

# Verfahrenstechnische Simulation

## Möglichkeiten der Anwendung und Ergebnisse

*Simulation stellt in der Industrie und zunehmend auch in der Landwirtschaft eine Möglichkeit des Einsatztests und der präventiven Planung von zu beschaffenden Maschinen und Geräten unter individuellen Bedingungen dar. Aber auch Tendenzen der industriellen Produktentwicklung können durch den Einsatz einer verfahrenstechnisch orientierten Simulationssoftware untersucht und bewertet werden. Nachfolgend werden die Möglichkeiten einer solchen Software vorgestellt, ausgewählte Ergebnisse stützen die Aussagen.*

Die Simulation stellt ein alternatives Werkzeug zu Tabellenwerken und sonstigen Richtlinien dar. Allerdings handelt es sich bei Simulationen selten um Optimierungsrechnungen. Simulationssoftware kann Optimierungsalgorithmen enthalten, stellt selbst jedoch keine reine Optimierung dar. Mit Hilfe der in unserem Hause entwickelten Software können bestimmte verfahrenstechnische Einflussgrößen auf iterativem Wege so gesteuert werden, dass eine suboptimale Lösung für die Fragestellung erzielt wird. Eine Optimierung würde eventuell zu Ergebnissen führen, welche sich dann in der Praxis vielleicht nicht umsetzen lassen.

Unterschiedliche Feldstrukturen und Verfahrenstechniken müssen abzubilden sein. Mittels Variation bestimmter Maschinenparametrierungen werden verschiedene Leistungsgrößen der zu beschaffenden Technik untersucht (Arbeitsbreite, Durchsatzleistung, Bunkervolumina). Die in mehreren Si-

ein zu großer Überladewagen angeschafft wird, der mehr Traktorleistung benötigt, jedoch immer nur zu zwei Dritteln pro Umlauf gefüllt wird. Oder es wird aus Kostengründen ein zu kleiner Überladewagen beschafft, der für das Verfahren nicht ausreicht und dadurch Folgekosten verursacht (durch Standzeiten der Mähdrescher; zyklisch auftretende Standabbunkerung).

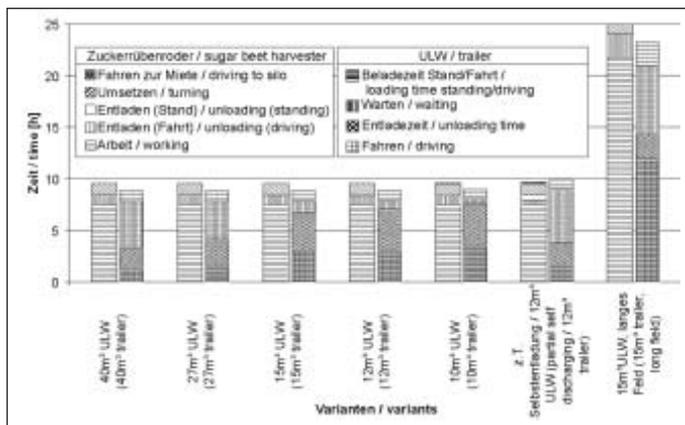
Ein Praxistest der durch Simulation favorisierten Maschine auf dem Feld ist nach derzeitigem Stand zu empfehlen, da die ermittelten Daten noch keine ausreichenden Rückschlüsse zulassen. Werden Herstellerangaben für die Simulation genutzt, von der Maschine mit diesen Parametern im Feldeinsatz die geforderten Werte jedoch nicht erreicht, so muss der Hersteller dem Kunden dann erklären, warum seine Angaben nicht erfüllt werden können.

In Bild 1 ist der entsprechende Sachverhalt am Beispiel der Zuckerrübenenernte dargestellt. Grundlage ist ein rund 540 m langes Feld, eingesetzt wurde ein 6-reihiger Köpfrödebunker mit 40 m<sup>3</sup> Ladevolumen und einem Durchsatz von etwa 90 t/h. Untersucht wurde der Einsatz eines Überladewagens mit 40, 27, 15, 12 und 10 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen.

Auffallend ist, dass die Wartezeiten des Überladewagens mit sinkendem Ladevolumen abnehmen, obwohl bei der Schlüsselmaschine selbst keine Wartezeiten auf den Überladewagen auftraten. Daraus kann abgeleitet werden, dass bei dem Einsatz eines Rübenrodgers und der gegebenen Feldlänge nicht mehr als 10 bis 15 m<sup>3</sup> Ladevolumen des Überladewagens notwendig sind.

Um Aussagen auch für lange Felder treffen zu können, wurde ein sehr langes Feld (rund 1200 m) in die Untersuchung einbezogen. Eingesetzt wurde neben dem Rübenrodger ein Überladewagen mit 15 m<sup>3</sup> Ladevolumen, beide mit den gleichen Parametern wie in den ersten Varianten. Trotz des sehr langen Feldes war dieser wiederum in der Lage, den Rübenrodger ohne Verlustzeiten zu bedienen!

Daraus kann abgeleitet werden, dass es ausreicht, zur Bedienung nur eines Rübenrodgers einen kleineren Überladewagen einzusetzen, welcher bodenschonender als ein



*Bild 1: Teilzeiten Köpfrödebunker beim Einsatz verschiedener Überladewagen (ULW, linke Säulen) und Teilzeiten für verschiedene Rübenüberladewagen (rechte Säulen)*

*Fig. 1: Part times of a sugar beet harvester in connection with different trailers (left columns) and part times of different sugar beet trailers (right columns)*

Dipl.-Ing. agr. Stefan Kübler, Dipl.-Ing. Winfried Fechner und Dr. rer. nat. Karlheinz Wendt sind Mitarbeiter und Prof. Dr.-Ing. Peter Pickel ist Leiter des Instituts für Agrartechnik und Landeskultur, Ludwig-Wucherer-Str. 81, 06108 Halle (Saale); e-mail: stefan.kuebler@landw.uni-halle.de

### Schlüsselwörter

Simulation, Feldprozesse, Produktentwicklung

### Keywords

Simulation, field processes, product development

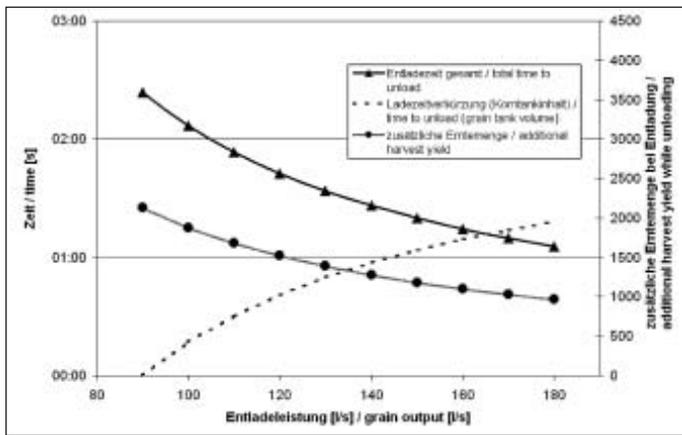


Bild 2: Einfluss der Entladeleistung des Mähdreschers auf die Gesamtentladezeit

Fig. 2: Effect of the combine's grain discharge rate on total unloading time

großer ist. Einziges Manko bleibt allerdings die Anzahl der Fahrten und die damit korrelierende Gesamtfahrstrecke auf dem Feld. Während in der Variante 1 (40 m<sup>3</sup> Überladewagen) lediglich 26 Fahrten bei etwa 17 km Wegstrecke und Ø 29 t Lademasse zu verzeichnen waren, wurden in Variante 5 (10 m<sup>3</sup> Überladewagen) 98 Fahrten bei rund 60 km Wegstrecke gezählt. Die durchschnittliche Lademasse betrug hier nur 7,6 t. Dementsprechend kann auch die Traktorleistung verringert werden. Hier gilt es, zwischen wenigen schweren und vielen leichten Transporten zu entscheiden.

### Industrieller Nutzen verfahrenstechnischer Simulation

Mit Hilfe der Simulationssoftware und voraus gegangener Praxisuntersuchungen können Einflussgrößen (Flächenabmessungen, Ertrag) quantifiziert und Parameter (Arbeitsbreite, Bunkerkapazität, Fahrgeschwindigkeit) der Maschinen aufeinander abgestimmt werden. Die Beeinflussung mehrerer Maschinen untereinander (Komplexeinsatz von Mähdreschern) lässt sich durch den Einsatz von Simulationssoftware, auch bei mehreren Wiederholungen, untersuchen. Teure Produktentwicklungen, welche vom Markt nicht angenommen werden, und Feldversuche können somit vermieden werden. Dies wird auch durch obiges Beispiel belegt.

Die Simulation bietet darüber hinaus die Möglichkeit, mit den Eigenschaften der Maschinen und Verfahren zu „spielen“. Es können Parameter definiert und deren Auswirkungen auf das Gesamtverfahren untersucht werden, die mit herkömmlichen Mitteln (wie EXCEL<sup>®</sup>) nicht eindeutig vorherzusagen sind. Die Simulationsergebnisse lassen sich in EXCEL<sup>®</sup> gut nachvollziehen, jedoch nicht so sicher vorhersagen, wie es die Simulation vermag.

Denkbar sind an dieser Stelle verfahrenstechnisch sinnvolle Erweiterungen (größere Bunkervolumina und Entladegeschwindig-

keiten, Durchsätze von > 70 t/h und deren Auswirkungen auf die Transportstufen). Leistungsänderungen durch veränderte Parameter können durch die Simulation nachgewiesen und finanziell kalkuliert werden.

Hierzu soll folgendes Beispiel zur Veranschaulichung dienen: die Pufferkapazität der Mähdrescher sorgt für eine partielle Entkopplung der Transportmittel, die Entladeleistungen bestimmen die Zeit der Kopplung Mähdrescher - Transportmittel. Eine Steigerung der Transportleistung wird durch die Erhöhung der Anzahl der je Zeiteinheit durchgeführten Überladungen bei nahezu vollem Puffer und durch die Erhöhung der Entladeleistung erreicht.

Die Auswirkungen der Beziehung Puffer zu Transportkapazität sind dann zu spüren, wenn es durch ungenügende Abstimmung zu zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten kommt. Effektive Bunkervolumina können in Größenordnungen von den realen Bunkervolumina abweichen und sich ohne primäre Pufferwirkung auf die Lademassenkapazität der nachfolgenden Transportkette auswirken. Die Pufferwirkungen der Erntemaschine werden an die Transportmittel weitergereicht und erst dort wirksam. Durch steigende Durchsatzleistungen wird dieser Effekt bei gleichen Entladeleistungen noch verstärkt.

Hierzu gibt Bild 2 Aufschluss. Dargestellt ist die während der Entladung noch anfallende Erntemenge, die daraus resultierende Gesamtentladezeit und die durch zunehmende Entladeleistung der Erntemaschine entstehende Ladezeitverkürzung.

Beispielhaft wurden folgende Parameter eingesetzt:

Bunkervolumen:	12 m <sup>3</sup>
Füllgrad bei Entladestart:	90%
Durchsatz (bei Ertrag):	40 t/h (7,5 t/ha)
Arbeitsbreite:	9 m
Fahrgeschwindigkeit:	5,9 km/h

Die laut Prospektangabe zu erreichende Entladeleistung beträgt 105 l/min. Dies bewirkt nach obigem Modell eine Gesamtüber-

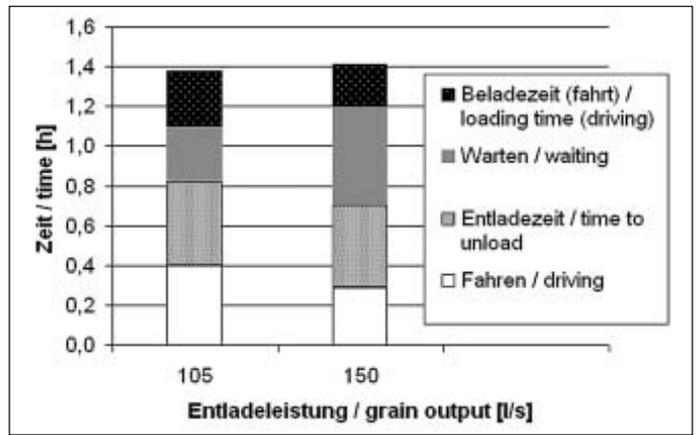


Bild 3: Teilzeiten eines Überladewagens in Abhängigkeit von der Entladeleistung des Mähdreschers

Fig. 3: Part times of grain-reloading wagon, depending on discharge rate

ladezeit von 2,4 min. Würde die Leistung auf 140 l/min gesteigert, ließe sich die Gesamtüberladezeit auf 1,43 min oder um 58 s verringern! Unterstellt man drei Mähdrescher je Überladewagen, so kann sich die Gesamtumlaufzeit um etwa 3 min verringern, Zeit für andere Teilaufgaben.

Dieser Zeitgewinn erscheint im ersten Augenblick gering. Daher wurde dieser Sachverhalt ebenfalls mit Hilfe der Simulationssoftware untersucht. In Bild 3 sind die Teilzeitanteile für den eingesetzten Überladewagen dargestellt. Grundlage ist wiederum obiges Feld mit etwa 540 m Länge. Eingesetzt wurden zwei Mähdrescher mit den gleichen Parametern des Beispiels aus Bild 2.

Der Wartezeitanteil nimmt deutlich zu. Die Fahrzeit und die Beladungszeit nehmen ab, während der Entladezeitanteil gleich bleibt. In diesem Beispiel kann ein Zeitgewinn von 12,9 min allein in der Wartezeit erreicht werden, insgesamt steht dem Überladewagen ein freiwerdender Zeitraum von 23,8 min bei nahezu gleicher Gesamtprozesszeit zur Verfügung.

### Fazit

Die Möglichkeiten der Nutzung von Simulationssoftware steigen mit dem Umfang der darin integrierten Algorithmen und einer entsprechenden Verifizierung anhand umfangreicher Praxisdaten. Sowohl Einspareffekte der Hersteller, etwa durch angepasste Produktentwicklungen, als auch die Möglichkeit der individuellen Beratung der Kunden führen zu einer fruchtbaren Koexistenz beider Partner.

Aber auch für Beratungseinrichtungen kann die Nutzung einer solchen Software behilflich sein, großen Agrarbetrieben, aber auch kleineren bäuerlichen Strukturen maßgeschneiderte Lösungen für die individuellen Probleme zu liefern.