



# Messgenauigkeit von Ernteaggregaten

Der Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen des Karlsruher Institutes für Technologie (KIT) und das Ingenieurbüro Dr. Föllner & Partner haben in dem vom BMBF geförderten Forschungsprojekt „Navigation, Vermessung und Kennzeichnung“ (NAVKE) die Messgenauigkeit von Vollernteaggregaten untersucht.

*Jörg Föllner, Christian Schwab*

**Z**iel des Projektes NAVKE war es, neben den Erntedaten, Waldbesitzern usw. auch die Volumendaten des Stammabschnitts auf einem RFID-Tag zu speichern und diesen vollautomatisch stammmitig an der Stirnseite anzubringen. Die Diskussion um die Messgenauigkeit von Ernteaggregaten und der Versuch, diese zur Eichfä-

higkeit weiterzuentwickeln, waren Anlass für die Untersuchung.

In den Versuchen wurde Langholz auf eine Länge von 440 cm zzgl. 4 cm Toleranz zugeschnitten (Abb. 1). Zur Messung gingen die Signale des Messrads und der Potentiometer für die Durchmesserfassung. Zusätzlich wurden mit einem Seilzugsensor die Abschnittlänge aufgezeichnet und abschließend die Länge

sowie die Verdrehung der Stämme während des Vorschubs manuell erfasst.

Abb. 2 zeigt die Verteilung der Messwerte, wobei die blaue Datenreihe dem Zielwert entspricht, der laut Bordanzeige im Mittel recht gut erreicht wird. Bis auf wenige Ausnahmen liegen alle Werte in einem 4 cm breiten Toleranzfeld. Dies ist nicht verwunderlich, weil bei Abweichungen über 4 cm die Position automatisch nachkorrigiert wurde.

Abb. 1: Versuchsmaschine HSM 405H mit Aggregat Waratah H480, das die Länge mittels Impulsgeber am Messrad misst und den Durchmesser mit den Winkelsensoren der oberen Messer

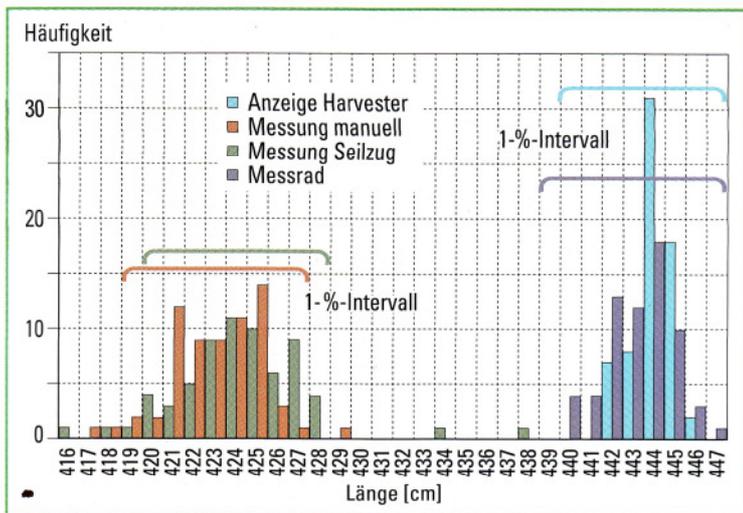


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung der Messwerte (ohne Korrekturfaktoren)

	Anzeige Harvester	Manuelle Messung	Messung Seilzug	Messrad
Unter 99 % des Mittelwerts	0 %	3 %	4,5 %	0 %
1%-Intervall um Mittelwert	100 %	94 %	92,5 %	98,5 %
Über 101 % des Mittelwerts	0 %	3 %	3 %	1,5 %

Tab. 1: Abweichungen vom Mittelwert

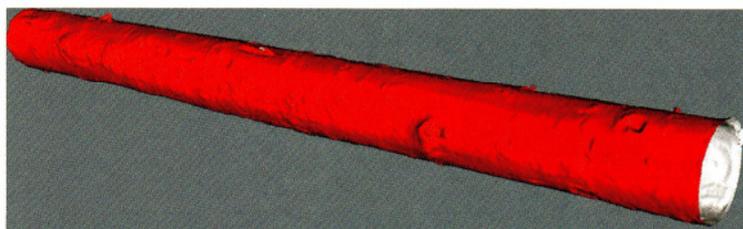


Abb. 3: 3D-Scan eines Stammabschnittes

Die Ergebnisse des Messrades weichen hiervon im Mittel, bei einer breiteren Verteilung, nur gering ab. Ursächlich ist die technisch bedingte, mehrmalige Umformung der Signale. Die Streuung des Seilzugsensors ist, bedingt durch das ungedämpfte Schwingen des Seils, am höchsten. Die manuelle Messung entspricht dem Absolutmaß. Die deutlichen Abweichungen zwischen den Messwerten des Harvesters, des Messrades und den absoluten Längen liegen darin begründet, dass die Harvestersteuerung systematisch mit empirischen Korrekturfaktoren arbeitet. Hierbei handelt es sich um zwei lineare Faktoren für das verwendete Messrad und die Holzart. Beide wurden für die Messungen ausge-

schaltet, um verfälschende Einflüsse zu vermeiden. Daher ergibt sich die Differenz der Mittelwerte um etwa 20 cm. Die Faktoren können nachträglich eingerechnet werden und zeigen somit die Richtigkeit der Längenverhältnisse.

Die Auswertung belegt, dass die Ergebnisse in den meisten Fällen in einem Intervall von  $\pm 1\%$  um den Mittelwert liegen, sofern es nicht durch besondere Einflüsse zu Abweichungen kam (Tab. 1).

### Dreidimensionale Vermessung

Zur detaillierten Analyse der Einflüsse der Stammoberfläche auf die Länge wurden ausgewählte Stämme bei der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg auf einem 3D-Scanner vom Typ DiSHAPE vermessen. Hierbei sollten auffällige Unebenheiten, besonders auf der Messradspur aufgenommen und der Spurvorsatz des Messrades zwischen beiden Stammenden ermittelt werden.

Die Auflösung des Scanners in Längsrichtung beträgt 5 mm und  $1^\circ$  in Umfangsrichtung. Abb. 3 zeigt das 3D-Modell eines geschnittenen Stammes.

### Auswertung der Messdaten

Bei der Auswertung der Daten wurden die Geschwindigkeit des Messrades und die Wegemessung betrachtet und auffällige

**Lamm**  
SEILE · HEBEZEUGE  
KETTEN · HYDRAULIK

Brücknerstraße 5  
96146 Altendorf  
Tel.: +49(0)9545/35980-0  
Fax: +49(0)9545/35980-29  
Email: g.lamm@lamm-seile.de  
www.lamm-seile.de

**NEU** DE **RUD**  
RUD STACHELKETTE  
FÜR EXTREMSTE EINSÄTZE



**NEU**  
Fordern Sie unseren neuen Hauptkatalog 2012/13 an



Auf unserer Homepage können Sie kostenfrei unseren neuen Hauptkatalog anfordern!

### Mögliche Fehlerquellen:

- Stark unregelmäßige Holzoberfläche
- Korrekturfehler in der Maschinensteuerung
- Überfahrt umgeknickter Äste
- Krumme, verwundene Stämme
- Verdrehen der Stämme
- Mehrmaliges Anfahren (Reversieren)
- Starkäste, die nicht gleich abgeschert werden
- Sehr feuchte oder gefrorene Oberflächen

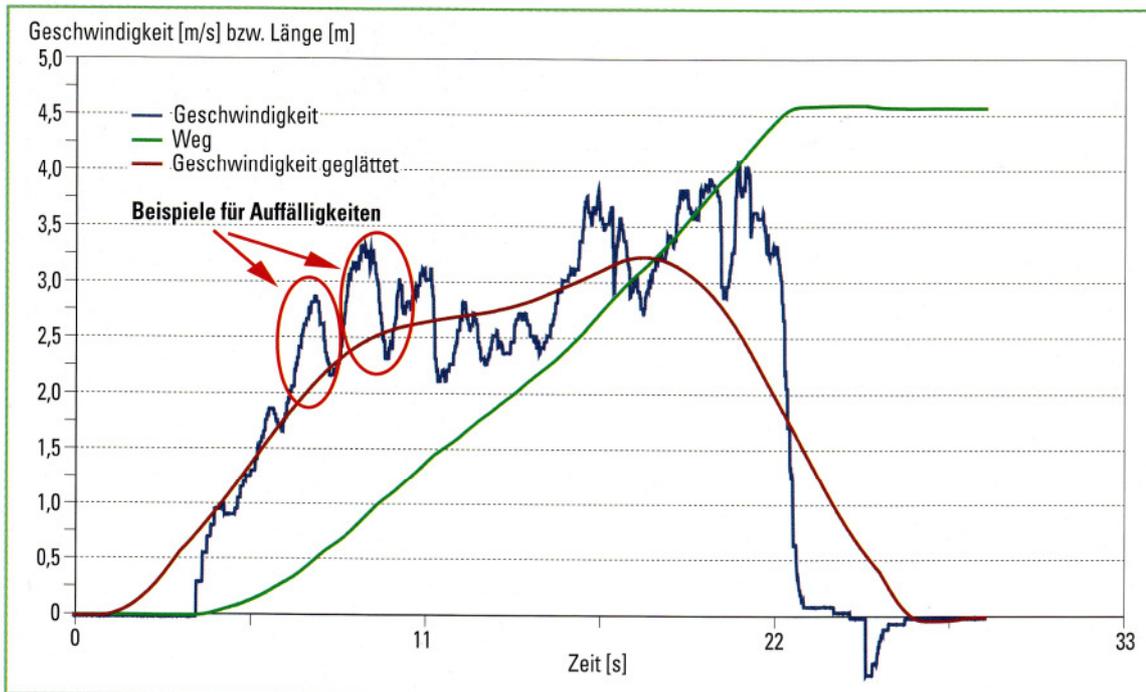


Abb. 4: Messdaten eines Stammabschnitts

Grafik: dlv, Quelle: Schwab

Veränderungen der Geschwindigkeit untersucht. Eine auffällige Geschwindigkeitsänderung kann ursächlich durch Auf- und Abwärtsbewegungen des Messrades beim Überfahren von Unebenheiten oder Stöße beim Auftreffen eines Entastungsmessers auf dickere Äste entstehen und als Anzeichen auf ein das Maß beeinflussendes Ereignis angesehen werden.

Abb. 4 zeigt den Verlauf der Geschwindigkeit des Messrades und die zurückgelegte Strecke. Es wurde vermutet, dass starke Verzögerungen und Unebenheiten (Schlupf) das Messergebnis verfälschten, weil diese im Messschrieb als deutliche Änderung der Geschwindigkeit (Kreise) erkennbar waren.

Nach der detaillierten Auswertung der Daten konnten die ermittelten Positionen der Geschwindigkeitsänderungen den bei der Stammsauswahl erfassten Positionen der Auffälligkeiten gegenübergestellt werden.

Es hat sich gezeigt, dass bestimmte Ereignisse im Arbeitsprozess, wie das Überfahren von größeren Unebenheiten und das Abscheren dicker Äste, Geschwindigkeitsänderungen erzeugen, welche in den Messdaten erkennbar sind. Eine auffällige Geschwindigkeitsänderung muss aber nicht zwingend eine Längenabweichung bedingen. Zur Verbesserung der Längenmessung könnten die signifikanten Geschwindigkeitsänderungen als zusätzlicher dynamischer Korrekturfaktor genutzt werden.

Zu beachten ist, dass in den Fällen, in denen ein qualitativer Zusammenhang zwischen Ereignis und Geschwindigkeitsänderung herstellbar ist, nicht zwingend ein allgemeingültiger quantitativer Zusammenhang mit den Messdaten vorhanden

ist. So kann ein starker Ast die Vorschubgeschwindigkeit zwar deutlich reduzieren, erzeugt aber nicht zwingend einen Messfehler. Auch hat sich aus den statistischen Daten gezeigt, dass ein erhöhter Längenfehler nicht automatisch mit einer hohen Anzahl an Auffälligkeiten einhergeht. Es lässt sich jedoch festhalten, dass signifikante Abweichungen zumeist auf Einzelereignissen basieren.

Es zeigte sich, dass die Verdrehung des Stammes eine sehr geringe Längenänderung erzeugte, die bei gleichmäßig angenommener Verdrehung des Stammes um 45° lediglich 3 mm beträgt.

**Zusammenfassung**

In der ersten Phase wurde Langholz in etwa 440 cm lange Abschnitte gesägt und auf drei verschiedene Varianten in der Länge vermessen. Die Längen wurden statistisch ausgewertet. Festgestellt wurde, dass bei der manuellen Nachvermessung 94 % der Stammabschnitte im Intervall  $\pm 1$  % um den Mittelwert streuen. Weiterhin lagen 97 % der Stammabschnitte in einem  $\pm 2$  %-Intervall. Wie gut der Mittelwert jedoch der Soll-Vorgabe entspricht, hängt von der Genauigkeit der Korrekturfaktoren ab. Kommt es witterungs- oder holzbedingt zu erschwerten Bedingungen, entstehen tendenziell größere Abweichungen. Diese Einflüsse sind zwar zumeist nachvollziehbar, jedoch im Einsatz nicht für eine Korrektur zu erfassen.

In der zweiten Phase wurden ausgewählte Stämme 3D-vermessen und in ein Oberflächenmodell überführt. Mit Hilfe dieses Modells und den Messdaten wurde versucht, eine Beziehung zwischen Ober-

fläche und Längenfehler auf Basis von Geschwindigkeitsänderungen des Messrades zu ermitteln. Es konnte gezeigt werden, dass in der Regel den Auffälligkeiten der Oberfläche eine Geschwindigkeitsänderung zuordenbar ist, doch konnte der umgekehrte Fall nicht immer bestätigt werden. Es bleibt zu prüfen, ob mit einem zusätzlichen Sensor die Fehler detektiert werden können. Bei ausreichender Genauigkeit ist dann ein kalibrierfähiges Längenmaß möglich.

**Fazit**

Grundsätzlich ist die Längenmessung mittels eines Messrades relativ genau, sofern die Korrekturfaktoren korrekt ermittelt werden und das Holz „eben“ ist. Einzelne Ereignisse können jedoch einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Messgenauigkeit haben. Besonderen Einfluss hat das Überfahren von Unebenheiten oder Astresten mit dem Messrad, sowie mehrmaliges Reversieren.

Diese Auffälligkeiten könnten zu einem zusätzlichen dynamischen Korrekturfaktor genutzt werden. Mechanisch sollten mit einem zweiten, seitlich versetzten Messrad oder einer zusätzlichen alternativen Messmethode diese Messfehler detektierbar werden.

*Dr.-Ing. Jörg Föllner ist Inhaber des Ingenieurbüros Dr. Föllner & Partner. Dipl.-Ing. Christian Schwab arbeitet am Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen am Karlsruher Institut für Technologie (KIT).*

Infos:  
www.dr-fup.de