

Robert Holzer

Längenmesskopf für den Einsatz am Harvester/Prozessor

Diplomarbeit

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 2001 Diplom.de
ISBN: 9783832454029

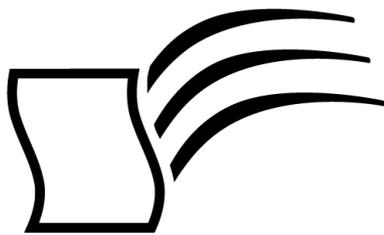
Robert Holzer

Längenmesskopf für den Einsatz am Harvester/Prozessor

Robert Holzer

Längenmesskopf für den Einsatz am Harvester / Prozessor

Diplomarbeit
an der Johannes Kepler Universität Linz
Technisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
Juli 2001 Abgabe



Diplom.de

Diplomica GmbH _____
Hermannstal 119k _____
22119 Hamburg _____

Fon: 040 / 655 99 20 _____
Fax: 040 / 655 99 222 _____

agentur@diplom.de _____
www.diplom.de _____

ID 5402

Holzer, Robert: Längenmesskopf für den Einsatz am Harvester / Prozessor / Robert Holzer - Hamburg: Diplomatica GmbH, 2002

Zugl.: Linz, Universität, Diplomarbeit, 2001

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden, und die Diplomarbeiten Agentur, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Diplomatica GmbH
<http://www.diplom.de>, Hamburg 2002
Printed in Germany

Danksagung:

Diese vorliegende Arbeit unterscheidet sich in manchen Punkten von einer Vielzahl anderer Diplomarbeiten:

Zum Einen ist es die erste Arbeit, die im Rahmen des neugegründeten Kompetenzzentrums Mechatronik erstellt wurde.

Zum Anderen ist es nicht eine reine wissenschaftliche Erörterung eines klar gestellten Einzelproblems, sondern wurde im Lauf der Zeit vielmehr zu einer durchaus detektivischen Arbeit. Zu einem Forschen quer durch alle Bereiche der Technik, zur Suche nach einer Fülle von Informationen zu vielen gänzlich verschiedenen Lösungsansätzen für eine zentrale Fragestellung.

Gerade aus diesen beiden Gründen gilt mein Dank vielen Menschen, ohne die ein solches Projekt organisatorisch und fachlich nicht in der gebotenen Kürze durchführbar gewesen wäre.

Ich möchte mir erlauben, hier die Namen derer, die mir durch ihre bereitwillige Unterstützung und fachspezifische Auskunft stark weitergeholfen haben, zu erwähnen:

Mag. Josef Aistleitner
Dr. Peter Burgholzer
Univ.-Doz. Dr. Christian Diskus
DI Johann Gruber
Bernhard Hauck
Dr. Patric Heide
Ing. Peter Heis
DI Johann Hoffelner
Ing. Walter Hüttner
Robert Jacob
Dr. Alexander von Jena
DI Mario Jungwirth
DI Erich Kolmhofer
Univ.-Doz. Dr. Andreas Kugi
DI Gerhard Kurka
DI Franz Lindinger
DI Wolfgang Märzinger
DI Johann Messner
Prof. Dr. Leonhard Reindl
Michael Schlee
Ing. Günther Schmied
Elisabeth Seiche
Ralf Steinheuer
Dr. Andreas Stelzer
Peter Taj
DI Peter Wimmer
DI Helmut Wurm

Weiters gilt mein Dank im Speziellen meiner Familie und meiner Freundin Petra, die mit mir (bzw. eben ohne mich) eine Zeit ungewöhnlich intensiver Arbeit kennenlernen mussten, und die mich auf dem Weg in die Berufstätigkeit begleiteten.

Robert Holzer, im Juli 2001

Abstract:

In modern forestry trees are cut and pre-processed by harvesters or processors. These machines remove the branches and cut the logs exactly to the lengths the sawmills have ordered. The conventional length measuring system utilises a toothed wheel, the rotation of which is read out by an optical incremental encoder. As this system has various drawbacks and shortcomings a more accurate and reliable measuring system, possibly able to be gauged, is required.

This problem has been investigated in a project consisting of two workpackages. In the first of those a wide variety of ideas and measurement-principles was analysed, trying to determine which approach is most likely to result in an operating prototype. The final report of this first workpackage is what you have in hands.

The measurement-methods primarily dealt with are the following: optical measurement - image analysis, laser-based measurement systems, microwave Doppler-radar and ultrasonic Doppler-sensors.

In section 3 of this paper you will find the pros and cons of each principle compared to each other and a recommendation which concept is most promising.

In general, one will see that the real difficulty does not lie in the measurement itself but in the harsh environment. A prototype operating in the laboratory can possibly be built for each of the methods. A cost effective sensor operating in everyday forestry for long term use will most promisingly be developed using a microwave Doppler-based system.

Kurzfassung:

In der modernen Forstwirtschaft wird die Schlägerung und Aufarbeitung von Holz mit Hilfe von Harvestern oder Prozessoren durchgeführt. Es sind dies Baumerntemaschinen, welche die Bäume fällen, entasten und zuschneiden. Das Rohholz soll dabei möglichst genau nach Bestellung des Sägewerkes abgelängt werden. In derzeit eingesetzten Systemen wird die Länge des Stammes über die Umdrehungen eines Zahnrades gemessen, welches während des Vorschubs an die Stammoberfläche gepresst wird. Da dieses System verschiedene Nachteile und Mängel aufweist, besteht der Bedarf an einem bezüglich Genauigkeit und Zuverlässigkeit verbesserten System, welches berührungslos misst und womöglich eichfähig ist.

Dieses Problem wurde in einem zweigeteilten Projekt bearbeitet, in dessen erstem Teil eine Analyse der denkbaren Messvarianten durchgeführt wurde. Der Abschlussbericht dieses Teils ist die vorliegende Arbeit.

Die primär behandelten Messprinzipien sind folgende: optische Verfahren - Bildauswertung, lasergestützte Messsysteme, Mikrowellen-Dopplerradar und Ultraschall-Dopplerverfahren.

In Abschnitt 3 der vorliegenden Arbeit wird versucht, die Vor- und Nachteile der behandelten Verfahren gegeneinander abzuwägen und eine Empfehlung für das mit den besten Erfolgsaussichten weiterzuerfolgende Konzept abzugeben.

Generell lässt sich feststellen, dass die rauen Umgebungsbedingungen das größte Problem bei der Entwicklung eines derartigen Messgerätes sind. Der Bau eines Sensorprototyps für den Laborbetrieb wäre mit jedem Messprinzip denkbar. Als die erfolgversprechendste Variante für die Realisierung eines kostengünstigen Sensors im forstwirtschaftlichen Dauereinsatz hat sich die Verwendung eines Mikrowellen-Dopplerradars herausgestellt.

Inhaltsverzeichnis:

1. AUFGABENSTELLUNG UND RAHMENBEDINGUNGEN	6
1.1. Aufgabenstellung	6
1.2. Pflichtenheft	8
1.3. Diskussion der Anforderungen aus praktischer Sicht	9
1.3.1. Prinzipielle Kriterien und Gesichtspunkte zu Vermessungssystemen am Harvester	9
1.3.1.1. Zur Messgenauigkeit	9
1.3.1.2. Zur Eichbarkeit	10
1.3.2. Projekte zur Rohholzvermessung	10
1.3.2.1. SkogForsk	10
1.3.2.2. Liro	11
1.3.3. Rohholz-Identifizierung und -Verfolgung mittels Chips	11
1.3.4. Quellen für weitere Informationen	12
1.4. Eichfähigkeit	14
1.4.1. Eichvorschriften	14
1.4.2. Anforderungen an automatisierte Rohholzvermessung	14
1.4.3. Kontakte für weitere Informationen	15
1.5. Erschütterungsmessungen	16
1.5.1. Maximalwerte der gemessenen Beschleunigungen	16
1.5.2. Analyse auftretender Schwingungen	17
1.5.3. Schlussfolgerungen	19
1.6. Organisatorische Rahmenbedingungen	20
2. DENKBARE MESSPRINZIPIEN	21
2.1. Vorüberlegungen	21
2.2. Zusatzideen	22
2.3. Nicht berührungslose Messverfahren	23
2.3.1. Bestehendes Messrad optimieren	23
2.3.2. Maßband-Prinzip	23
2.4. Nutzung von Markierungen in konstanten Intervallen	25
2.4.1. Δt -konstant aufbringen - Δx messen	25
2.4.1.1. Idee	25
2.4.1.2. Bewertung	25
2.4.2. Δx -konstant aufbringen	25
2.4.2.1. Triggerung der Applikation durch die Detektion	25
2.4.2.2. Verwendung eines Rollstempels	26
2.4.3. Anwendung in optischen Systemen	27
2.4.3.1. Prinzip	27
2.4.3.2. Beurteilung	27
2.4.4. Anwendung in thermooptischen Systemen	28
2.4.4.1. Aufbringung thermischer Marken	28
2.4.4.2. Detektion thermischer Marken	30
2.4.4.3. Versuche am Institut für angewandte Physik	32
2.4.4.4. Zusammenfassende Beurteilung	33
2.4.4.5. Weitere Informationsquellen	34

2.5.	Optische Messverfahren am Harvesterkopf	35
2.5.1.	Vorüberlegungen für optische Verfahren	35
2.5.2.	Optisches Korrelationsverfahren	36
2.5.2.1.	Systembeschreibung	36
2.5.2.2.	Praktische Versuche	37
2.5.2.3.	Ausblick	39
2.5.2.4.	Genauigkeitsanalyse für optische korrelative Geschwindigkeitsmessung	40
2.5.2.5.	Überlegungen zur Garantierbarkeit des optimalen inter-frame-Versatzes	42
2.5.2.6.	Zusammenfassende Beurteilung	43
2.5.3.	Microsoft - optical mouse	43
2.5.3.1.	Systembeschreibung	43
2.5.3.2.	Versuche	44
2.5.3.3.	Beurteilung	44
2.5.4.	Pattern-matching	44
2.5.4.1.	Idee	44
2.5.4.2.	Versuche – Expertenmeinung	45
2.5.4.3.	Beurteilung	46
2.5.4.4.	Kontakte und Informationsquellen	47
2.5.5.	MPEG	47
2.5.5.1.	Prinzip	47
2.5.5.2.	Expertenmeinung	48
2.5.5.3.	Beurteilung	48
2.5.5.4.	Kontakte und Informationsquellen	49
2.5.6.	Direkte Musterauswertung	50
2.5.7.	Hilfestellungen für optische Systeme	50
2.6.	Optische Verfahren aus Distanz – Photogrammetrie	52
2.6.1.	Begriff und Grundidee	52
2.6.2.	Ideen und Varianten	52
2.6.2.1.	Grundsätzliche Bedingungen	52
2.6.2.2.	Laserprojektion längs der Baumachse	53
2.6.2.3.	Variante des gesamten Konzepts	54
2.6.3.	Expertenmeinung	55
2.6.4.	Versuche zur Photogrammetrie	55
2.6.5.	Genauigkeitsanalyse für photogrammetrische Messverfahren	57
2.6.6.	Zusammenfassende Beurteilung	58
2.6.7.	Kontakte und Informationsquellen	59
2.7.	Lasergestützte Messverfahren	60
2.7.1.	Laser-Geschwindigkeitsmessung	60
2.7.1.1.	Messprinzip	60
2.7.1.2.	Fa. Polytec GmbH	61
2.7.1.3.	Fa. TSI GmbH	62
2.7.1.4.	Beurteilung:	62
2.7.2.	Laser-Distanzmessung	63
2.7.2.1.	Laser-Distanzmessung zu Reflektor	63
2.7.2.2.	Laser-Distanzmessung zum Baumende	63
2.7.2.3.	Genauigkeitsanalyse für Distanzmessung zum Baumende	63
2.7.2.4.	Kommerziell erhältliche Systeme	65
2.7.2.5.	Versuche	66
2.7.2.6.	Zusammenfassende Beurteilung	68
2.7.2.7.	Kontakt	69
2.8.	Mikrowellenbasierte Messverfahren	70
2.8.1.	Theorie zum Doppler-Effekt und dessen Messung	70
2.8.1.1.	Grundlagen und Vorüberlegungen	70
2.8.1.2.	FFT Analyse	71
2.8.1.3.	Wavelets – Wavelet Transformation	73
2.8.1.4.	Wavelets – Toolsets für LabVIEW™ und MATLAB®	78
2.8.1.5.	JTFA – Joint Time-Frequency Analysis in LabVIEW™	80
2.8.1.6.	Modellbasierte Ansätze zur JTFA	85

2.8.1.7.	Auto Power Spektrum und Autokorrelation	86
2.8.2.	Mikrowellen-Doppler-Radar	87
2.8.2.1.	Geometrische Situation	87
2.8.2.2.	Verwendete Komponenten	87
2.8.2.3.	Erste Messungen und FFT-Auswertungen	88
2.8.2.4.	JTFA-Auswertungen	90
2.8.2.5.	Weitere Ideen zur Auswertung des Radar-Signals	96
2.8.2.6.	Genauigkeitsanalyse für Mikrowellen-Dopplerradar	97
2.8.2.7.	Kommerziell erhältliche Sensoren	100
2.8.2.8.	Beurteilung	101
2.8.2.9.	Kontakte, Informationsquellen	101
2.8.3.	Mikrowellen-Distanzradar	103
2.9.	Ultraschallbasierte Messverfahren	104
2.9.1.	Ultraschall-Doppler	104
2.9.1.1.	Expertenmeinung	104
2.9.1.2.	Versuch	105
2.9.1.3.	Beurteilung	107
2.9.1.4.	Kommerziell erhältliche Systeme	108
2.9.2.	Ultraschall - Sagnac-Effekt	108
2.9.3.	Ultraschall-Distanzmessung	108
2.9.4.	Materiewellen im Baum	109
2.9.5.	Weiterführende Literatur	109
2.10.	Verwendung von ID-Tags	110
2.10.1.	Vorüberlegungen	110
2.10.2.	Expertenmeinung	110
2.10.3.	Kommerziell erhältliche System	112
2.10.4.	Beurteilung	112
2.10.5.	Kontakte und Informationsquellen	112
2.11.	Peilsender-Prinzip	114
2.11.1.	Pulsfolgen-Sender	114
2.11.1.1.	Distanzmessung	114
2.11.1.2.	Geschwindigkeitsmessung	114
2.11.2.	Dopplersignal-Sender	115
2.11.3.	Zusammenfassende Beurteilung	115
2.12.	Weitere Lösungsansätze	116
2.12.1.	Kernspintomographie	116
2.12.1.1.	Das Prinzip der Kernspintomographie	116
2.12.1.2.	Die grundsätzliche Anwendbarkeit der Kernspintomographie	116
2.12.1.3.	Ausschlussgründe gegen die Kernspintomographie	117
2.12.2.	Röntgenaufnahmen	117
2.12.3.	Integrating Accelerometer	118
2.12.3.1.	Das grundsätzliche System	118
2.12.3.2.	Die Probleme bei der praktischen Anwendung	118
2.12.3.3.	Kommerziell erhältliche Systeme	118
2.12.4.	Eindimensionale optische Erfassung der Baumachse	118
2.12.5.	Elektrotechnik	119
2.12.6.	Elektrostatik	119
2.12.7.	Elektrodynamik	119
2.12.8.	Induktion	119
2.12.9.	Kalorimetrie	119

3.	BEWERTUNG, LÖSUNGS AUSWAHL UND AUSBLICK	120
3.1.	Bewertungsmethode	120
3.2.	Bewertete Lösungsansätze	123
3.3.	Bewertungsraster	124
3.4.	Lösungsauswahl – Empfehlung	129
3.5.	Ausblick	130
3.5.1.	Kontaktadressen	130
4.	ANHANG	131
4.1.	Weiterführende Literatur und Kontaktadressen	131
4.2.	Bilder zur Photogrammetrie-Auswertung	133
4.3.	Internet – Suchergebnisse	134
4.3.1.	Stichwort „Infrarotkamera“	134
4.3.2.	Stichwort „Diodenlaser“	136
4.3.3.	Stichworte „computer vision speed measurement“	140
4.4.	Abbildungsverzeichnis	144
4.5.	Tabellenverzeichnis	145
4.6.	Literaturverzeichnis	146

1. Aufgabenstellung und Rahmenbedingungen

1.1. Aufgabenstellung

Ein Harvester ist eine motorfahrzeuggestützte Holzerntemaschine in Form eines Drehkrans mit einer Greiferzange (Harvesterkopf), in der ein Vorschubmechanismus für den Baumstamm (in Form von Stachelwalzen oder Stachelketten) und eine Kettensäge integriert sind. Ein Baum wird mit der Greiferzange erfasst, möglichst bodennah geschnitten und fallengelassen. Danach wird er durch den Harvesterkopf transportiert, wobei am Eingang des Kopfes montierte Sichelmesser die Äste abschneiden. Sobald die gewünschte (d.h. vom Sägewerk bestellte) Holzlänge erreicht ist wird der Vorschub gestoppt und das Holz abgeschnitten. Eine schematische Darstellung ist in Abbildung 1 zu sehen.

Ein Prozessor ist ein grundsätzlich ähnliches Gerät, jedoch nicht für die Arbeit direkt im Forst konzipiert, sondern zum Aufarbeiten manuell geschlägerten Holzes an der Forststraße.

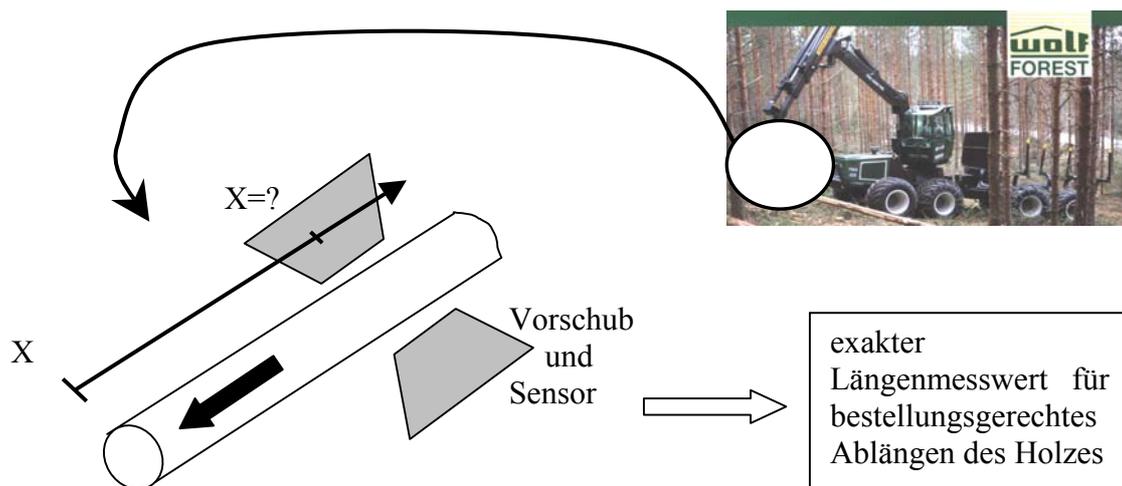


Abbildung 1: Skizze des Gesamtsystems Harvester mit Längenmessung

Für diese Messung des aktuellen Vorschubweges ist im Harvesterkopf ein Sensorsystem integriert. Derzeit wird die Baustammlänge durch ein mittels Federkraft gegen die Holzoberfläche gedrücktes Zahnrad gemessen, dessen Drehung mittels eines optischen Inkrementalgebers digital erfasst wird.

Dieses System hat jedoch Nachteile und Schwächen. Insbesondere sind hier die nicht gegebene Eichfähigkeit und die Fehleranfälligkeit bei schlechten Messbedingungen zu nennen. Vor allem kann das Messrad bei unebener Holzoberfläche zu springen beginnen, dadurch kurzzeitig abheben und frei laufen, es kann durch nasse Rinde verkleben und danach durchrutschen, es kann bei plötzlichem Stoppen des Vorschubs (z.B. durch Steckenbleiben an einem dicken Ast) noch kurz weiterdrehen. Weiters ist nicht zu vergessen, dass die Eindringtiefe des Zahnrades direkt in das Messergebnis eingeht, und diese von Baum zu Baum verschieden sein kann.

Aus diesen Gründen war es der Wunsch der Fa. Wolf Systembau, ein berührungsloses Messsystem zu entwickeln, das höhere Genauigkeitsanforderungen erfüllt, und womöglich die Kriterien für eine eichamtliche Genehmigung erfüllt.

Das dem Projekt zugrundeliegende Pflichtenheft ist in Kapitel 1.2 zu finden.

1.2. Pflichtenheft

PFLICHTENHEFT **LÄNGENMESSKOPF FÜR EINSATZ AM HARVESTER/PROZESSOR** erstellt am 13.3.2000 durch Ing. Walter Hüttner und Dr. Christian Diskus

Gegenstand des Projekts:

Berührunglose Messung der Länge des Baumstammes am Harvester/Prozessor

optional: Eichfähigkeit, Messung des Durchmessers des Baumstammes

Kenndaten:

Messbereich:	1 m – 12 m (80 – 90 % im Bereich 4 – 6 m)
Genauigkeit:	± 2,5 cm mit möglichst hoher Zuverlässigkeit
Vorschubgeschwindigkeit:	maximal 5 m/s, vorwärts / rückwärts
Verdrehung:	maximal 3 °/m, 90 ° auf Gesamtlänge
Oberfläche:	entasteter Baumstamm, Schnee, Eis, Schmutz, Rinde, entrindeter Stamm, rissige Borke (max. 2 cm tiefe Risse), variabler Feuchtigkeitsgehalt (nass bis trocken)
Messabstand:	ca. 20 cm ± 5 cm (Eindruck der Zähne der Transportwalze / Transportkette, Astbeulen, Krümmung des Stammes)
Messfleck:	maximal ca. 15 cm x 20 cm
Temperatur:	– 25°C bis + 60°C
Umweltbedingungen:	starke Erschütterungen, Verharzung, Feuchtigkeit, Schmutz
Schutzklasse:	IP65 (staubdicht, dicht gegen Strahlwasser)
Schnittstelle:	kompatibel zu bestehenden Drehgebern
Energieversorgung:	24 V _{DC} Bordnetz, Hydraulik
Serviceintervall für eventuelle Reinigung des Sensors:	maximal 3mal täglich
Einbau:	wenn möglich ohne konstruktive Änderungen am Harvester bzw. Prozessor, vorzugsweise jedoch zwischen Messer und Förderkette

Durchführung des Projekts:

Einjahresprojekt im Rahmen des LCM (Linz Center of Competence in Mechatronics)

1.3. Diskussion der Anforderungen aus praktischer Sicht

Im Verlauf der Arbeit an diesem Projekt ergab sich der Kontakt zum KWF in Deutschland, dem Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik. Ansprechpartner dort ist Herr Bernhard Hauck, der sich mit mobilen Vermessungssystemen auf Kranvollerntern befasst. Dadurch hat er gute Kontakte zu Firmen und einen Überblick über die Markt- und Forschungssituation vor allem im Raum Deutschland aber auch bei skandinavischen Partnern.

In einem Telefonat mit ihm [25] war es möglich einige andere, zum Teil der konkreten Zielsetzung des vorliegenden Projekts entgegengerichtete Ansichten und Meinungen zu hören, und interessante Details über bereits durchgeführte Projekte anderer Unternehmen zu erfahren.

Im Folgenden eine knappe Zusammenfassung der Aussagen des Gesprächs:

1.3.1. Prinzipielle Kriterien und Gesichtspunkte zu Vermessungssystemen am Harvester

Es gibt drei primäre Kriterien für Vermessungssysteme:

- die Messgenauigkeit
- die Eichbarkeit
- die Kosten

1.3.1.1. Zur Messgenauigkeit

Bei den Längenmesssystemen ist die Genauigkeit eigentlich kein Problem.

Ein messradbasiertes System mit einem aggressiv genug verzahnten Messrad liefert Messwerte die genau genug sind. Es muss nicht kalibriert werden, und es ist konkurrenzlos günstig!

In allen Systemen, die vom KWF nachgemessen wurden, wurde die geforderte Genauigkeit von 1% eingehalten und ein maximaler Messfehler von 4 cm nicht überschritten. Auch eine Sägewerkseingangsvermessung muss keine genaueren Spezifikationen erfüllen, obwohl eine stationäre Anlage sicher höhere Genauigkeiten liefern kann als eine mobile.

Auf diese 1% Messfehler bezogen ist auch die in [4] zitierte Aussage der schwedischen Firma SkogForsk – „Laut früheren Berechnungen wird der Erlös mit einem besseren Längenmessgerät um rund 1% des Holzwertes erhöht.“ – zu verstehen.

Genauere Messungen sind aus verschiedenen Gründen gar nicht nötig. Es bleiben z.B. immer manche Bäume im Wald liegen, da für einige wenige Restbäume die Frächter keinen LKW mehr hinschicken. Volumsfehler von 4 % sind tolerierbar. In Übereinstimmung mit den in der Holzwirtschaft üblichen Normen wird immer nach unten abgerundet und zwar bei jedem Zwischenergebnis einzeln: sowohl bei Länge, bei Durchmesser als auch dann noch einmal beim Volumen. Somit akkumulieren sich Fehler von bis zu – 15 %.

So gesehen wären Messfehler beim Harvestermaß (im Volumen) von $\pm 5\%$ fast egal.

Trotzdem: vor allem im Bereich der Durchmesserermittlung ist eine Steigerung der Messgenauigkeit wünschenswert. Vor allem scheint diese durch berührungsfreie Systeme erreichbar, da bei anderen teils über - teils unter der Rinde gemessen wird. (Derzeit werden normalerweise Winkelsensoren an den Entastungsmessern oder an den Vorschubmotoren verwendet). Ein berührungsfreies System kann vor der Entrindung installiert werden, und liefert dadurch immer ein Maß mit Rinde.

Zur Kalibrierung existierender Systeme werden etwa 10 bis 20 Durchmessermessungen verteilt über die gesamte Baumlänge eingesetzt. Das Messraster eines neuen Systems müsste also keine feinere Ortsauflösung als etwa 2 Messung pro Meter bieten.

1.3.1.2. Zur Eichbarkeit

Grundsätzlich sind in Deutschland derzeit etwa 1000 Harvester im Einsatz. Die Betreiber wollen grundsätzlich gerne Holz nach Harvestermaß verkaufen, durchaus auch aus Skepsis gegenüber der Exaktheit der Werkseingangsvermessungen. Ohne eichamtliche Anerkennung ist dies jedoch nicht möglich. Daraus ergibt sich ein klarer und großer Wettbewerbsvorteil für die erste Firma, die mit einem eichfähigen System auf den Markt kommt.

Gegenströmungen gibt es von Sägern, die vor kurzem Ihre Eingangsvermessungen zu eichfähigen Systemen aufgerüstet haben, und nun nicht die Vermessung für die Verrechnung wieder zu den Harvesterbetreibern ausgelagert sehen möchten.

Nähere Informationen zu den Anforderungen für die Eichfähigkeit eines Systems finden sich in Kapitel 1.4.

Prinzipiell ist für die Eichbarkeit im Normalfall ein berührungsloses System von Vorteil, wobei keine manuellen Eingriffe nötig sein sollen beziehungsweise keine Manipulation des Ergebnisses möglich sein darf.

Bei den gängigen Systemen (vor allem bei der Durchmesserermittlung) sind von Zeit zu Zeit händische Kalibrierungen notwendig. Um auch bei einem zu kalibrierenden System unerlaubte Manipulationen zu verhindern wäre die Integration einer vollautomatischen Kalibrierung (z.B. mit automatischer elektronischer Kluppe) denkbar. An solchen Erweiterungen wird derzeit gearbeitet.

Auf alle Fälle ist jedoch bei der derzeitigen Preisentwicklung ein Zwang zur Rationalisierung absehbar!

1.3.2. Projekte zur Rohholzvermessung

1.3.2.1. SkogForsk

Ursprünglich gab es eine Zusammenarbeit KWF – SkogForsk.

Dabei wurde ein System bis zum Prototyp entwickelt. Anfangs wurde zur Längenmessung mit Radar gearbeitet, bald jedoch wurde auf optische Verfahren umgestellt, wobei ein optisches Korrelationsverfahren eingesetzt wurde (vergleiche Kapitel 2.5.2).

Der schwedischen SkogForsk war die Eichfähigkeit eigentlich relativ gleichgültig. Auch von der Längenmessung nahm man bald Abstand, da diese mit dem gängigen Messrad ausreichend genau und unschlagbar kostengünstig realisiert wird.

Die Bemühungen zielten daher von da an vor allem auf die exakte Durchmessererfassung und auf die Qualitätsklassifizierung hin. Zur Durchmessererfassung wurde mittels optisch erfasster Schattenprojektion von LED-Zeilen gearbeitet, zur Qualitätsklassifizierung bediente man sich ebenfalls der Bildverarbeitung um Äste zu zählen und grobe Verletzungen des Baumes automatisch zu erkennen.

Dieses zur Gänze optische System war mechanisch relativ problemlos. Die Schwierigkeiten lagen (damals) vor allem in einer schnellen Software zu vernünftigem Preis.

Der Prototyp lief 480 Betriebsstunden und dabei wurde kein vibrationsbedingter Ausfall registriert. Ein Problem war noch eher die Verschmutzung des Sensors: anfangs waren die Kameras im Sägekasten positioniert, und mussten täglich drei mal gereinigt werden. Sie

wurden dann in den Eingangsbereich des Harvesterkopfes verlegt, und dort reichte ein Abwischen alle drei Tage.

Der Prototyp wäre bei Kosten von etwa 25.000,- DM für den Sensor gelegen. Dafür sah SkogForsk keinen Markt. Unter anderem aus diesem Grund wurden die Entwicklungsarbeiten eingestellt.

Die Vermutung liegt jedoch nahe, dass im Hintergrund noch an der Software für ein verbessertes System inklusive leistungsfähiger Qualitätsklassifizierung gearbeitet wird, und SkogForsk in 1 bis 2 Jahren mit einem fertigen System auf den Markt kommen möchte.

Zu diesen Arbeiten existiert ein Forschungsbericht von SkogForsk: „Berührungsfreie Durchmesserermittlung“ („Arbetsrapport Nr. 365“, 1997, in Schwedisch) beziehungsweise dessen englische Kurzfassung [40].

1.3.2.2. Liro

Die neuseeländische Firma Liro Forest Solutions ist am KWF nur dem Namen nach bekannt. Wir kamen allerdings in Kontakt mit einem ehemaligen Mitarbeiter der Firma, Mr. Rien Visser [10].

Seinen Auskünften zufolge wurden bei Liro Versuche mit einem Doppler-Radar - System durchgeführt. Dabei sind bei geringen Vorschubgeschwindigkeiten auch „vernünftige“ Ergebnisse erzielt worden, die hoffen ließen, dass das System zu einem voll funktionsfähigen Prototypen ausgebaut werden könnte. Allerdings wurde ein solcher nie realisiert, da vorher die Finanzierung gestoppt wurde.

Das Grundprinzip der Dopplerradar-Geschwindigkeitsmessung ist grundsätzlich bekannt und häufig eingesetzt. Die Probleme beim Einsatz in der Rohholzvermessung liegen eher in den Bereichen der konkreten geometrischen Situation und der speziellen Implementierung.

Zur aktuellen technischen Situation stellt er fest, dass derzeit noch immer die meisten Systeme mit einem messradbasierten System arbeiten und häufig ein Kalibrierungsprogramm zur Anpassung an verschiedene Bedingungen bei verschiedenen Rinden mitgeliefert wird. Der Vorteil einer exakten (berührungsfreien) Messung wäre der mögliche Verzicht auf eine Kalibrierung.

Somit meint auch er, dass der Bedarf für eine Verbesserung in der Längenmessung bei den derzeit erhältlichen Harvesterköpfen gegeben ist.

1.3.3. Rohholz-Identifizierung und -Verfolgung mittels Chips

In der Holzwirtschaft gibt es die Idee jedes aufgearbeitete Stück Rohholz mittels eines Chips eindeutig zu kennzeichnen. Diese Kennzeichnung könnte womöglich sogar eine satelliten-gestützte Positionsbestimmung von Holzlagerplätzen im Wald ermöglichen. Die Verfolgung jedes einzelnen Stammes vom Wald bis zum Sägewerk wäre damit möglich, auch die Koordinierung zwischen Holzbesitzer/Harvesterbetreiber, Frächter und Sägewerk und die Abrechnung könnten unterstützt werden.

Interessant für vorliegendes Projekt können diese Denkansätze vor allem im Hinblick auf Ideen bezüglich des Einsatzes von aktiven Transponder-ICs oder SAW-Tags zur Längenmessung sein (vgl. dazu Kapitel 2.10).

Bereits vor etwa drei Jahren gab es dazu Versuche bei SkogForsk. Diese waren jedoch eher Grundlagenexperimente, um zu zeigen, was technisch möglich ist. An diesem Experimentalstadium wird sich sicher in den nächsten drei Jahren nichts ändern, da ein