

Zoltan Gobor und Georg Fröhlich

# Vollautomatische Aufhängung der Aufleitdrähte in Hopfen-Hochgerüsten

Konzept, Entwicklung und Optimierung des zweiten Prototyps eines Geräts zur vollautomatischen Aufhängung der Aufleitdrähte werden dargestellt. Ein Hauptvorteil des neuartigen Geräts gegenüber der manuellen Befestigung ist die Minderung des Unfallrisikos. Außerdem wird die körperlich sehr belastende Arbeit des Aufhängens der Aufleitdrähte erleichtert und kann durch die Automatisierung auch unter ungünstigeren Witterungsbedingungen durchgeführt werden.

## Schlüsselwörter

Hopfenerzeugung, Automatisierung im Sonderkulturanbau, Aufleitdrahtaufhängung, Prototypentwicklung

## Keywords

Hop growing, automation in speciality crops, fastening of the support wire, prototype development

## Abstract

Gobor, Zoltan and Fröhlich, Georg

## Automated fastening of the support wire in high trellis of hop

Landtechnik 65 (2010), no. 4, pp. 283-285, 2 figures, 3 references

The concept, development and optimisation of a second prototype of a device for fully automated fastening of the support wire will be presented in this paper. The main advantage of the novel device is the minimization of accident risk. Moreover the ergonomic burden of hanging up the support wires can be reduced by this automatization. Furthermore, the device makes it possible to perform the work also under difficult atmospheric conditions.

Die Bundesrepublik Deutschland ist mit etwa 18 500 ha Anbaufläche der größte Hopfenerzeuger weltweit. Die charakteristische Bewirtschaftungsform in Deutschland sind 7-8 m hohe Gerüstanlagen, die der Hopfenrebe als Rankhilfe dienen und eine jährliche Erneuerung der Aufleitdrähte voraussetzen. Im Gegensatz zu anderen Hopfenanbauregionen, wo Aufleitmaterialien wie Kokos-, Kunststoff- oder Papierschnüre benutzt

werden können, hat sich in Deutschland ein 1,2-1,4 mm starker Eisendraht bewährt; er wird wegen seiner Reiß- und Dehneigenschaften geschätzt [1]. Die Befestigung der Aufleitdrähte ist immer noch auf das manuelle Verfahren beschränkt und wird zwischen Oktober und Februar durchgeführt. Zwei bis vier Personen befestigen auf einer Hopfenkanzel, die am Frontlader angebaut ist, oder auf einer Arbeitsbühne [2] in einer Höhe von ca. 7 m die vorgeschrittenen Drähte an den Spanndrähten der Gerüstanlagen. Die manuelle Aufhängung wird bei einer Vorwärtsbewegung des Traktors mit konstanter Geschwindigkeit durchgeführt. Die Befestigung der Aufleitdrähte ist eine Arbeit mit erheblichem Unfallrisiko und ist ergonomisch betrachtet sehr belastend [3]. Außerdem muss sie oft unter ungünstigen Witterungsbedingungen durchgeführt werden. Deshalb sollte eine Vollautomatisierung angestrebt werden. Die Fa. Soller GmbH (Geisenfeld) beschäftigt sich mit dieser Idee schon seit etwa 10 Jahren. Die Idee wurde patentrechtlich geschützt und ein erster Prototyp entwickelt. Zwischen 2008 und 2010 führten die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft und die Fa. Soller hierzu ein gemeinsames Projekt durch. Hierbei wurde das System im Rahmen der Innovationsförderung durch das BMELV optimiert und weiterentwickelt und basierend auf den neu gewonnenen Erkenntnissen ein zweiter Prototyp entwickelt.

## Material und Methode

In der ersten Phase des Projekts wurden die bestehenden technischen Zeichnungen der Einzelteile komplett überarbeitet und in 3-D-Volumenmodelle konvertiert. Alle neu konstruierten oder optimierten Einzelteile wurden als 3-D-Volumenmodelle erzeugt. Als 3-D-CAD System wurde Pro/ENGINEER WF3 benutzt, was als vollparametrische 3-D-CAD-Software die Bearbeitung der gesamten Prozesskette vom Entwurf bis zur Fertigung des Prototyps ermöglichte. Das Konstruieren mit Pro/ENGINEER erlaubte sowohl das detaillierte Modellieren aller Bauteile und ihren virtuellen Zusammenbau zu Baugruppen als auch die Durchführung von kinematischen Analysen mit dem virtuellen Prototyp (VP).

Der Schwerpunkt in der zweiten Phase des Projekts lag auf der Beobachtung von hydraulischem Druck, Durchfluss und Temperatur an den Hauptölleitungen des ersten Prototyps während des Bindevorganges. Die Messungen wurden mit einer kompakten modularen Messplattform durchgeführt, die analoge, digitale und Zähler-Signale erfasste. Als Druckaufnehmer wurden Sensoren der Fa. Danfoss implementiert, Modell MBS 3250, Baureihe 060 G1 869. Der Durchfluss wurde mit einer Turbine RE 4 des Herstellers Hydrotechnik erfasst, deren Bauform die zusätzliche Installation eines Temperaturfühlers (Pt 100) für eine gleichzeitige Beobachtung der Öltemperatur erlaubte. Die Messdaten wurden im Rahmen von Feldversuchen erhoben und über eine Standardschnittstelle auf der Festplatte eines Laptops gespeichert. Die Software für die Datenerfassung am Hopfendrahtbindegerät wurde mit LabVIEW Developer Suite von National Instruments entwickelt und an die speziellen Anforderungen angepasst.

Gleichzeitig wurde das Subsystem für die Drahtzwischen-speicherung (**Abbildung 1**) unter Laborbedingungen analysiert und optimiert.

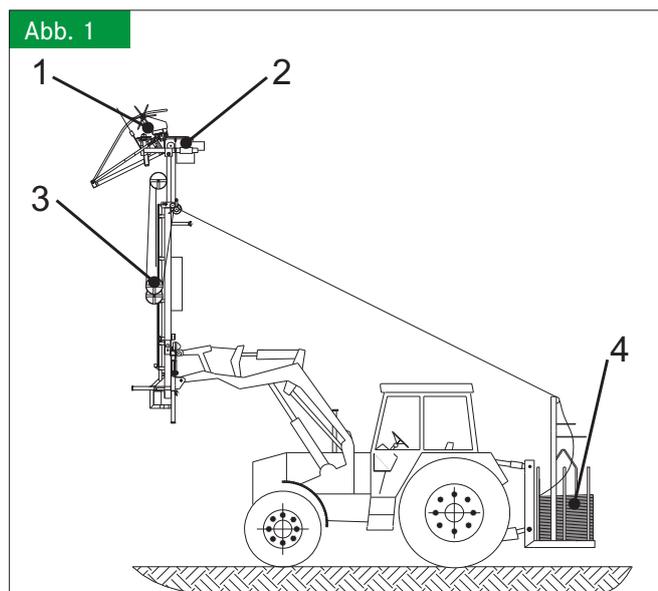
### Ergebnisse

Die Entwicklung des VP war die Grundlage für die weitere Optimierung des unter dynamischen Gesichtspunkten betrachtet sehr komplizierten Subsystems „Bindekopf“. Im Gegensatz zu dem ersten Prototyp wurden für das Aufstellen des Bindekopfs und das Biegen des Aufleitdrahts um den Spanndraht statt einfachwirkender Zylinder zwei Schwenkmotoren mit integrierter Endlagendämpfung eingebaut. Der Pro/ENGINEER-Modul-Me-

chanismus ermöglichte es, die Bewegungsabläufe des Subsystems virtuell zu verfolgen, die Ergebnisse zu analysieren und schließlich, auf diesen Ergebnissen basierend, die Einzelteile zu optimieren (**Abbildung 2**).

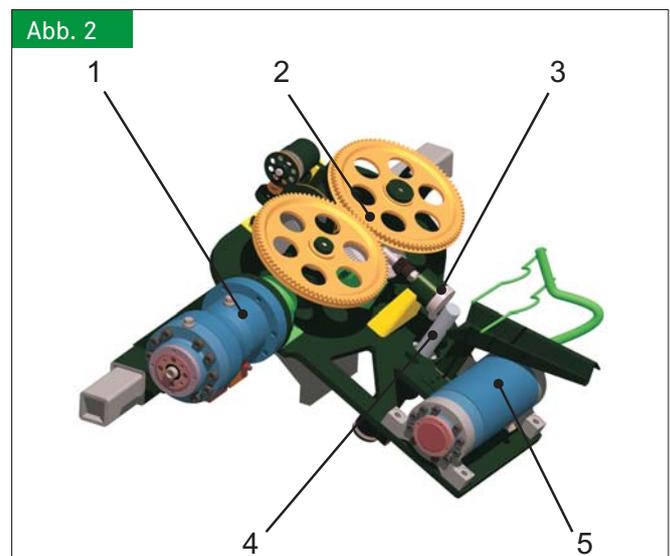
Der VP ermöglichte somit die Funktionsprüfung bei verschiedenen Konfigurationen der Schwenkmotoren und bei Änderungen ihrer Ansteuerungspunkte in der Gesamtablaufkette. Weiterhin konnten Kollisionsanalysen in einer frühen Optimierungsphase durchgeführt werden, ohne dass die vorhandene physikalische Konstruktion verändert werden musste. Vor dem Hintergrund, dass das Subsystem technisch komplex ist, wurden Konstruktionsfehler durch die Analyse mit dem VP minimiert und die Entwicklungszeit deutlich verkürzt.

Für die Untersuchung von hydraulischem Druck, Durchfluss und Temperatur an den Hauptölleitungen des ersten Prototyps wurden die Ausführungszeiten der vier zeitkritischsten Vorgänge bei insgesamt 230 Drahtbindungen analysiert, ausgewertet und ihre Abweichung vom theoretischen Sollwert diskutiert. Es wurde festgestellt: Die Ausführungszeiten des Vorschubes variieren sehr stark und beim Gesamtvorschub treten Schwankungen bis 110 % auf. Als Ursache wurden der Schlupf zwischen Draht und Vorschubmechanismus, die begrenzte Leistung des hydraulischen Antriebes des Vorschubmechanismus und die Art der Ansteuerung der Aktoren identifiziert. Ähnliche Beobachtungen wurden beim Nachfüllen des Drahtzwischen-speichers gemacht, wobei Schwankungen bis zu 144 % auftraten. Die Erhöhung der Reibung zwischen dem Draht und dem Vorschub- und Nachfüllmechanismus reduzierte den Schlupf. In der Folge stieg aber der Leistungsbedarf und eine konstant verfügbare Hydraulikleistung wurde erforderlich. Um diese zur Verfügung zu stellen und um Leistungsschwankungen in beiden Mechanismen zu vermeiden, wurde eine Konzeptänderung erarbeitet. Hierbei wurde das Hydrauliksystem in zwei



Gerät für vollautomatische Aufhängung der Aufleitdrähte in Hochgerüstanlagen für Hopfen. 1: Positionierungseinheit, 2: Bindekopf, 3: Drahtzwischen-speicher, 4: Drahtspeicher

Fig. 1: Device for fully automated fastening of the support wire in high trellis of hop. 1: positioning unit, 2: wire tying unit, 3: intermediate storage of the wire, 4: wire coil



Virtueller Prototyp des Subsystems „Bindekopf“. 1: Aufstellen, 2: Drahtvorschub, 3: Drehen, 4: Schneiden, 5: Biegen

Fig. 2: Virtual prototype of the wire tying subsystem. 1: positioning, 2: wire feeding, 3: twinning, 4: cutting, 5: bending

unabhängige Hydraulikkreise aufgeteilt. Ein Hydraulikkreis versorgt die Turmsteuerung und den Nachfüllmechanismus des DrahtzwischenSpeichers, der zweite alle Operationen der Drahtbindung und des Vorschubes.

Der DrahtzwischenSpeicher wurde optimiert. Es handelt sich um eine Vorrichtung, die zwischen den Bindekopf und die Drahtvorratsrolle eingebaut ist. Sie ermöglicht die Erhöhung der Vorschubgeschwindigkeit des Drahtes, ohne dass sich das Aufleitdrahtmaterial beim schnellen Abziehen von der Vorratsrolle verknötet oder verhakt. Der DrahtzwischenSpeicher hat die Form eines Flaschenzuges mit einer festen und zwei unabhängig beweglichen Umlenkrollen. In seinem Mechanismus wurde das Federelement, das die Verbindung zwischen Rahmen und beweglichen Umlenkrollen realisiert, durch einen Balancer ersetzt. Gleichzeitig wurden beide beweglichen Umlenkrollen fest miteinander gekoppelt, um die ruckartige Bewegung der Rollen auszugleichen. Der Vorteil des Balancers gegenüber der Feder besteht darin, dass er über den gesamten Weg eine nahezu gleichbleibende Rückzugskraft erzeugt. Die gewünschte Rückzugskraft lässt sich in einem bestimmten Arbeitsbereich anpassen und somit können optimale Bedingungen eingestellt werden. Dadurch wird eine ausgeglichene Vorspannungskraft des Drahtes während des gesamten Arbeitszyklus des DrahtzwischenSpeichers eingehalten. Weiterhin wurden Varianten diskutiert, mit dem Ziel, eine variable Auffüllgeschwindigkeit des Drahtspeichers zu erreichen, die von der Fahrgeschwindigkeit abhängig ist.

Gemeinsam mit der Fa. Mitsubishi Electric wurde die Steuerung des Hopfendrahtbindegeräts mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) realisiert und die Programmierung optimiert. Zusätzlich zum vollautomatischen Betrieb lässt sich die Position des Geräts über eine Fernbedienung korrigieren und der Ablauf des Bindevorgangs manuell steuern.

### Schlussfolgerungen

Zur Optimierung des vollautomatischen Hopfendrahtbindegeräts wurde zuerst ein virtueller Prototyp entwickelt. Es folgte eine kinematische und dynamische Analyse. Der reale erste Prototyp wurde mit Sensoren für die Beobachtung von hydraulischem Druck, Durchfluss und Temperatur ausgerüstet. Die Sensoren wurden an das Datenerfassungssystem angebunden.

Eine entsprechende Softwarelösung für die Datenerfassung wurde entwickelt. Weiterhin wurde ein Prüfstand für die Untersuchung des Prototyps unter Laborbedingungen umgebaut und erweitert. Schließlich wurde das Betriebsverhalten der Aktuatoren beobachtet und analysiert und die Reaktionszeiten und Dauer der Arbeitsgänge unter Feldbedingungen festgestellt. Durch das Optimierungsverfahren wurden neue Erkenntnisse gewonnen und ein zweiter Prototyp hergestellt. Die Änderungen beziehen sich hauptsächlich auf die Konstruktion des Subsystems „Bindekopf“, die Modifizierung des DrahtzwischenSpeichers und die Implementierung einer getrennten Hydraulikversorgung. Der optimierte Prototyp wurde im Winter 2009/2010 mehrere Wochen erfolgreich in Hopfengärten getestet. Die vorläufigen Ergebnisse bestätigen eindeutig, dass der beschriebene zweite Prototyp eine höhere Zuverlässigkeit bietet. Laut einer bei Hopfenerzeugern durchgeführten Umfrage wird eine Einführung in die Praxis nur stattfinden, wenn die Leistung im Dauerbetrieb und die Gesamtbetriebskosten mit Leistung und Kosten des traditionellen Verfahrens mit drei Arbeitskräften auf der Hopfenkanzel vergleichbar sind. Dieses Ziel wird angestrebt. Nach Abschluss der Entwicklung und Erprobung soll das Gerät durch die Fa. Soller gefertigt werden.

### Literatur

- [1] Portner, J.: Entwicklung eines Gerätes zur vollautomatischen Drahtaufhängung im Hopfenanbau. Proceedings of the Technical Commission IHGC of the 52<sup>th</sup> International Hop Growers' Congress, Strasburg, 2009
- [2] Borde, K. et al.: Hopfen. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 1989
- [3] Washington State Department of Labor & Industries: Hop Growing, Harvesting And Processing. (Update). Ergonomics Demonstration Project 2002. [http://www.lni.wa.gov/wisha/ergo/demofnl/hop\\_grow\\_update.pdf](http://www.lni.wa.gov/wisha/ergo/demofnl/hop_grow_update.pdf); Zugriff am 12.10.2009

### Autoren

**Dr.-Ing. Zoltan Gobor** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und **Dr.-Ing. Georg Fröhlich** ist Koordinator des Arbeitsbereichs Mechatronik am Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Vöttinger Straße 36, 85354 Freising, E-Mail: Zoltan.Gobor@lfl.bayern.de

### Danksagung

Die Autoren danken der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) für die Förderung des Projektes (Förderkennzeichen: FKZ 2815301507).