elemente mit Anforderungen an die Arbeitspersonen als auch Prozeßelemente in die Modellkalkulation mit einzubeziehen und für beide ein zeitabhängiges Mengengerüst zu erstellen.

Allerdings ist jedes errechnete Ergebnis ein Zufallsergebnis (Abb. 5). Für ein allgemeingültiges Datum müssen deshalb viele Wiederholungen durchgeführt

¹⁾ EDV-Simulationssysteme werden von den Datenverarbeitungsanlagenherstellern erstellt und können von diesen bezogen werden.

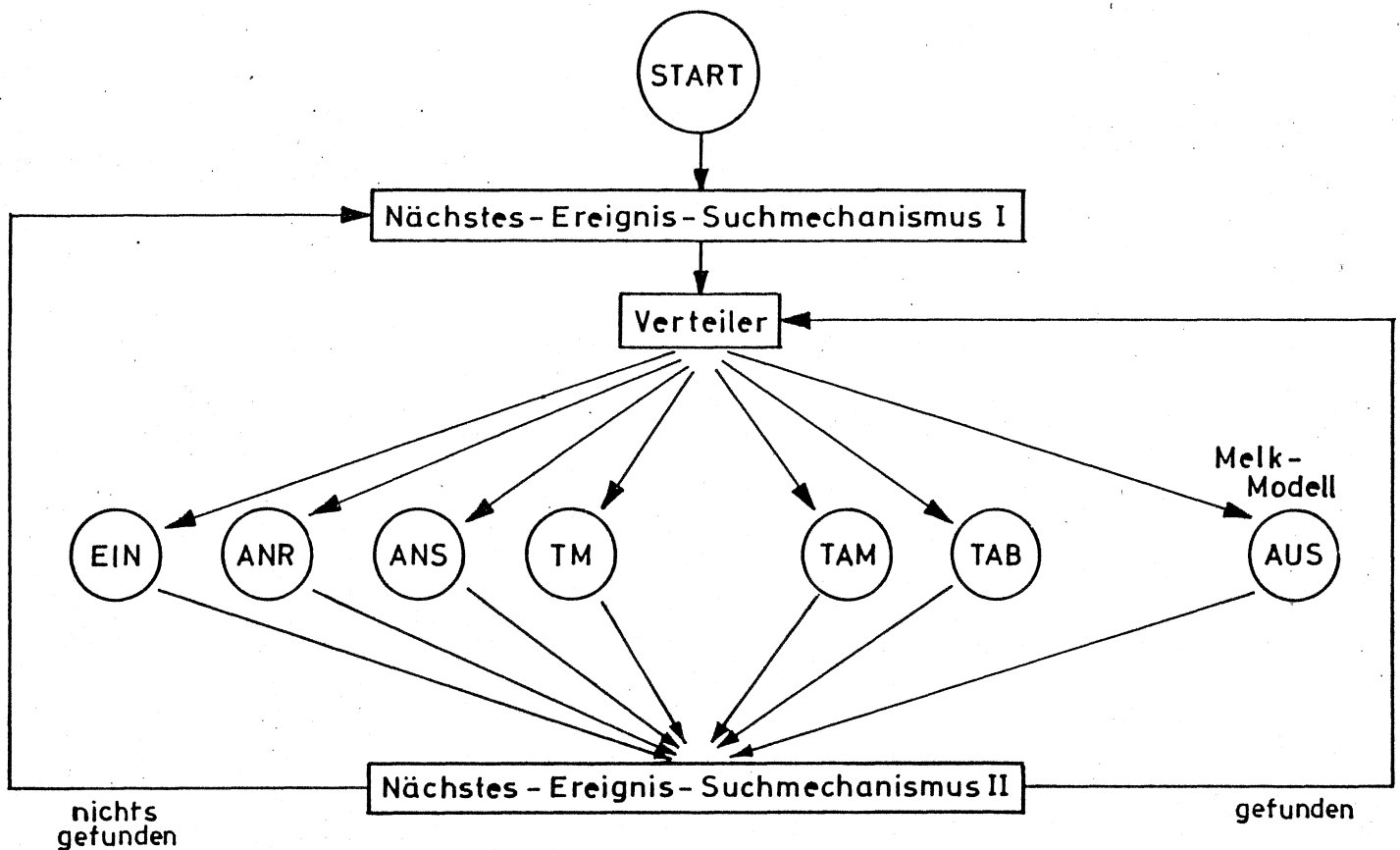


Abb. 4: Beispiel eines Ereignis-Suchmechanismus im Arbeitsablauf des Karussellmelkstandes für die stochastische Simulation

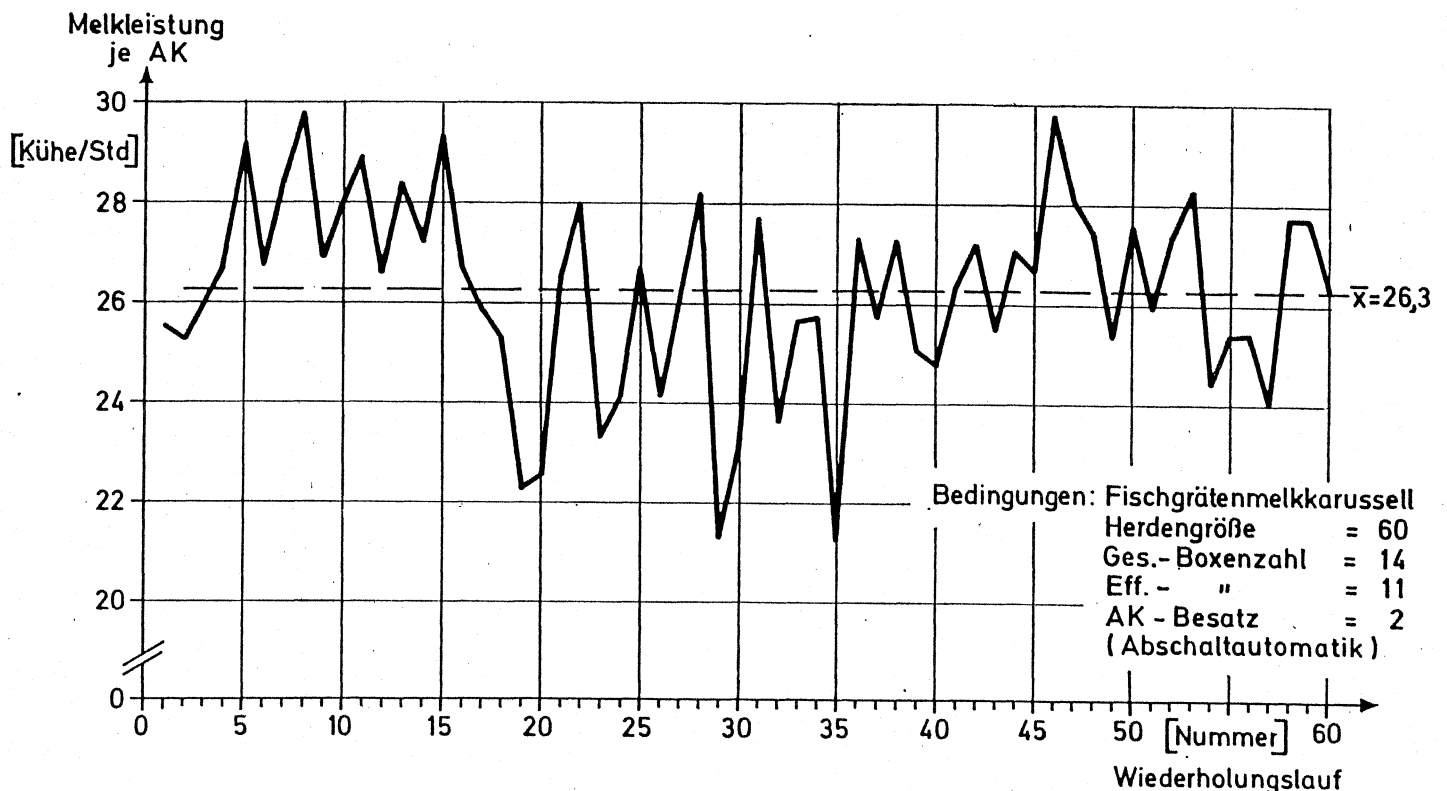


Abb. 5: Melkleistungen im Karussellmelkstand bei zunehmender Wiederholungszahl, ermittelt durch stochastische Simulation

werden. Unter den Bedingungen des Modellbeispiels benötigt aber jede Wiederholung etwa 30 Sekunden Rechenzeit²⁾, d. h., für die Ergebnisse von

²⁾ CPU-Zeit auf dem Rechner TR 440.

Abb. 5 sind etwa 30 Minuten Rechenzeit erforderlich. Dieser, selbst für EDV-Anlagen hohe Rechenzeitverbrauch, veranlaßte uns, nach Einschränkungsmöglichkeiten zu suchen. Wird nämlich aus

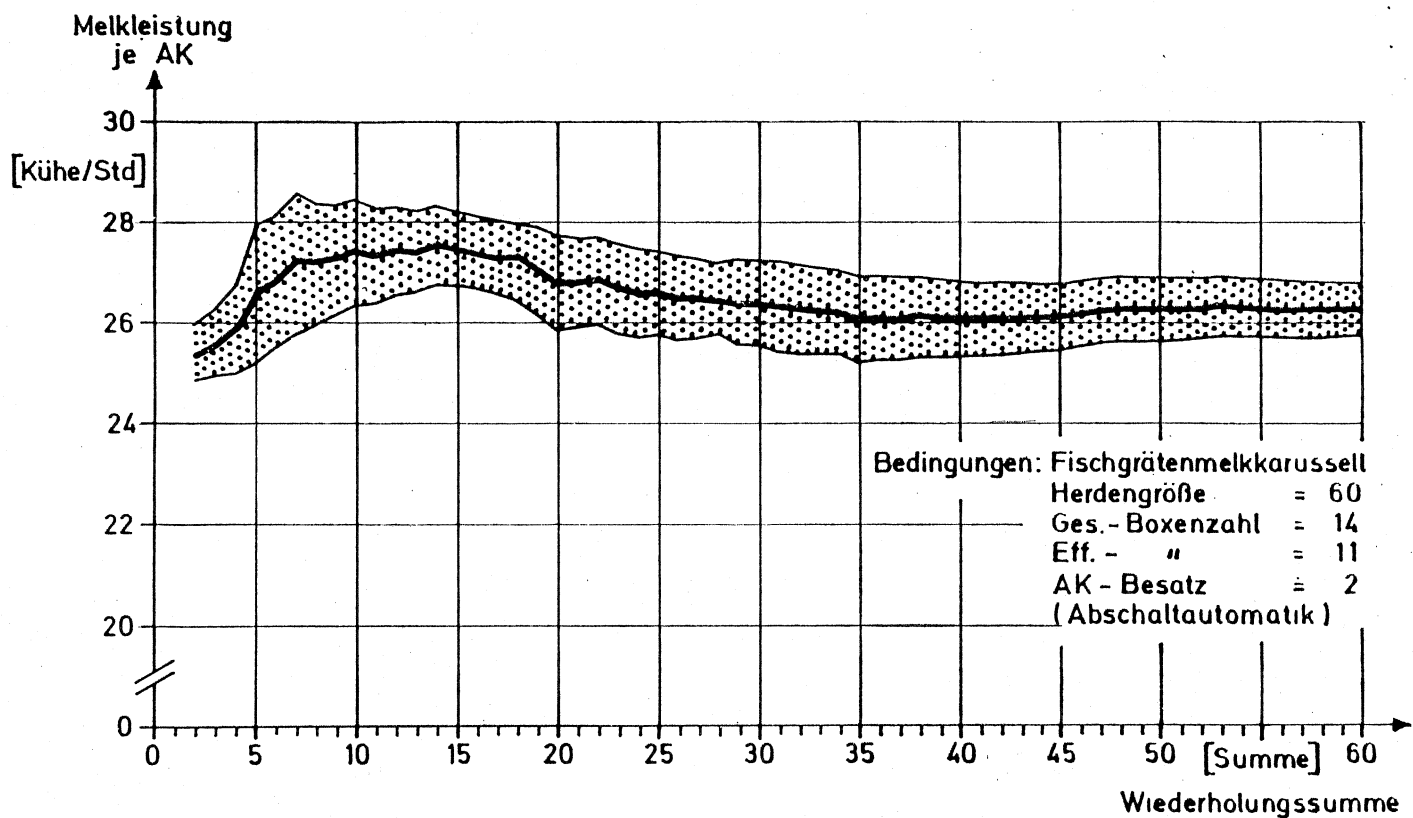


Abb. 6: Die Melkleistung im Karussellmelkstand als Mittelwert mit Vertrauensintervall ($S = 95\%$), ermittelt durch stochastische Simulation

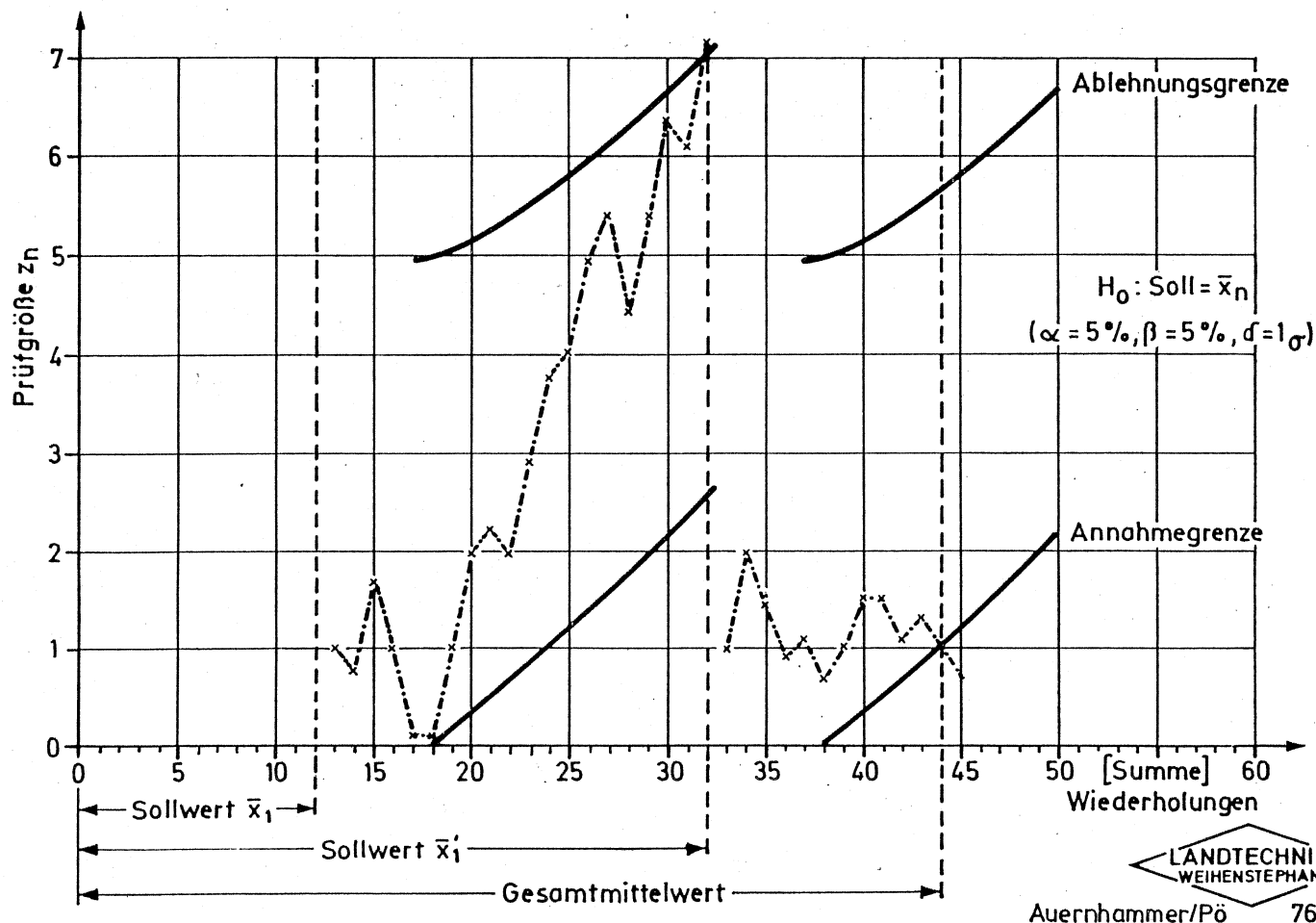


Abb. 7: Ermittlung der erforderlichen Zahl an Simulationswiederholungen durch den sequ. t-Test

den Wiederholungen ein temporärer Mittelwert gebildet (Abb. 6), so zeigt sich, daß dieser ab etwa 35 Wiederholungen eine steigende Stabilität zeigt. Statistisch bietet sich für ein derartiges Problem der sequentielle t-Test (10) an. Er baut auf einen Sollwert auf (hier die ersten 12 Wiederholungen) und testet das laufende Mittel der folgenden Wiederholungen gegen das Soll (Abb. 7). Zeigt sich ein signifikanter Unterschied, dann wird aus den bis dahin gerechneten Wiederholungen ein neuer Soll-Wert gebildet, bei Gleichheit hingegen die Simulation abgebrochen.

Obwohl durch diesen methodischen Eingriff erhebliche Rechenzeit gespart werden kann (im Beispiel etwa 30%), so bleibt doch immer noch zu bedenken, daß damit nur ein Datum mit dem zu erwartenden Streubereich erstellt wurde. Für ein Optimum muß dieser Vorgang bei geänderten Einflußgrößen wiederholt werden (7) und verursacht dann alleine für die Untersuchung eines Parameters je nach Feinheitgrad der Abstufungen bis zu zwei Stunden Rechenzeit (Abb. 8).

Somit kann mit der stochastischen Simulation:

- ein exaktes zeitgebundenes Arbeitsablaufschema erstellt werden, welches auch die Interaktivitäten berücksichtigt und
- entsprechend der Praxis das Gesetz des Zufalls in die Kalkulation einbezieht.

Dazu ist aber

- ein sehr umfangreiches Programm erforderlich,
- die Erstellung der Modellgrobstruktur schwierig und
- nicht zuletzt ein Rechenzeitaufwand erforderlich, welcher die Frage nach dem Nutzen im Verhältnis zum Aufwand rechtfertigt.

4. Folgerung

Aus dieser Gegenüberstellung zeigt sich somit ganz klar das Dilemma der derzeitigen Möglichkeiten zur Modellkalkulation. Sollen über die reine Kalkulation des Zeitbedarfes hinausgehende Informationen mit Bindung an die Zeitachse verarbeitet werden, dann ist dazu

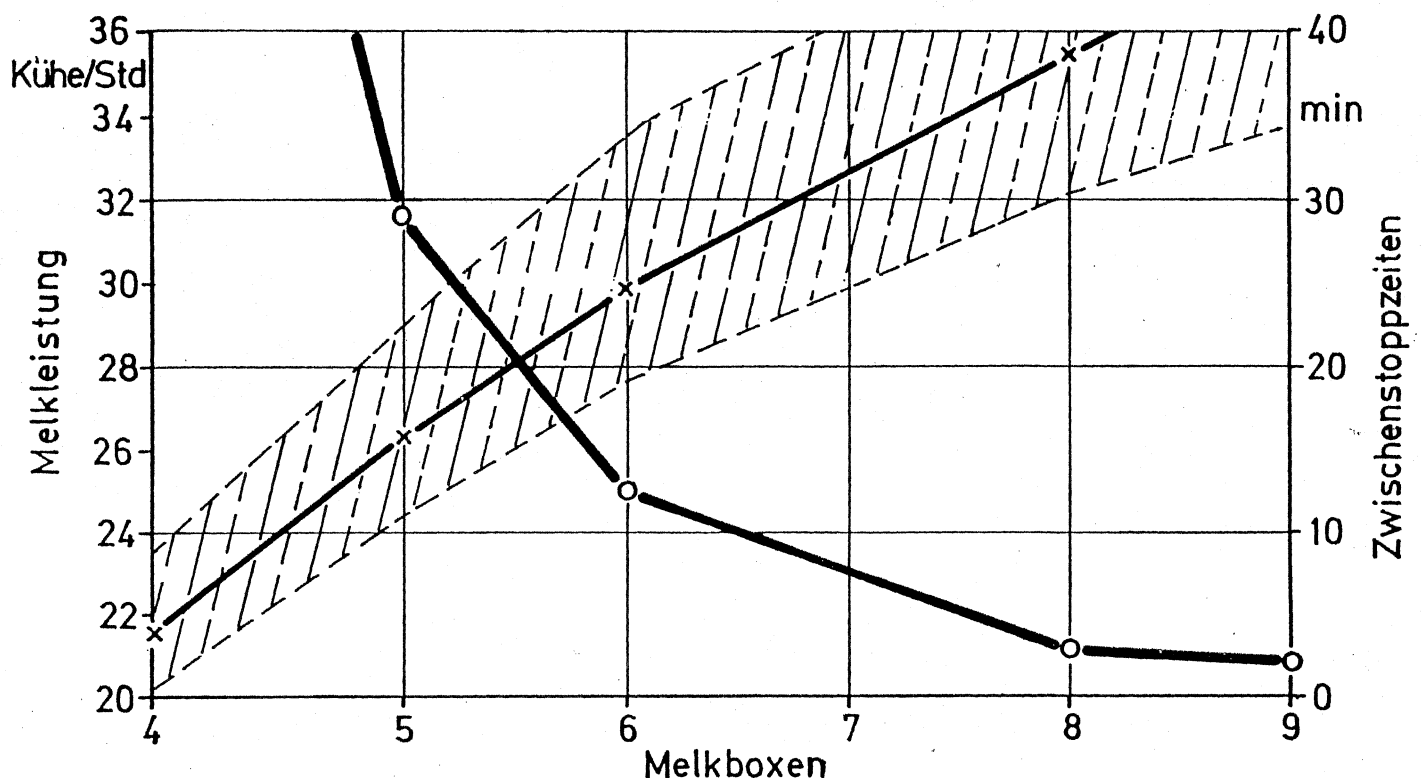


Abb. 8: Zusammenhang zwischen Melkleistung im Karussellmelkstand und Zwischenstoppszeiten aufgrund von Karussellstops durch den Melker

derzeit nur der stochastische Modellansatz brauchbar. Sein Einsatz muß aber an der schwierigen Modellerstellung und am hohen Rechenzeitbedarf scheitern. Einen Ausweg könnte vielleicht die Einbeziehung eines Simulators in den deterministischen Modellansatz darstellen, welcher im Nachhinein die Zuordnung der am Ablauf beteiligten Elemente zur realen Zeitachse vornehmen und damit ein hinreichend genaues Ergebnis erstellen könnte. Ob dieser Weg gangbar ist, müssen allerdings erst weitere intensive methodische Arbeiten klären.

5. Literaturverzeichnis

1. *Auernhammer, H.*: Eine integrierte Methode zur Arbeitszeitanalyse. KTBL-Schrift 203, Hilstrup: Landwirtschaftsverlag 1976.
2. —: Die Planzeitaggregation zu Arbeitsvorgängen, dargestellt an den Haltungungsverfahren der Bullenmast. Wissenschaftliche Hefte der Studiengesellschaft für landwirtschaftliche Arbeitswissenschaft e. V., Kaiserslautern 1975, H. 4, 125—135.
3. *Ayik, M.*: Analyse des elektrischen Leistungs- und Energiebedarfes wichtiger Bereiche der Milchviehhaltung. Diss. TU München 1975.
4. *Hammer, W.*: Gedanken zur Anwendung der SvZ in der Landwirtschaft. SH. der REFA-Nachrichten 1969, S. 17—25.
5. *Heyl, v. L.*: Analyse des elektrischen Leistungs- und Energiebedarfes wichtiger Bereiche der Rinder- und Schweinehaltung. Diss. TU München 1975.
6. *Knecht, G.*: Netzplantechnik in der Milchviehhaltung. Hilstrup: Landwirtschaftsverlag 1973, KTBL-Schrift 173.
7. *Niemeyer, G.*: Die Simulation von Systemabläufen mit Hilfe von FORTRAN IV. Berlin — New York: De Gruyter 1972.
8. *Pen, C. L. und Schön, H.*: Ein stochastisches Simulationsmodell für arbeitswirtschaftliche Untersuchungen von Melkverfahren. Grundle. Landtechnik 23 (1973), 6, 187—191.
9. *Schmidtke, H.*: Ergonomie 1. München: Hanserverlag 1973.
10. *Weber, E.*: Grundriß der biologischen Statistik. Jena: Fischer Verlag, 7. Aufl. 1972.