



DynaWIS – Nachhaltigkeit und Wertentwicklung im Forst

Automatisierte Erfassung der Bestockung während der Holzernte

Friedbert Bombosch, Klaus Bobey, Dietmar Sohns, Stefan Friedel



Abb. 1: Sensorsystem am Ponsse Beaver montiert

Bei der Aufarbeitung mit modernen Harvestern können gegenwärtig die Holzdaten des ausscheidenden Bestandes elektronisch erfasst werden. Aus diesen Daten lassen sich die Brusthöhendurchmesser und das Holzvolumen errechnen. Diese Daten dienen vor allem der Ermittlung des Waldmaßes zur Abrechnung der Hiebsmaßnahme sowie der Optimierung der Holzaushaltung. Die beim Forschungsprojekt DynaWIS entwickelte Sensortechnik erkennt während der Holzernte zusätzlich den Bhd der Bäume des verbleibenden Bestandes sowie deren Anzahl und Position auf der Bezugsfläche. Durch die Kombination der Hiebsdaten des Harvesters und der messgenauen Bestockungsparameter des Sensorsystems bietet sich die Chance zu einer orts- und lagespezifischen Waldinventur und zu einer auf Basis von messgenauen Bestandesdaten abgesicherten Prognose der Wertentwicklung von Waldbeständen und Einzelbäumen.

Holzernte einsetzbar ist. Dieses Sensorsystem erfasst die Waldszene des verbleibenden Bestandes dynamisch in drei Dimensionen und bestimmt online den Bhd sowie die Position der stehenden Bäume zueinander.

Für den dynamischen Betrieb am bewegten Harvester ist ein optisches Sensorsystem entworfen und umgesetzt worden, das einen robusten 2D-Laserscanner mit geringer Winkelauflösung sowie eine robuste, hoch auflösende und schnelle Digitalkamera enthält.

Die Verarbeitung der Daten im ersten Schritt ist die Bildanalyse, die zu einem deutlich reduzierten Sensordatensatz führt, der nur noch Informationen zu den Bäumen einer Aufnahme (Baumposition gegenüber dem Harvester und Bhd) enthält (Tab. 1). Die entwickelten und angewandten Algorithmen der Bildanalyse verfolgen die Bäume, auch wenn sie zeitweise verdeckt sind, finden die Baumstammkanten, den Fußpunkt der Bäume und

Technik

Bei diesem Forschungsprojekt¹⁾ ist ein robustes optisches Sensorsystem entwickelt worden, das auf Harvestern während der

¹⁾ In „Forst und Technik“ Nr. 5/2008 ist unter dem Titel „Harvester als Mitarbeiter der Forsteinrichtung“ bereits von über die angestrebten Ziele eines optischen Sensorsystems zur dynamischen Waldinventur bei der Holzernte mit Harvestern berichtet worden. Das Projektergebnis ist zunächst mit der 6. Meilensteinsitzung am 10.8.2010 in Göttingen diskutiert und zum Jahresende 2010 abgeschlossen worden. Am 13.4.2011 soll in Hundsburg auf der Veranstaltung „Wege zum Markt“, die vom Fraunhoferinstitut für Fabrikbetrieb und -automatisierung organisiert wird, ein breiteres Publikum aus dem Privatwald auch zu dieser Thematik angesprochen werden.

Prof. Dr. F. Bombosch ist Dozent an der HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, Fakultät Ressourcenmanagement für Waldarbeit und betriebliches Management. Prof. Dr. K. Bobey ist Dozent ebenda, Fakultät Naturwissenschaften und Technik für Elektronik und Sensortechnik.

Forstamtsdezernent D. Sohns leitet den Holzverkauf für Großkunden des Forstamts Riefensbeek. FAR S. Friedel ist Bereichsleiter für Dienstleistung und Hoheit beim Forstamt Hofbieber.



Friedbert Bombosch
bombosch@hawk-hhg.de

Tab. 1: Beispiel für Bestandesrohdaten

Baum-Nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Position in X -Richtung	2,754	3,255	2,498	-2,509	-1,534	2,03	4,441	6,29	5,087
Position in Z-Richtung	3,675	7,015	9,488	7,861	3,797	1,318	5,372	8,142	9,58
Bhd	13,9	26,5	18,65	20,3	19,1	23,35	21,2	19,4	24,5

berechnen online die Sensordatensätze. Für die Echtzeit-Bildverarbeitung wurde das Embedded-System VisionBox mit zwei Prozessorkernen eingesetzt. Ein NIR-Flash sorgt für die Beleuchtung der Szene während der Bildaufnahme (Abb. 1).

Die als offline-Prozess nachgeschaltete Berechnung der Bestandesrohdaten identifiziert die Bäume, die Aufnahmen benachbarter Bestandausschnitte gemeinsam sind, um daraus eine Transformation zu bestimmen, mit der durch Translation und Rotation die einzelnen Ausschnitte zusammengefügt werden können. In einem weiteren Schritt findet die Clustering der gefundenen Bäume mithilfe der euklidischen Distanz statt, um mehrfach erkannte Bäume durch jeweils einen repräsentativen Baum zu ersetzen (Abb. 2). Ein Funktionsmuster des Sensorsystems ist bei Messeinsätzen am Ponsse-Harvester „Beaver“ in Kiefernreinbeständen bei Salzwedel erfolgreich erprobt worden.

Genauigkeit

Nachfolgend werden die bei einer Versuchsmessung erreichten Genauigkeiten des Sensorsystems im Vergleich zum Harvester und zu Referenzmessungen mit der Kluppe und Totalstation angegeben. In dem noch eingeschränkten Sensordatenmaterial aus den Kiefernbeständen bei Salzwedel ließen sich in Bezug auf eine Vollkluppe als Referenz Abweichungen beim Mittelwert des Bhd von 0,3 cm und bei der Standardabweichung von <1 cm feststellen.

Bei einer vorgelagerten Untersuchung auf einer Stichprobenfläche von 52 verbliebenen Bäumen ergaben sich gegenüber den Referenzmessungen mit der Totalstation Abstandsabweichungen der Bäume im Mittel von 17,1 cm, wobei 65 % der Abstandsabweichungen unter 20 cm

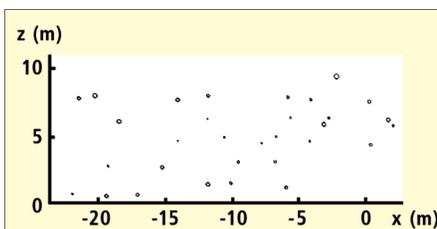


Abb. 2: Ausschnitt einer „Karte“, eine Seite entlang einer Rückegasse

lagen. Ein Bezug zu GPS-Daten wurde nicht hergestellt.

Die gewonnenen Sensordaten sind mit den Daten des Vermessungssystems des Harvesters kombiniert worden, um zu zeigen, welche Aussagen, Bewertungen und Schlüsse künftig möglich werden.

Nachhaltigkeitsmonitoring/ Vertrauensbildung

Mithilfe einer einfachen Überblendung der Bhd-Häufigkeitsverteilungen von ausscheidendem und verbleibendem Bestand lässt sich schon rein optisch ein Vertrauen zwischen Waldbesitz und z.B. forstlichem Lohnunternehmer herstellen. Die Verteilung in Abb. 3 zeigt deutlich eine wohl gewollte Niederdurchforstung in der Kiefer. Waldbauliche, nutzungstechnische, aber auch jagdliche Gründe können hierfür den Ausschlag gegeben haben. Diese Darstellung könnte neben der Holzliste ein weiterer Bestandteil der Auftragsdokumentation und somit Vertrauensbildung werden.

Wertet man die Harvesterdaten, den ASCII-Datensatz des Softwarepaketes OptiList der Firma Wahlers Forsttechnik, dahingehend aus, dass eine Efm o.R./Bhd-Beziehung vom ausscheidenden Bestand vorliegt, entstehen weitere interessante Möglichkeiten. Beispielgebend ist diese Regression bei einem Kiefernbestand mit

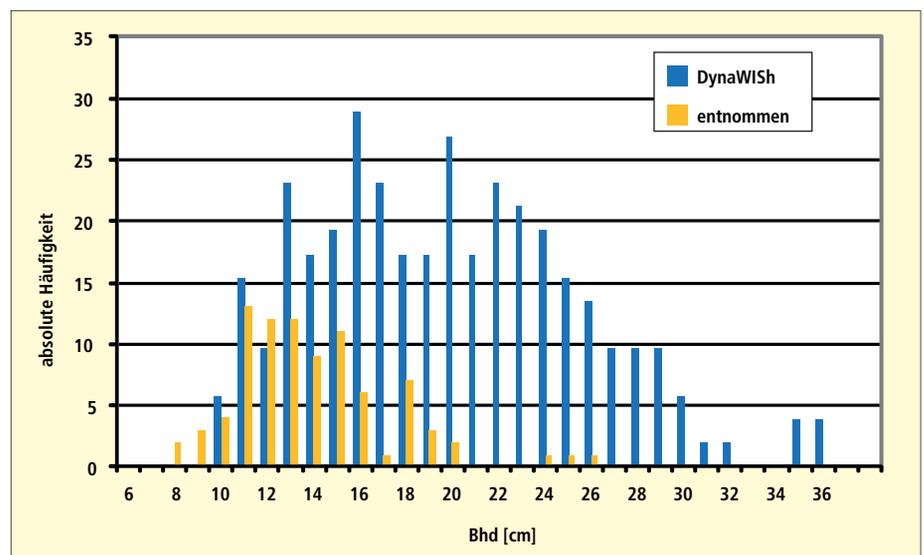


Abb. 3: Häufigkeitsverteilungen von ausscheidendem und verbleibendem Bestand, hier Niederdurchforstung, Salzwedel/Chüden

Aufgabenstellung DynaWIS

DynaWIS ist ein vom BMBF gefördertes Forschungsprojekt (FKZ 1705X07) der Fakultäten Naturwissenschaften und Technik (N) und Ressourcenmanagement (R) der Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst (HAWK) am Standort Göttingen. Mit der Entwicklung eines optischen Sensorsystems zur dynamischen Waldinventur bei der Holzernie mit Harvestern (Kranvollernter) ist das Projektziel mit dem Aufbau eines Prototypen erreicht worden. Kooperationspartner des Forschungsprojekts DynaWIS sind:

- Geschäftsführer JÜRGEN HAESE, Kappa optoelectronics GmbH, Gleichen;
- Geschäftsführer RALF DREEKE, Wahlers Forsttechnik GmbH, Uffenheim;
- Geschäftsführer MICHAEL FUNK, Stöhr und Pöttsch, Zellstoff Stendal Holz Arneburg;
- Betriebsleiter EBERHARD RECKLEBEN und MARTIN CAMEHL, Landesforstbetrieb Sachsen-Anhalt, Magdeburg
- Prof. Dr. ANDREAS BITTER, Fakultät Forst-, Hydro- und Geowissenschaften, Fachbereich Forstwissenschaft, TU Dresden;
- Prof. Dr. THOMAS LUHMANN, Geschäftsführender Direktor, Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG), Partner im Forschungsnetz „Bildgebenden Sensortechnik“, Fachhochschule Oldenburg;
- Dr. ANDREAS EBEL, Kompetenznetz für nachhaltige Holznutzung (NHN) Göttingen.

Kooperationsverträge wurden mit den ersten fünf Partner abgeschlossen. Die weiteren zwei Partnern repräsentieren Netzwerke, die das Projekt begleiteten.

Drei weitere wichtige Kooperationspartner ergänzen die Kompetenz dieses Kreises:

- DIETMAR SOHNS, Forstamtsdezernent, Niedersächsisches Forstamt Riefensbeek;
- STEFAN FRIEDEL, Forstwert UG, Wartenberg (Hessen);
- Dr. DIRK DREWES, Universität Göttingen, Fakultät für Forstwissenschaft und Waldökologie.

Die insgesamt von den Kooperationspartnern eingeworbenen Drittmittel erreichen ca. 50 % der geplanten Fördermittel des Projekts im Umfang von 248 336 €.

Dokumentation des Projektes siehe unter www.DynaWIS.de

Tab. 2: Beispiel eines numerischen Einblicks in das Waldlager (Riebau), Konjunkturabhängige Schwankungen der Holzpreise sind zu beachten

Bhd-Bereich	mittlerer Bhd	Efm o.R.		Nutzungswert bei kompletter Entnahme		Bestockungswert bei regulärer Bewirtschaftung
< 12 cm	10 cm	5,2 m³	2 %			150 €
13 - 17 cm	15 cm	26,3 m³	9 %			919 €
18 - 22 cm	20 cm	78,4 m³	25 %	700 €	8,9 €/Fm	3 234 €
23 - 27 cm	25 cm	96,9 m³	31 %	1 985 €	20,5 €/Fm	4.855 €
28 - 32 cm	30 cm	70,9 m³	23 %	2 250 €	31,7 €/Fm	4 228 €
> 33 cm	35 cm	29,7 m³	10 %	1 192 €	40,1 €/Fm	2 111 €
Summe		307,4 m³		6 127 €		15 497 €

Auslesedurchforstung in Salzwedel/Riebau berechnet worden (Abb. 4 und 5).

Anwendungsmöglichkeiten

An den Abschluss des Forschungsprojektes DynaWIS knüpfen sich unmittelbare grundlegende Anwendungsmöglichkeiten an:

➤ **Hiebsplanung**

Die Vermessungsdaten der Harvester werden meist nur zur Ermittlung der Erntemassen herangezogen und nicht ertragskundlich verwertet. In Kombination mit den sensorisch erfassten Daten erschlie-

ben sich für die Forsteinrichtung neue Wege. Ein permanenter Abgleich dieser Daten mit den Daten der Forsteinrichtung bedeutet die Heranziehung messgenauer Bestandesparameter als Basis für die Hiebssatz-Kalkulation.

Dass die herkömmlichen Ertragstafeln durch Stickstoffeinträge und ggf. erhöhte CO₂-Werte ins Straucheln geraten sind, zeigt auch der Versuchsbestand in Riebau. Für den Kiefernbestand in Riebau weist das Betriebswerk der Forsteinrichtung eine 1,5er-Bonität bei einem Bestockungsgrad (B°) von 1,1 und einem Vorrat von

178 Efm/ha mit einem mittleren Bhd von 14 cm auf. Dem stehen tatsächlich auf der Basis der messgenauen Harvester- und Sensordaten 256 Efm/ha bei einem Bhd von 20 cm gegenüber. Das würde einen B° von 1,58 nach der entsprechenden Ertragstafel bedeuten und ist ein Indiz dafür, dass der Bestockungsparameter B° für betriebswirtschaftliche Kalkulationen sehr unsicher geworden ist.

In dem Kontext messgenauer Stärke- und Masseninformationen als Grunddaten für ein modernes Waldlagermanagement, das nahezu online mit einem Eingriff die Waldinventur erledigt, stellt sich in der Konsequenz auch die Frage nach dem Sinn von festen Umtriebszeiten. Die Hiebsreife bzw. das Produktionsziel sind erreicht, wenn die Bäume in Stärke und Volumen den Zielanforderungen entsprechen. Dieses Zielstadium sollte im Hinblick einer optimierten Forstproduktion in möglichst wenigen Jahren erreichbar sein.

Vorerst wird man sich bei diesen Überlegungen auf die Kiefernreinbestände sowie die Laubholzreinbestände beschränken, bis die Technik weitere Felder mithilfe der Sensorik erschließen kann.

➤ **Betriebsmanagement**

Die Auswertungen (Abb. 3 und 5) lassen sich im Hinblick auf das Nachhaltigkeitsmonitoring und die forstbetriebliche Steuerung weiter verfeinern (Tab. 2). Ein ebenfalls wichtiger Aspekt für den Waldbesitzer ist die Information über die mögliche Erntemasse und deren jeweiliger Wert auf der Basis aktueller Kosten- und Erlösvorstellungen. Tab. 2 macht anhand der Bhd-Verteilung und deren Massenbelegung deutlich, dass sich unterschiedliche „Ausbeuten“ ergeben. Diese signifikante Information ist nicht nur für den Waldbesitzer, sondern auch für den Holzkäufer von Interesse, um ganz spezifisch nach Erntebeständen bzw. Erntebäumen zu suchen, vergleichbar mit einem Griff in das Regal im Lager. Da jeweils die Bhd-Umgebung mit ihren Massen sichtbar ist, könnte ein solch beschriebener Griff ins Lager unmittelbar mit den Kriterien der Nachhaltigkeit geprüft, freigegeben, eingeschränkt oder verweigert werden. Eine Herausforderung für die Technik wäre dann aufgrund der lagemäßigen Erfassung der Bäume auch deren Auffinden durch den Harvester. Derzeit wäre eine Darstellung auf einer „Karte“ möglich, um die Verteilung zunächst rein okular festzustellen (Abb. 2).

➤ **Daten für Sustainability Balanced Scorecard**

Für jeden Eingriff durch den Harvester könnte anhand einer einfachen Doku-

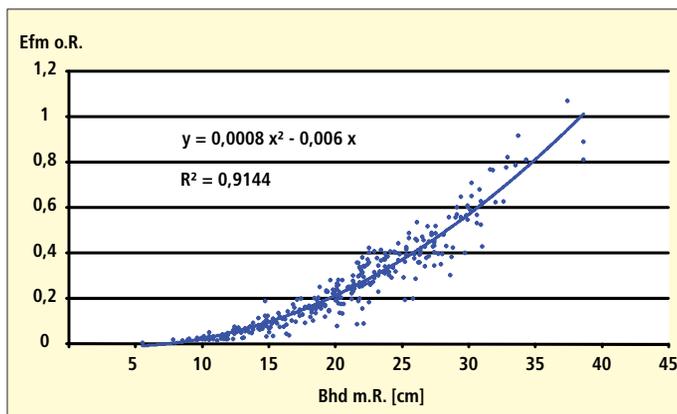


Abb. 4: Erntefestmeter o.R./Bhd-Beziehung vom ausscheidenden Bestand in Riebau

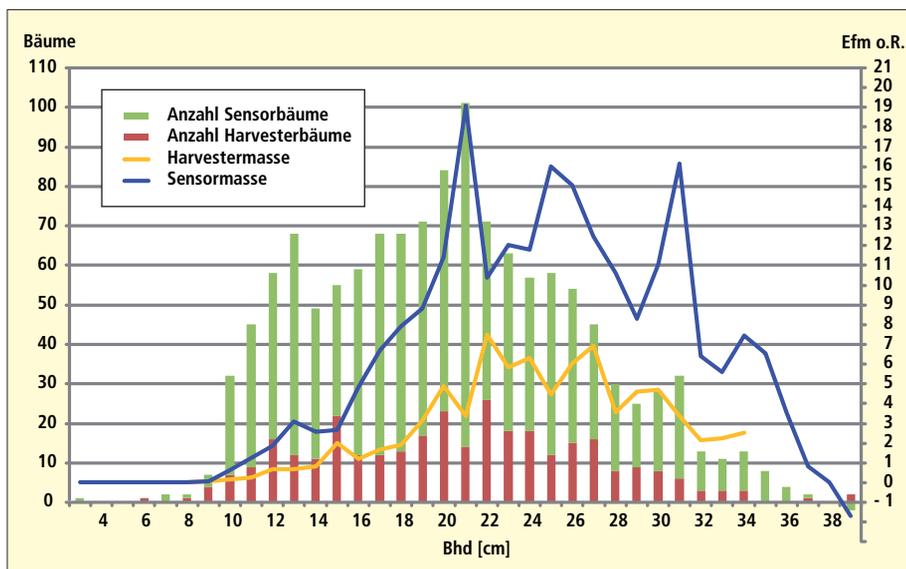


Abb. 5: Bhd-Histogramm und Massen (Efm o.R.) der sensorisch und mittels Harvester erfassten Bäume in Riebau

mentation der Nachweis über nachhaltiges Wirtschaften erbracht werden. Es bietet sich an, die entnommenen Holzmassen und Baumzahlen in Summe und je ha zusammen mit den Daten des verbleibenden Bestandes aufzulisten. Auf Basis eines solchen SBSC-Zertifikats lässt sich auch der Zuwachs bis zum nächsten Eingriff prognostizieren und dessen Eingriffsstärke vorab kalkulieren. Durch Offenlegung messgenauer Bestockungsparameter mit freiem Einblick in das Waldlager würde insbesondere beim Privatwald das Vertrauen zwischen Waldbesitzer, Dienstleister (Harvesterunternehmer) und Holzkäufer gestärkt.

➤ Logistik

Eine Optimierung zukünftiger logistischer Prozesse ist nur möglich, wenn das Waldlager mit allen Daten, insbesondere Bhd, Aufarbeitungslänge und prognostizierter Wertentwicklung erfasst ist. Es ist deshalb folgerichtig, dies bei den vorhandenen Waldbeständen mit einem möglichst hohen Anspruch an Genauigkeit z.B. mit DynaWIS zu tun. Die Kenntnis der Daten aus dem ersten Eingriff mit DynaWIS könnten beim nächsten Eingriff in den Bestand eine weitgehend genaue Prognose für die Sortiments- und Durchmesserverteilung anbieten. Eine Datenbank könnte auch für Lieferplanungen Bestände mit ähnlichen Dimensions- und Wertentwicklungen zusammenfassen und so bei der betrieblichen Planung wertvolle Hilfe bieten. Für alle weiteren denkbaren logistischen Planungen ist eine präzise Kenntnis der Daten des Waldlagers eine wichtige Basis. Die Logistikkette beginnt am stehenden Baum und endet beim Kunden.

➤ Softwarelösungen

Die mittels Harvester- und Sensortechnik produzierten Datensätze lassen weitreichende Anschlussmöglichkeiten zu, die den Waldbesitzer in seinen Entscheidungsprozessen vielfältig unterstützen. Über die Kluppliste/Bhd-Verteilung des verbleibenden Bestandes kann das Kalkulationsprogramm HOLZERNT 7.1 der Forstlichen Versuchsanstalt in Freiburg, aber auch der Waldwachstumssimulator BWINPro der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt in Göttingen mit seinen komplexen Möglichkeiten bedient werden. Für den Waldbesitzer wie auch den Betreuungsförster kann das Waldbewertungsprogramm FORSTWERT der Forstwert UG in Wartenberg (Hessen) neben dem Nutzungswert und dem Bestockungswert (Tab. 2) auch messgenaue Informationen zum aktuellen Waldimmobilienwert geben. Derart objektspezifische Wertinfor-

mationen lassen sich pauschalen Sorten- und Werttafeln und leicht zitierten, sog. „üblichen“ Waldpreisen gegenüberstellen und schützen dadurch das Waldkapital vor einer Unterbewertung. Darüber hinaus besteht im Kalamitätsfall wie auch für die reguläre Baumartenwahl nach einer Endnutzung die Möglichkeit, Entscheidungshilfen zum Folgebestand zu kalkulieren, die sowohl bei einem klassischen Forstbetrieb als auch beim aussetzenden Betrieb (Kleinprivatwald mit Sparkassenfunktion) entscheidenden Einfluss auf die Rendite haben können.

Folgerungen

Als maßgebliche Ergebnisse und zukünftige Ansätze lassen sich mit Abschluss des Forschungsprojektes DynaWIS an dieser Stelle folgende Aspekte zusammenfassen:

- Die Aussagen über die Bhd-Verteilungen bei Eingriff und verbleibendem Bestand gemäß Abb. 3 reichen für die Bildung eines Vertrauensverhältnisses bei Selbstwerbung/Stockverkauf.
- Das Eingriffsmonitoring dient der Nachhaltigkeitssicherung.
- Die Einblicke in das „Warenlager Wald“ können durchmesser- und massengenau sowie sortimentspezifisch aufbereitet werden. Somit ergibt sich ein wichtiger Baustein am Beginn der Logistikkette.
- Ein mögliches Einspielen dieser Daten in das digitale Kartenwerk der Landesforsten ermöglicht der Betriebsleitung eine ökonomisch wie logistisch präzise Planung und Steuerung der Betriebsabläufe.
- Die Übertragung der Bewertung des Eingriffs auf den verbleibenden Bestand ermöglicht über eine objektspezifische Bewertung der Bestockung die anschließende Ermittlung eines marktgerechten Waldimmobilienwerts.
- Als Entscheidungshilfe zur Baumartenwahl können auch baumartenspezifische Wertrechnungen beitragen, sofern der Standort und Klimadaten mit einbezogen werden.
- Anhand einer ggf. künftig ausgedehnten Verbreitung der Harvester mit Sensoreinheit lassen sich auch großräumige Inventuren in einer erheblich höheren Aussagekraft kontinuierlich aufnehmen.

Die Fortführung dieses Projektes hin zur Marktreife hängt maßgeblich am Interesse der Nutzer und Anwender. Die sich durch das Forschungsprojekt DynaWIS ergebenden Möglichkeiten und Potenziale liegen schwerpunktmäßig auf dem betriebswirtschaftlichen und kaufmännischen Dienstleistungssektor unter Einbeziehung der Nachhaltigkeit. ◀

Wissen schafft
Sicherheit!

NEU!

Schulungsunterlagen Sicheres Bedienen von fahrbaren Hubarbeitsbühnen



Fachwissen für Unternehmer, Vermieter, Betreiber und Bediener

Weitere ausführliche Informationen
zu unseren Schulungsunterlagen
inkl. Downloadmöglichkeiten:

www.resch-verlag.com

– Partner für qualifizierte Ausbilder –

Verlag Dr. Ingo Resch GmbH
Maria-Eich-Str. 77 · D-82166 Gräfelfing
Telefon 0 89 / 8 54 65-0
Fax 0 89 / 8 54 65-11
E-Mail: info@resch-verlag.com