SCHLUSSBERICHT

VERBUNDVORHABEN HOBEOPT

Thema: Optimierung der Wald- Werk- Holzbereitstellungskette durch Analyse, Bewertung und Weiterentwicklung von Rundholzmessverfahren und Logistikprozessen im Rohholzhandel

Projektkoordination: Arbeitsgemeinschaft Rohholz e.V. (AGR)
Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V. (KWF)

Projektpartner: Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE)
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und –automatisierung (IFF)
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden- Württemberg (FVA)

Zuwendungsempfänger:

Teilvorhaben 1: Arbeitsgemeinschaft Rohholz e.V.
Volumen- und qualitätsbeeinflussende Faktoren der Holzpoltervermessung

Teilvorhaben 2: Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V.
Meta-Datenanalyse und Bewertung von Rundholzmessverfahren

Teilvorhaben 3: Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde
Modellierung und Analyse der Eigenschaften von Holzpoltern

Teilvorhaben 4: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg
Bewertung und Weiterentwicklung von Rundholzmessverfahren

Teilvorhaben 5: Fraunhofer IFF
Analyse der Forst-Holz-Logistikkette

Förderkennzeichen:

Teilvorhaben 1:	22017916
Teilvorhaben 2:	22007918
Teilvorhaben 3:	22008518
Teilvorhaben 4:	22009318
Teilvorhaben 5:	22007718

Laufzeit: 01.06.2019 – 31.05.2022

Monat der Erstellung: 08/2022

Datum der Veröffentlichung: 28.06.2023

Ersteller: Alexander Kaulen (KWF), Lukas Freise (AGR)

Autoren: Ferréol Berendt,
Prof. Dr. Tobias Cremer,
Felipe de Miguel Díez
Dr. Jörg Staudenmaier
Dr. Ina Ehrhardt,
Jonas Gorges,
Lisa Jensen,
Dr. Tim Pettenkofer,
Dr. Udo-Hans Sauter,
Denny Schmelz.

Gefördert durch:

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorenschaft.

Inhaltsverzeichnis

I. Kurzbericht ... 7

1. Aufgabenstellung ... 7

2. Planung und Ablauf des Vorhabens ... 8

3. Resümee der wesentlichen Ergebnisse ... 10

II. Ausführliche Darstellung der Ergebnisse ... 19

Arbeitspaket 1: Projektmanagement ... 19

Arbeitspaket 2: Meta-Datenanalyse ... 20

TAP 2.1: Datenbank und Metadatenanalyse ... 20

TAP 2.2: Qualitätsanforderungen für Datensätze ... 22

TAP 2.3: Identifizierung und Schließung von Datenlücken ... 23

Arbeitspaket 3: Analyse und Bewertung von Rundholzmessverfahren ... 24

TAP 3.1: Akzeptanzanalyse zu Rundholzmessverfahren (statt TAP 5.3) ... 24

TAP 3.2: Bewertung von Maßermittlungsverfahren ... 28

TAP 3.3: Lastenheft fotooptische Messverfahren ... 29

TAP 3.4: Prüfung und Weiterentwicklung der Algorithmen zur Krümmungsermittlung bei der Werkseingangsvermessung von Stammholz ... 32

TAP 3.5: Entwicklung eines optischen Messverfahrens zur Ermittlung des Gebindevolumens auf Verkehrsträgern von Bahn und LKW ... 42

Arbeitspaket 4: Modellierung und Analyse der Eigenschaften von Holzpoltern ... 43

TAP 4.1: Entwicklung eines Modells zur Simulation von Holzpoltern (HoPoSim) ... 43

TAP 4.2: Analyse und Bewertung der Einflussfaktoren auf die Umrechnungsfaktoren ... 47

TAP 4.3: Ableitung von Rindenfaktoren ... 55

TAP 4.4: Entwicklung eines Leitfadens zur Berücksichtigung volumen- und qualitätsbeeinflussender Faktoren bei der Holzpoltervermessung ... 64

Arbeitspaket 5: Forst-Holz-Logistikkette ... 66

TAP 5.1: Beschreibung und Analyse der Holzver- und Holzeinkaufsprozesse ... 67

TAP 5.2 Effekte und Wirkungen veränderter Holzver- und Holzeinkaufsprozesse ... 73

TAP 5.3 Akzeptanzanalyse zu Rundholzmessverfahren ... 90

TAP 5.4 Forst-Holz-Logistikketten in Modellregionen ... 90

Arbeitspaket 6: Öffentlichkeitsarbeit ... 104

6.1. Verwertung ... 107

6.2. Erkenntnisse von Dritten ... 109

6.3. Veröffentlichungen ... 109

Literaturverzeichnis ... 107

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung zeitliche Abfolge....9
Abbildung 2 Darstellung der Datenbankstruktur SQLite....21
Abbildung 3 Abweichungen aller Maßermittlungsverfahren in [%]....22
Abbildung 3 Übersicht der eingepflegten Poltermessdaten in SQLIte....24
Abbildung 4 Ergebnis der Frage, wie viel Rohholz in dem Unternehmen, in dem die Teilnehmenden tätig sind, eingekauft wird, differenziert von der Holz- und Forstwirtschaft, Anzahl in [%]....25
Abbildung 5 Ergebnis der Frage, wie viel Rohholz in dem Unternehmen, in dem die Teilnehmenden tätig sind, verkauft wird, differenziert von der Holz- und Forstwirtschaft, Anzahl in [%]....26
Abbildung 6 Ergebnis der Frage, welche Messverfahren in den jeweiligen Betrieben der Teilnehmenden eingesetzt werden. Die Ergebnisse wurden zwischen Forst- und Holzseite differenziert dargestellt. 27
Abbildung 7 Inhaltsverzeichnis des Lastenheftes „Fotooptische Poltervermessung“ 30
Abbildung 8: Reduktion der Krümmungstypen nach Gjerdrum et al. (2001) von sechs auf vier. Tritt in der Analyse Typ 4 (V) auf, wurde er der Klasse 3 (Banane) zugeordnet, trat Typ 5 (Z) auf, wurde er der Mehrfachkrümmung zugeordnet. 34
Abbildung 9: Prädiktoren, die aus den 3D-Daten abgeleitet und für das Klassifikationsmodell verwendet wurden. Das linke Bild zeigt die Position der maximalen Bogenhöhe, die dividiert durch die Stammlänge den Krümmungswert ergibt, das rechte Bild veranschaulicht die Berechnung von n_cells, n_fields und n_changes. 35
Abbildung 10: Beispiel einer Ausbeutesimulation für einen 5,08 m langen Kiefernstamm in Maxicut. Für diesen Stamm führten 4 Bretter (169 x 35 mm) zur maximalen Volumenausbeute. 36
Abbildung 11: Vergleich der manuellen Messung mit den fünf Algorithmen. Sowohl die x- als auch die y-Achse zeigen die Krümmungswerte (in unterschiedlichen Einheiten) nach dem entsprechenden Verfahren für die beiden Baumarten Fichte und Kiefer. Eine Gerade mit einer Steigung von 1 würde einen perfekt geraden Stamm repräsentieren. 37
Abbildung 12: Einfluss der verschiedenen Prädiktoren auf die simulierte Ausbeute. Im Plot für den Zopfdurchmesser und die Abholzigkeit kennzeichnen die unterschiedlichen Farben die drei Krümmungstypen (1: Gerade, 3: Banane, 5: Mehrfachkrümmung). 38
Abbildung 13: Einfluss der verschiedenen Prädiktoren auf den simulierten Ertrag der Sägestämme. Für Top-Durchmesser und Taper kennzeichnen unterschiedliche Farben die drei Sweep-Typen (1: Straight, 3: Banane, 5: Multiple Sweep). 39
Abbildung 14: Endgültiges Modell des C5.0 Entscheidungsbaumes für drei Krümmungstypen (1: gerade, 3: Banane, 6: Mehrfachkrümmung) bestehend aus 19 Knoten. Die neun Entscheidungsknoten (Ellipsen) zeigen das Merkmal, das zum Aufteilen der Daten verwendet wurde, die 10 Endknoten zeigen die Verteilung der vorhergesagten Klasse für die Trainingsdaten, die für die Anpassung verwendet wurde. 41
Abbildung 15: Auswirkung einer Mulde in einem Kiefernstamm auf die Pfeilhöhe im Konturverfahren (lila) und den beiden Mittellinienansätze (grün, rot) aus zwei unterschiedlichen Perspektiven. 41
Abbildung 16: Startseite der Modellierungssoftware "HoPoSim" 44
Abbildung 17: Das Generator-Modul der Software "HoPoSim"....44
Abbildung 18: Eingabemodul von "HoPoSim" 45
Abbildung 19: Innerhalb der Software "HoPoSim" kann jeder beliebige generierte Holzpolter als 3D-Modell dargestellt werden. Dabei werden auch Vermessungsmethoden wie Sektionsraummaß und Foto-Optik simuliert. 46
Abbildung 20: Jeder generierte Polter kann als 3D-Modell exportiert und zur besseren Darstellung in freie 3D-Software,....46
Abbildung 21 Verteilung der simulierten Umrechnungsfaktoren nach verschiedenen stammspezifischen Enflussfaktoren: A) Mittendurchmesser, B) Krümmung, C) Entastungsqualität, D) Länge, E) Abholzigkeit und F) Ovalität. 50
Abbildung 22 Verteilung der Umrechnungsfaktoren nach den folgenden polterspezifischen Einflussfaktoren A) Stapelqualität, B) Anteil an Baumstämmen mit Wurzelanlauf im Polter, C) Polterhöhe und D) Verschiedene Verteilungen von dünn- und dickörtig gepolterten Baumstämmen. 51
Abbildung 23 Verteilung der Umrechnungsfaktoren gemäß folgenden Anteilen an krummen und abholzigen Baumstämmen in einem Polter A) Anteil an leicht abholzigen Baumstämmen in einem Polter,

B) Anteil an stark abholzigen Baumstämmen in einem Polter, C) Anteil an leicht krummen Baumstämmen in einem Polter, D) Anteil an mäßig krummen Baumstämmen in einem Polter und E) Anteil an stark krummen Baumstämmen in einem Polter. 53
Abbildung 24 Doppelte Rindenstärke (DBT): proportional zum $d_{m.R.}$, Rindenvolumen (V_{Rinde}) und Rindengewicht (M_{Rinde}) von Kiefernholzscheiben mit Spiegelrinde (in %). Quelle: in Anlehnung an Berendt et al. (2021) 58
Abbildung 25: Zusammenhang zwischen dem Durchmesser mit Rinde ($d_{m.R.}$), in cm, und dem Rindengewicht (M_{Rinde}), in %. Quelle: in Anlehnung an Berendt et al. (2021) 59
Abbildung 26: Auswertung der Rindenparameter für Holzscheiben verschiedener Rindenstärkeklassen (t hin, medium und t hick). $d_{m.R.}$: Durchmesser mit Rinde, DBT: doppelte Rindenstärke, RB: Rindenbeschädigung, V_{Rinde}: Rindenvolumen und M_{Rinde}: Rindengewicht 60
Abbildung 27: Lineares Modell des a) Rindengewichtes und b) Rindenvolumens in Abhängigkeit der doppelten Rindenstärke (DBT) 60
Abbildung 28 Praxisleitfaden zur Bestimmung von Rindenanteilen (Rindenvolumen und Rindenmasse) bei Kieferindustrieholzpoltern. 63
Abbildung 29: Schema des entwickelten Punktemodells zur Beschreibung des Einflusses relevanter Parameter auf das Holzpoltervolumen 65
Abbildung 30: Indexverfahren des Polterleitfadens von TAP 4.4 66
Abbildung 31: Auszug aus der Dokumentation der Literaturuntersuchung 68
Abbildung 32: Symbole der Prozessmodellierung und deren Bedeutung 70
Abbildung 33: Dokumentation des Teilprozesses „Vertragsabschluss“ nach der Erstbefragung im Interview 71
Abbildung 34: Dokumentation des Teilprozesses „Vertragsabschluss“ nach Abschluss der Befragungen 71
Abbildung 35: Ermittelte Einflussfaktoren auf Holzeinkaufs-/Holzverkaufsprozesse 72
Abbildung 36: Stärken-Schwächen-Analyse für Szenario 1 „Komplette Umstellung auf Werkseingangsmaße als Verkaufsmaß“ 76
Abbildung 37: Stärken-Schwächen-Analyse für Szenario 1a „Werkseingangsmaße als Verkaufsmaß ermittelt durch „neutrale Instanzen“ 77
Abbildung 38: Gegenüberstellung gängiger Blockchain-Plattformen [7] 81
Abbildung 39: Ausgewählte zulässige (dunkel dargestellt) und unzulässige (helle Blöcke) Maßermittlungsverfahren zur Ermittlung von Verkaufsmaßen im Holzeinkaufs- und Verkaufsprozess 83
Abbildung 40: Visualisierung des Unterschieds zwischen Richtigkeit und Präzision 84
Abbildung 41: Messwertermittlungen im Sektionsraummaßverfahren (Abbildung angepasst an: Quelle: Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel in Deutschland, 3. aktualisierte Auflage, 1. Juli 2020, Anlage VI-d, Seite 35). 86
Abbildung 42: Prozessablauf der Atro-Gewichtsbestimmung im Werk [8] 87
Abbildung 43: Definition von Meldungen (Transaktionen) in der Programmierumgebung Hyperledger Fabric 93
Abbildung 44: Arten von Meldungen je Akteur im Prozess des Holzverkaufes Frei Waldstraße nach Waldmaß 93
Abbildung 45: Eingabemasken zur Erfassung von Meldungsdaten durch prozessbeteiligte Akteure. 94
Abbildung 46: Visuelle Darstellung der Meldungen in der Blockchain mit Kennzeichnung zusammengehöriger Maßinformationen (im Hintergrund hell hervorgehoben) 95
Abbildung 47: Raummaßermittlung mit Dralle sScale für ein Kiefern-LAK-Polter (Ausschnitt), Quelle: HNEE 96
Abbildung 48: Auszug aus dem Programm zur Erzeugung „künstlicher“ Prozessmeldungen mittels Simulation 97
Abbildung 49: Auszug aus der statistischen Datenauswertung: Ermittelte Abweichungen des empirischen Mittelwertes vom induzierten Mittelwert bei unterschiedlichen Stichprobenumfängen 98

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Arbeitspakete und Meilensteine laut Antragsstellung 10
Tabelle 2 Darstellung der Arbeitspakete, der Bearbeitungszeitraum und die Zielerreichung 11
Tabelle 3 Darstellung der Arbeitspakete, deren Meilensteine, der Bearbeitungszeitraum und die Zielerreichung 11
Tabelle 4: Kurzzusammenfassung der Krümmungsalgorithmen und anderer Stammmerkmale 32
Tabelle 5: Übersicht der vermessenen Stämme 33
Tabelle 6: Zusammenfassung der Modellergebnisse für die sechs verschiedenen Krümmungsansätze . 40
Tabelle 7 Darstellung der Typen 4 und 3 40
Tabelle 8 Stapelqualität 49
Tabelle 9 Funktionen für die Berechnung des Rindenvolumens (VRinde) und des Rindengewichtes (MRinde) mit der doppelten Rindenstärke (DBT, in mm), dem Durchmesser (dm.R., in cm) und der Rindenbeschädigung (RB, in %). 61
Tabelle 10 Umrechnungsfaktoren für VRinde für Bestelllängen von 1 oder 2 Meter 62

I. Kurzbericht

1. Aufgabenstellung

Das Projekt verfolgt die Zielstellung, die vorhandenen Wissenslücken innerhalb von Verkaufs- und Einkaufsprozessen der rohholzbereitstellenden und -verarbeitenden Industrie zu schließen, zur Synchronisation der bislang zersplitterten Informations- und Datenlandschaft bezüglich der Rohholzbeschreibung beizutragen und Lösungen vorzuschlagen, die in die Praxis umsetzbar und zum Nutzen aller Akteure der Logistikkette sind. Die Bearbeitung des Projekts und der identifizierten Problemstellungen nach wissenschaftlichen Grundsätzen und gemeinsam durch Projektpartner aus dem Cluster Forst und Holz soll dazu beitragen, die notwendige Akzeptanz und Transparenz der Ergebnisse zu gewährleisten. Wesentlicher Beitrag ist dazu auch ein gemeinsames Projektmanagement und Koordination als Verbundprojekt durch die Branchenvertreter AGR und KWF (AP1). Im Detail werden folgende Ziele verfolgt:

Die Analyse der an den zentralen Schnittstellen der Logistikkette verwendeten Rundholzmaße und Verfahren der Maßermittlung, Schaffung einer validen Datengrundlage für eine Metadatenanalyse sowie Durchführung einer Metadatenanalyse (AP2)

Analyse und Bewertung praxisrelevanter und innovativer Rundholzmessverfahren sowie vergleichende Darstellung der erforderlichen Genauigkeitsanforderungen sowie der erreichbaren Genauigkeiten für Einzelstamm- und Rundholzpolter; Prüfung, Weiterentwicklung und Bewertung von Algorithmen zur automatisierten Qualitätserfassung bei Nadelstammholz am Werkseingang und von Verfahren zur optischen Vermessung von LKW- und Bahnverkehrsträgern (AP3)

Modellierung von Einzelstämmen und Rundholzpoltern zur Analyse des Einflusses relevanter Parameter auf das Raummaß sowie Ableitung von sortimentsspezifischen Umrechnungs- und Reduktionsfaktoren (AP4)

Prozessanalyse von Holzbereitstellung, Holzeinkauf- und Verkauf sowie Ableitung von Empfehlungen zur Optimierung der Logistikkette (AP5)

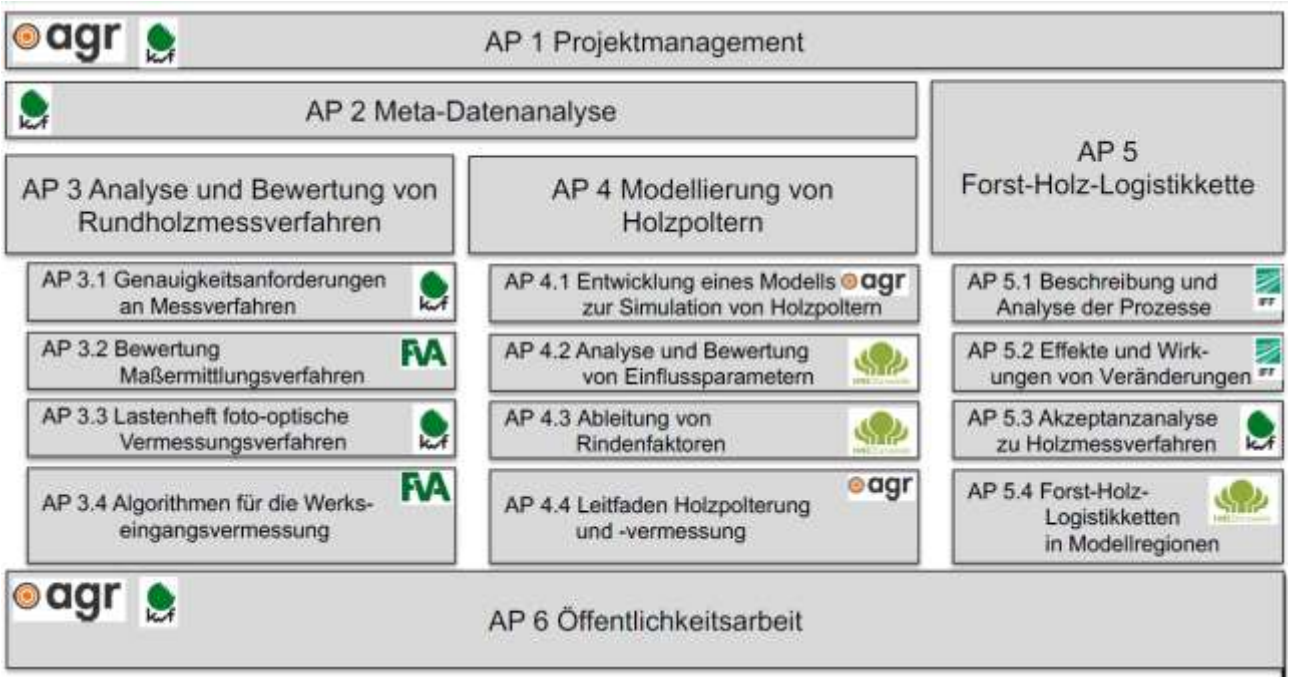
Die fachliche Bearbeitung des Projekts wird unterstützt und ergänzt durch eine zeitnahe Zielgruppenorientierte Öffentlichkeitsarbeit (AP6).

2. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die wissenschaftlichen und technischen Ziele des beantragten Vorhabens sind:

1. Erfassung der in der Praxis üblichen Rundholzmaße und Quantifizierung von deren Einsatzhäufigkeit, Zusammenführung und Analyse (Metadatenanalyse),
2. Analyse und Bewertung der Genauigkeit der verschiedenen Rundholzmessverfahren anhand von Praxisdaten,
3. Erstellung eines Lastenheftes für innovative fotooptische Rundholzmessverfahren,
4. Analyse und Ableitung von Algorithmen für die automatisierte Qualitätserfassung von Nadelstammholz Einzelstammvermessung von Rundholz im Werk,
5. Modellierung von Rundholzpoltern zur Erarbeitung von Umrechnungs- und Reduktionsfaktoren für unterschiedliche Maßeinheiten für Rundholz,
6. Entwicklung eines optischen Messverfahrens für LKW und Bahnverkehrsträger
7. Erfassung aller relevanten zeitlichen, räumlichen, technischen und organisatorischen Anforderungen der Akteure aus der Forst-Holz-Kette an die Rundholzmaße,
8. Erarbeitung eines Leitfadens zur Etablierung von optimierten Holzlogistikprozessen mit einer Dokumentation der Hintergründe der Datengenese,
9. Analyse der Akzeptanz der verschiedenen Rundholzmaße für eine Nutzung in den Forst-Holz-Logistikketten in Deutschland – unter besonderer Berücksichtigung der vielfältigen Unterschiede in der Betriebsgröße der Marktpartner,
10. Laufende Information der Fachöffentlichkeit zur Schaffung von Transparenz sowie Erhöhung der Akzeptanz für verschiedene Rundholzmaße.

Zur Erreichung der wissenschaftlichen und technischen Ziele des Vorhabens wurden folgende graphisch dargestellten Arbeitspakete gebildet:



Die zeitliche Abfolge der geplanten Arbeitspakete ist in der folgenden Abbildung dargestellt:

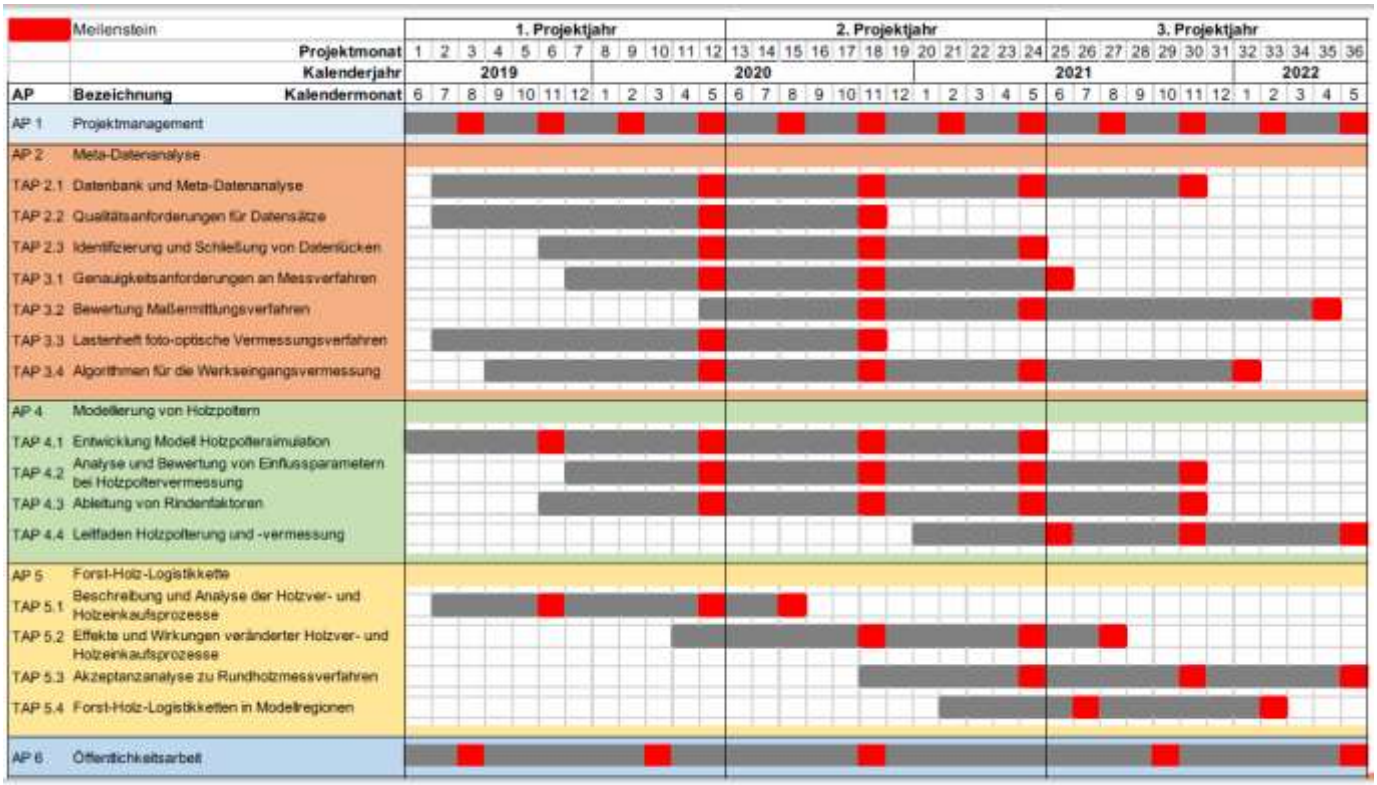


Abbildung 1: Darstellung zeitliche Abfolge

Die zu erreichenden Meilensteine sind in folgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 1 Arbeitspakete und Meilensteine laut Antragsstellung

3. Resümee der wesentlichen Ergebnisse

Nr. AP	Arbeitspaket	Nr.	Meilenstein
1	Projektmanagement	1	Konsortialvertrag ist unterzeichnet
		2	Projektbeirat ist etabliert
		3	Regelmäßige Treffen von Projektkonsortium und -beirat sind durchgeführt
		4	Projektzwischen- und Abschlussberichte sind finalisiert
2.1	Datenbank und Meta-Datenanalyse	1	Datenbankstruktur ist entwickelt und umgesetzt
		2	Daten sind eingespielt
		3	Daten sind ausgewertet
		4	Ergebnisse sind interpretiert
2.2	Qualitätsanforderungen für Datensätze	1	Checkliste Qualitätsanforderungen für Datensätze der unterschiedlichen Holzvermessungsverfahren ist erarbeitet
2.3	Identifizierung und Schließung von Datenlücken	1	Datenabfrage bei potentiellen Datenlieferanten aus der Forst- und Holzwirtschaft ist erfolgt
		2	Bereitgestellte zusätzliche Daten sind in die Datenbank eingepflegt
		3	Für die verschiedenen Rundholzmessverfahren sind zusätzliche Versuchsdaten aufgenommen (gemäß Qualitätsanforderungen aus TAP 2.2)
		4	Neu erhobene Daten sind in die Datenbank eingepflegt
3.1	Genauigkeitsanforderungen an Messverfahren	1	Technische Genauigkeiten der Verfahren sind ermittelt
		2	Praxisorientierte Fehlergrenzen sind definiert
3.2	Bewertung Maßermittlungsverfahren	1	Standardisiertes Schema zur Verfahrensbewertung ist erstellt
		2	Ergebnisse der Verfahrensbewertung sind in Übersichtsmatrix dargestellt
3.3	Lastenheft foto-optische Vermessungsverfahren	1	Entwurf eines Lastenheftes ist erstellt
		2	Lastenheft ist in Praxisversuchen evaluiert
		3	Lastenheft ist überarbeitet und als Druckversion verfügbar
3.4	Algorithmen für die Werkseingangsvermessung	1	Die Algorithmen zur Krümmungsermittlung sind programmiert.
		2	Die Simulationen zur Krümmungsermittlung sind an realen Messdaten erfolgt.
		3	Die Ergebnisse aus den Simulationen sind quantitativ und qualitativ ausgewertet
3.5	Optisches Messverfahren LKW- und Bahnverkehrsträger	1	Auswahl geeigneter Messgeräte/Hersteller
		2	Festlegungen messtechnischer und verfahrensbedingter Rahmenbedingungen
		3	Abschluss Testbetrieb
		4	Optimierter Prototyp I liegt vor
		5	Abschluss Regelbetrieb
		6	Optimierter Prototyp II liegt vor
		7	Verfahrensbeschreibung liegt vor
		8	Mess- und eichrechtliche Grundlagen liegen vor
4.1	Entwicklung eines Modells zur Simulation von Holzpoltern	1	Krümmungs- und Abholzigkeitsverteilungen von Einzelstämmen sind ermittelt
		2	Das Simulationsmodell ist entwickelt
		3	Verschiedene Polterzusammensetzungen sind simuliert
		4	Der Einfluss variierender, definierter Qualitäts- und Stammformparameter auf die Polterzusammensetzungen und auf die Umrechnungsfaktoren ist analysiert (TAP 4.2)
4.2	Analyse und Bewertung von Einflussparametern bei Holzpoltervermessung	1	Matrix der Einflussparameter auf Poltervolumen ist erstellt
		2	Simulationen verschiedener Polterzusammensetzungen sind durchgeführt
		3	Einflussparameter sind analysiert und bewertet
		4	Praxisversuche als Vergleichsgrundlage sind beendet
4.3	Ableitung von Rindenfaktoren	1	Literaturanalyse ist abgeschlossen
		2	Entwicklung Versuchsaufbau ist abgeschlossen
		3	Poltervermessungen sind beendet
		4	Tauchversuch ist beendet
		5	Ergebnisse sind analysiert
		6	Kennzahlen sind abgeleitet
		7	Praxisnahe Methodik und Regelwerk sind entwickelt
4.4	Leitfaden Holzpolterung und -vermessung	1	Ergebnisse der Literaturrecherche liegen vor
		2	Experteninterviews und Stakeholderbefragungen sind durchgeführt
		3	Rückkopplung mit Gremien wie StA RVR sind abgeschlossen
		4	(Punkte-)modell und Leitfaden und liegen vor
5.1	Beschreibung und Analyse der Holzver- und Holzeinkaufsprozesse	1	Holzeinkaufsprozesse von mindestens vier repräsentativen Unternehmen der Holzindustrie (Sägeholzeinkauf, Industrieholzeinkauf) sind abgebildet, modelliert und analysiert.
		2	Einflussfaktoren auf Einkaufsprozesse und (Wechsel-)Wirkungen mit anderen Prozessen sind ermittelt und dokumentiert
		3	Prozessbezogene Probleme und Herausforderungen bezüglich der der Mengenermittlung sind identifiziert
5.2	Effekte und Wirkungen veränderter Holzver- und Holzeinkaufsprozesse	1	Beschreibung der Veränderungen durch die Einführung neuer Verfahren in den Einkaufsprozessen sowie der daraus entstehenden Chancen und Risiken ist abgeschlossen.
		2	Die erstellten Szenarien sind hinsichtlich der Realisierungschancen beurteilt.
5.3	Akzeptanzanalyse zu Rundholzmessverfahren	1	Pre-Test ist abgeschlossen
		2	Quantitative Umfrage ist abgeschlossen
		3	Qualitative Umfrage ist abgeschlossen
		4	Maßnahmen zur Erhöhung der Akzeptanz sind erarbeitet und vorgestellt
		5	Umsetzungsprozesse geeigneter Maßnahmen werden initiiert
5.4	Forst-Holz-Logistikketten in Modellregionen	1	Forst-Holz-Logistikketten sind in den Modellregionen eingerichtet.
		2	Prozessabläufe und Maßermittlungsverfahren sind demonstriert und verglichen.
		3	Veränderungseffekte bezüglich der Forst-Holz-Logistikkette sowie ausgewählte einzelbetriebliche Auswirkungen sind dokumentiert und bewertet.
6	Öffentlichkeitsarbeit	1	Veröffentlichungen vor, während und nach dem Projekt
		2	Durchführung der RVR Meetings
		3	Ergebnispräsentation auf Messen, Konferenzen, etc.

a) Bearbeitete Arbeitspakete und Meilensteine (mit Änderungen)

Tabelle 2 Darstellung der Arbeitspakete, der Bearbeitungszeitraum und die Zielerreichung

Arbeitspakete (AP) **(lt. Planung im Antrag)**	**Bearbeitungszeitraum** **(lt. Balkenplan im Antrag)**	**Zielerreichung**
AP 1 Projektmanagement	06/2019 bis 05/2022	erreicht
AP 2 Metadaten-Analyse	07/2019 bis 11/2021	erreicht
AP 3 Analyse und Bewertung von Rundholzmessverfahren	07/2019 bis 12/2021	geändert und erreicht
AP 4 Modellierung und Analyse der Eigenschaften von Holzpoltern	06/2019 bis 05/202022	erreicht
AP 5 Forst-Holz-Logistikkette	07/2019 bis 12/2022	erreicht
AP 6 Öffentlichkeitsarbeit	06/2019 bis 05/2022	erreicht

Tabelle 3 Darstellung der Arbeitspakete, deren Meilensteine, der Bearbeitungszeitraum und die Zielerreichung

Nr. AP	**Arbeitspaket**	**Nr.**	**Meilenstein**	**Be-ginn**	**Ende**	**Zieler-reichung**
1	Projekt-management	1	Konsortialvertrag ist unterzeichnet	01.06.2019	31.05.2022	erreicht
		2	Projektbeirat ist etabliert			
		3	Regelmäßige Treffen von Projektkonsortium und -beirat sind durchgeführt			

		4	Projektzwischen- und Abschlussberichte sind finalisiert			
2	Meta- Datenanalyse					
2.1	Datenbank und Meta-Datenanalyse	1	Datenbankstruktur ist entwickelt und umgesetzt	01.07.2019	30.11.2021	erreicht
		2	Daten sind eingespielt			
		3	Daten sind ausgewertet			
		4	Ergebnisse sind interpretiert			
2.2	Qualitäts-anforderungen für Datensätze	1	Checkliste Qualitätsanforderungen für Datensätze der unterschiedlichen Holzvermessungsverfahren ist erarbeitet	01.07.2019	30.11.2020	erreicht
2.3	Identifizierung und Schließung von Datenlücken	1	Datenabfrage bei potentiellen Datenlieferanten aus der Forst- und Holzwirtschaft ist erfolgt	01.11.2019	31.05.2021	erreicht
		2	Bereitgestellte zusätzliche Daten sind in die Datenbank eingepflegt			
		3	Für die verschiedenen Rundholzmessverfahren sind zusätzliche Versuchsdaten aufgenommen (gemäß Qualitätsanforderungen aus TAP 2.2)			
		4	Neu erhobene Daten sind in die Datenbank eingepflegt			
3	Analyse und Bewertung von Rundholzmessverfahren					

3.1	Genauigkeitsanforderungen an Messverfahren	1	Technische Genauigkeiten der Verfahren sind ermittelt	01.12.2019	30.06.2021	Erreicht angepasst an die Anforderungen aus TAP 5.3
		2	Praxisorientierte Fehlergrenzen sind definiert			
3.2	Bewertung Maßermittlungs-verfahren	1	Standardisiertes Schema zur Verfahrensbewertung ist erstellt	01.05.2020	30.04.2022	wird nachgereicht Verlängerung des Teilprojektes durch die FVA
		2	Ergebnisse der Verfahrensbewertung sind in Übersichtsmatrix dargestellt			
3.3	Lastenheft foto-optische Vermessungsverfahren	1	Entwurf eines Lastenheftes ist erstellt	01.07.2019	30.11.2020	erreicht
		2	Lastenheft ist in Praxisversuchen evaluiert			
		3	Lastenheft ist überarbeitet und als Druckversion verfügbar			
3.4	Algorithmen für die Werkseingangsver-messung	1	Die Algorithmen zur Krümmungsermittlung sind programmiert	01.09.2019	31.01.2022	erreicht
		2	Die Simulationen zur Krümmungsermittlung sind an realen Messdaten erfolgt			
		3	Die Ergebnisse aus den Simulationen sind quantitativ und qualitativ ausgewertet			
3.5	Optisches Messverfahren LKW und Bahnverkehrsträger	1	Auswahl geeigneter Messgeräte/Hersteller	01.06.2019	31.05.2022	nicht erreicht siehe Antrag auf Änderung
		2	Festlegungen messtechnischer und verfahrensbedingter Rahmenbedingungen			

		3	Abschluss Testbetrieb			
		4	Optimierter Prototyp I liegt vor			
		5	Abschluss Regelbetrieb			
		6	Optimierter Prototyp II liegt vor			
		7	Verfahrensbeschreibung liegt vor			
		8	Mess- und eichrechtliche Grundlagen liegen vor			
4	**Modellierung von Holzpoltern**					
4.1	Entwicklung eines Modells zur Simulation von Holzpoltern	1	Krümmungs- und Abholzigkeitsverteilungen von Einzelstämmen sind ermittelt	01.06.2019	31.05.2021	erreicht
		2	Das Simulationsmodell ist entwickelt			
		3	Verschiedene Polterzusammensetzungen sind simuliert			
		4	Der Einfluss variierender, definierter Qualitäts- und Stammformparameter auf die Polterzusammensetzungen und auf die Umrechnungsfaktoren ist analysiert (TAP 4.2)			
4.2	Analyse und Bewertung von Einflussparametern bei Holzpolterver-messung	1	Matrix der Einflussparameter auf Poltervolumen ist erstellt	30.11.2019	30.11.2021	erreicht
		2	Simulationen verschiedener			

			Polterzusammensetzungen sind durchgeführt			
		3	Einflussparameter sind analysiert und bewertet			
		4	Praxisversuche als Vergleichsgrundlage sind beendet			
4.3	Ableitung von Rindenfaktoren	1	Literaturanalyse ist abgeschlossen	01.11.2019	30.11.2021	erreicht
		2	Entwicklung Versuchsaufbau ist abgeschlossen			
		3	Poltervermessungen sind beendet			
		4	Tauchversuch ist beendet			
		5	Ergebnisse sind analysiert			
		6	Kennzahlen sind abgeleitet			
		7	Praxisnahe Methodik und Regelwerk sind entwickelt			
4.4	Leitfaden Holzpolterung und vermessung	1	Ergebnisse der Literaturrecherche liegen vor	01.01.2021	31.05.2022	erreicht
		2	Experteninterviews und Stakeholderbefragungen sind durchgeführt			
		3	Rückkopplung mit Gremien wie StA RVR sind abgeschlossen			
		4	(Punkte-)modell und Leitfaden und liegen vor			

5	**Forst- Holz- Logistikkette**					
5.1	Beschreibung und Analyse der Holzver- und Holzeinkaufsprozesse	1	Holzeinkaufsprozesse von mindestens vier repräsentativen Unternehmen der Holzindustrie (Sägeholzeinkauf, Industrieholzeinkauf) sind abgebildet, modelliert und analysiert	01.07.2019	31.08.2020	erreicht
		2	Einflussfaktoren auf Einkaufsprozesse und (Wechsel-)Wirkungen mit anderen Prozessen sind ermittelt und dokumentiert			
		3	Prozessbezogene Probleme und Herausforderungen bezüglich der der Mengenermittlung sind identifiziert			
5.2	Effekte und Wirkungen veränderter Holzver- und Holzeinkaufsprozesse	1	Beschreibung der Veränderungen durch die Einführung neuer Verfahren in den Einkaufsprozessen sowie der daraus entstehenden Chancen und Risiken ist abgeschlossen	01.04.2020	31.08.2021	erreicht
		2	Die erstellten Szenarien sind hinsichtlich der Realisierungschancen beurteilt			
5.3	Akzeptanzanalyse zu Rundholzmess-verfahren	1	Pre-Test ist abgeschlossen	01.11.2020	31.05.2022	erreicht
		2	Quantitative Umfrage ist abgeschlossen			

		3	Qualitative Umfrage ist abgeschlossen			
		4	Maßnahmen zur Erhöhung der Akzeptanz sind erarbeitet und vorgestellt			
		5	Umsetzungsprozesse geeigneter Maßnahmen werden initiiert			
5.4	Forst-Holz-Logistikketten in Modellregionen	1	Forst-Holz-Logistikketten sind in den Modellregionen eingerichtet	01.02.2021	28.02.2022	erreicht
		2	Prozessabläufe und Maßermittlungsverfahren sind demonstriert und verglichen			
		3	Veränderungseffekte bezüglich der Forst-Holz-Logistikkette sowie ausgewählte einzelbetriebliche Auswirkungen sind dokumentiert und bewertet			
6	**Öffentlichkeits-arbeit**	1	Veröffentlichungen vor, während und nach dem Projekt	01.06.2019	31.05.2022	erreicht
		2	Durchführung der RVR Meetings			
		3	Ergebnispräsentation auf Messen, Konferenzen, etc.			

b) Zusammenfassung

Alle Arbeiten konnten abgeschlossen und die Meilensteine eingehalten werden. Ausnahmen stellten der Ausfall bzw. die Änderungen des AP 3.5 dar und die nicht stattgefundenen Messen. Einzelne Projekttreffen mussten coronabedingt im online Format abgehalten werden.

Um das Thema fotooptischen Messsysteme einem größeren Kreis interessierten Fachpublikums zugänglich zu machen, war ein Stand auf der KWF-Tagung 2020 geplant. Coronabedingt fiel diese, und auch die Verschiebung in das Jahr 2021, aus.

Im Rahmen der Bearbeitung des Projektes ergaben sich weitere an die Ergebnisse anschließende Forschungsfragen, die in der Projektskizze zu OPTIMASS an den Projektträger übermittelt wurden. Die Zusammenarbeit im Konsortium war kooperativ und erfolgreich, was die Projektpartner veranlasst hat, in derselben Konstellation eine Skizze zum Folgeantrag einzureichen.

Innerhalb des Projektes wurden ergänzend wichtige Fragen beantwortet, die ursprünglich nicht Inhalt des Antrages waren. So wurde sich z.B. der Frage gewidmet, in welchem Umfang die Berücksichtigung der Polterrückseite die Ergebnisse bei der Poltervermessung verbessert.
20220727_FTI_Whitepaper_Polterrueckseite_FTI_AK_FINAL.pdf (kwf-online.de)

II. Ausführliche Darstellung der Ergebnisse

1. Erzielte Ergebnisse

Arbeitspaket 1: Projektmanagement

Zielsetzung: Ziel war in diesem Arbeitspaket die Steuerung und Koordinierung aller Projektaktivitäten sowie der Zusammenarbeit der Projektpartner und externer Beteiligter. Die Verantwortung wurde hierbei zu gleichen Teilen vom Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik und der Arbeitsgemeinschaft Rohholz übernommen.

Einleitung, Material, Methodik und Ergebnisse: Die gemeinsame Projektkoordination war deshalb erforderlich, weil Forst- und Holzwirtschaft große Erwartungen an dieses gemeinsame Cluster-Projekt knüpfen, das aus ursprünglich zwei getrennten Projektanträgen hervorgegangen ist, von denen eines von Vertretern der Holzseite, das andere von Vertretern der Forstseite gestellt worden war. Das Projekt wurde gemeinsam von den Partnern AGR und KWF koordiniert. Dabei wurden die Aufgaben so aufgeteilt, dass Synergien genutzt werden konnten. Wichtige Meilensteine waren die Unterzeichnung des Konsortialvertrags, die Einberufung eines Projektbeirats, die Planung und Durchführung von Treffen des Projektkonsortiums und des -beirats sowie die fristgerechte Erstellung von Zwischenberichten und des Abschlussberichts.

Nach der erfolgten Unterzeichnung des Konsortialvertrages (Meilenstein 1.1) konnten folgende Personen für den Projektbeirat gewonnen werden (Meilenstein 1.2):

- Hubertus Frhr. Roeder v. Diersburg (Gérance GmbH Forst + Markt)
- Klaus Jänich (Niedersächsische Landesforsten)
- Uwe Daum (Forstbetriebsgemeinschaft Ostharz)
- Lars Schmidt (Deutsche Säge- und Holzindustrie Bundesverband e.V.)
- Yvonne Ehlert (SWISS KRONO TEX GmbH & Co.)
- Daniel Tränkl (UPM)

Treffen konnten pandemiebedingt häufig nicht persönlich stattfinden. Aufgrund von Schwierigkeiten bei der Terminfindung konnte ein Erstes für Dezember 2019 geplantes Beiratstreffen erst im Folgejahr 2020 stattfinden. Um dem Beirat dennoch umfassend Informationen über den Fortschritt des Projekts zur Verfügung zu stellen und Gelegenheit zur Nachfrage zu bieten, wurde im April 2020 ein Newsletter an den Beirat versendet. Die regelmäßigen Treffen (Meilenstein 1.3) fanden statt wie folgt:

- 4.6.2019 (Kick-Off Meeting) in Kassel
- 12.12.2019 (Projekttreffen) in Berlin
- 31.03.2020 (Projekttreffen) online
- 06.04.2020 Newsletter für den Beirat

- 13.10.2020 (Projekttreffen) in Freiburg
- 14.10.2020 (Beiratstreffen) in Freiburg
- 26.11.2020 (Projekttreffen) online
- 26.01.2021 (Projekttreffen) online
- 21.05.2021 (Projekttreffen) online
- 11.10.2021 (Projekttreffen) online
- 11.10.2021 (Beiratstreffen) online
- 20.01.2022 (Projekttreffen) online
- 05.05.2022 (Projekttreffen) in Berlin
- 05.05.2022 (Beirats- und Abschlusstreffen) in Berlin

Darüber hinaus konnte mit der freundlichen Unterstützung des Fraunhofer IFF eine Online-Plattform zum Datenaustausch eingerichtet werden. Jeder Mitarbeiter des Konsortiums erhielt für die Dauer des Projekts eine Zugangsberechtigung.

Arbeitspaket 2: Meta-Datenanalyse

Für die Maßermittlungsverfahren manuelle Rundholzvermessung im Wald, Vollerntevermessung, fotooptische Messverfahren und Werkseingangsvermessung lagen in vielen Forstbetrieben bereits Messdaten vor, die als Datenbasis des Projektes herangezogen werden sollten.

Für die in der Datenbank vorgehaltenen Daten erfolgten anschließend mathematisch statistische Analysen zur Einschätzung aller einbezogenen Maßermittlungsverfahren in Bezug auf allgemeine Qualität der Maße und Maßabweichungen. Im Vordergrund stand dabei die Beantwortung der Fragen, inwieweit ein direkter Vergleich der gemessenen Daten zulässig ist, und ob anhand der Daten Aussagen zur Genauigkeit der Maßermittlungsverfahren getroffen werden können. Im Laufe dieser Arbeiten wurden Hinweise auf identifizierte Datenlücken herausgearbeitet und für eine anschließende Bearbeitung in Arbeitspaket 3 bewertet.
Die beteiligten Projektpartner erhielten im Rahmen des Projektes einen vollständigen Zugriff auf die Datenbank.

TAP 2.1: Datenbank und Metadatenanalyse

Zielsetzung: Es sollte eine Datenbank mit einheitlichem Datenformat erstellt werden, in der die vorhandenen Messdaten eingespielt und über die gesamte Projektlaufzeit hinweg durch neue Daten ergänzt werden konnten. Die Datenbank sollte die Basis für eine nachfolgende Meta-Datenanalyse sowie die Identifizierung und Beseitigung von Datenlücken darstellen. Ziel dieses Arbeitspaketes war es zu analysieren, inwieweit ein direkter Vergleich der gemessenen Daten zulässig ist, und ob anhand der Daten Aussagen zur Genauigkeit der Maßermittlungsverfahren getroffen werden können.

Einleitung, Material, Methodik und Ergebnisse: Für die Vermarktung und den Einkauf von Rundholz sowie die Abrechnung von Lohnunternehmen oder zum Mengennachweis gegenüber Finanz- und Fördermittelbehörden sind nur geeichte Messgeräte zulässig. Um eine Analyse darüber zu machen, wie

die Messergebnisse verschiedener Maßermittlungsverfahren, geeicht und auch nicht geeicht, im Verhältnis zueinanderstehen, wurden Messdaten in eine Datenbank aufgenommen und ausgewertet.

Die FVA, die ebenfalls am Arbeitspaket 2.1 beteiligt war, erstellte die Datenbank mit SQLite. SQLite ist eine kostenfreie, gemeinfreie Programmbibliothek, die ein relationales Datenbanksystem enthält und ist das meistverwendete Datenbanksystem der Welt. Die Datenbank erhielt folgende Kopfdaten, um die Poltermessdaten sinnvoll miteinander vergleichen zu können: Verbale Beschreibung kurz und lang, Ort der Aufnahme, Datenquelle, Jahr der Erhebung, Gesamtvolumen Fm, Sortiment, Hauptbaumart, Einzelpolterdaten und Einzelstammdaten (s. Abb. 2). Um den direkten Vergleich der gemessenen Daten zu untersuchen, wurden Datenlieferanten angefragt, die einen Polter mit mindestens zwei unterschiedlichen Verfahren vermessen hatten. Im Vorfeld hatten einige Betriebe größere Datenmengen zugesagt, jedoch waren dies Polterdaten, die ausschließlich mit einem Verfahren vermessen wurden. Somit mussten weitere Betriebe angefragt werden.

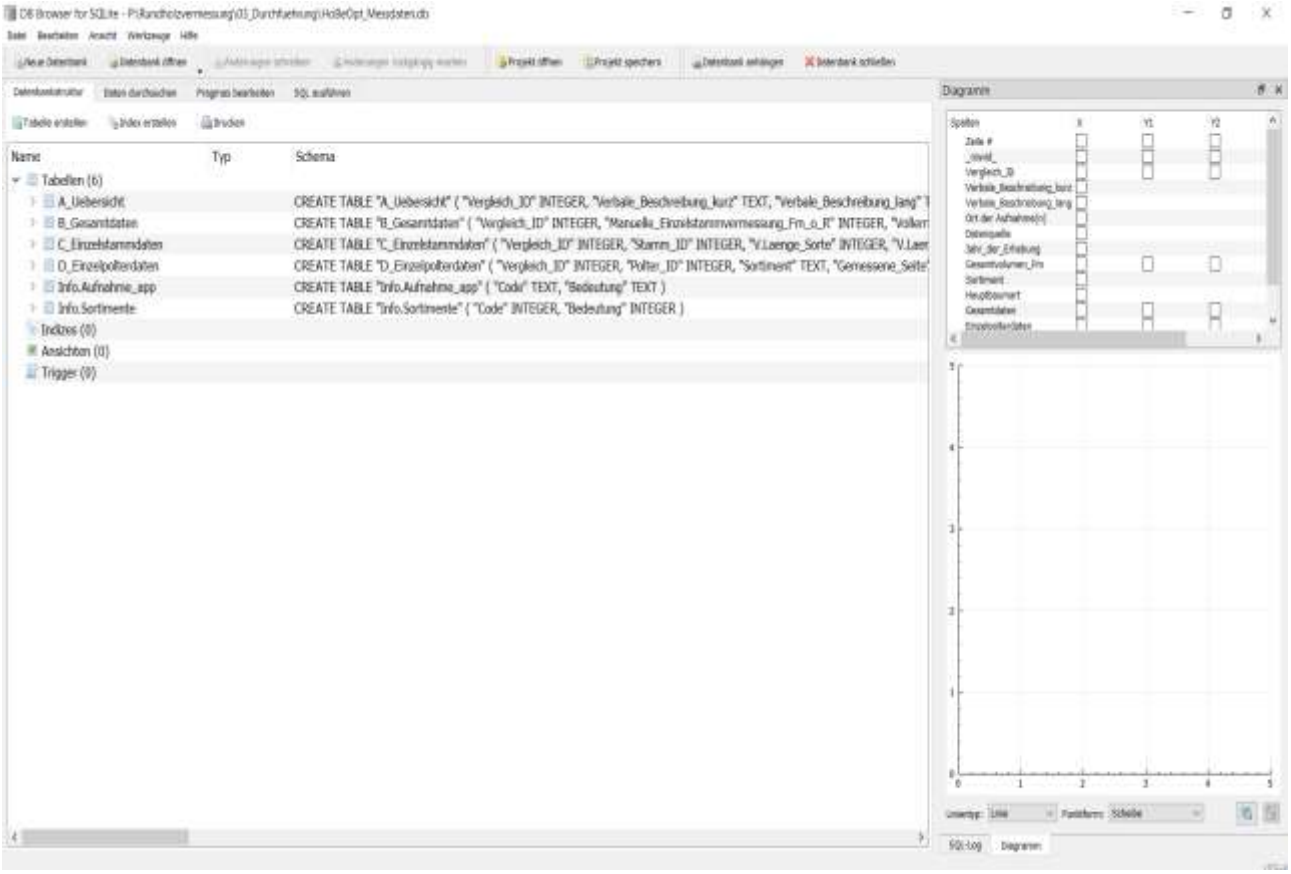


Abbildung 2 Darstellung der Datenbankstruktur SQLite

Im Rahmen des Projektes wurde an der FVA ein Messversuch durchgeführt, der anhand des identischen Rundholzes alle derzeit in der Prozesskette Forst-Holz angewandten Messverfahren miteinander vergleicht. Die Umsetzung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Maschinenbetrieb Schrofl (ForstBW) im Forstbezirk Nördlicher Schwarzwald (Revier Rauland). Zusätzlich wurden zahlreiche Datensätze zur Maßermittlung von Nadelholzpoltern aus Mecklenburg-Vorpommern und Laubholzpoltern aus Schleswig-Holstein von der HNEE zur Verfügung gestellt und für die Datenbank genutzt. Bei dem Laubholz wurden die Polter mit dem Sektionsraummaßverfahren nach RVR und der App FOVEA vermessen und beim

Nadelholz mit Sektionsraummaßverfahren nach RVR und der App TIMBETER. Durch die Messversuche konnten Messdaten mit über 7000 Festmeter in die Datenbank eingepflegt werden. Die Auswertung der Daten verzögerte sich, da die Betriebe, die Messdaten liefern wollten, Polter nur mit einem Messverfahren vermessen hatten und somit die Daten nicht vergleichbar waren.

Insgesamt wurden rund 250.000 Fm übermittelt, die in die Datenbank eingepflegt wurden. Jedes Maßermittlungsverfahren wurde mit allen anderen Verfahren verglichen. Es ist wichtig zu wissen, dass die verschiedenen Verfahren das Holz auf unterschiedliche Arten vermessen und man somit kein Referenzmaß hat und somit nicht weiß, welches Messverfahren am wahren Wert liegt. Um dennoch die Maßermittlungsverfahren miteinander zu vergleichen, wurden die Abweichungen ermittelt.

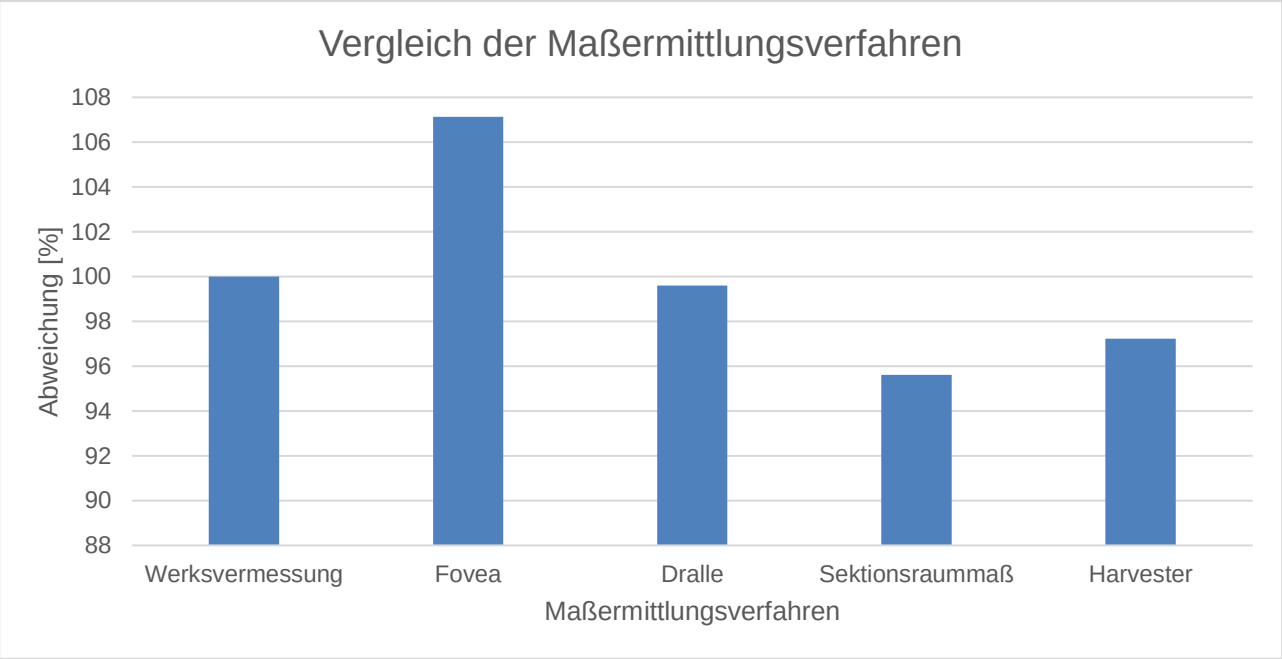


Abbildung 3 Abweichungen aller Maßermittlungsverfahren in [%]

Die Abbildung 3 zeigt, dass die Poltermessdaten des Werkseingangsmaßes im Vergleich zu den Harvester- und Sektionsraummaßverfahrenmessdaten im Gesamtergebnis immer höher waren. Die Poltermessdaten waren im Vergleich vom Werkseingangsmaß und zu dem Stereokamerasystem *sScale von Dralle* höher, die Mittendurchmessermessdaten höher als die des Werkseingangsmaßes und des Sektionsraummaßverfahren und das Sektionsraummaßverfahren höher als die Messdaten von Fovea.

TAP 2.2: Qualitätsanforderungen für Datensätze

Zielsetzung: Das Ziel dieses Teilarbeitspaketes war es, eine Checkliste mit Qualitätsanforderungen für die Datensätze der unterschiedlichen Holzvermessungsverfahren zu erstellen, um den Datenlieferanten eine Vorgabe zu geben, die sie einhalten mussten, damit die Poltermessdaten einheitlich und somit vergleichbar sind.

Einleitung, Material, Methodik und Ergebnisse: Um zu analysieren, inwieweit ein direkter Vergleich der gemessenen Daten zulässig ist, und ob anhand der Daten Aussagen zur Genauigkeit der Maßermit-

tlungsverfahren getroffen werden können, benötigten die Datenlieferanten Vorgaben zu den Holzpoltern sowie zu den unterschiedlichen Holzvermessungsverfahren. Es wurde eine Checkliste zu den unterschiedlichen Holzvermessungsverfahen (Harvestervermessung, Werksvermessung, Sektionsraummaßverfahren, Mittendurchmesserstichprobe, verschiedene fotooptische Verfahren) erstellt bestehend aus Hauptbaumarten und Polterqualität (grob gleichschenklig trapezförmig oder annähernd rechteckig, möglichst dicht und ohne Eintrag von Fremdmaterial und geradlinig gesetzt).

TAP 2.3: Identifizierung und Schließung von Datenlücken

Zielsetzung: Um Lücken in der Datenbank zu identifizieren und zu schließen, sollte eine weitere Datenabfrage bei potentiellen Datenlieferanten aus der Forst- und Holzwirtschaft erfolgen. Zudem sollten weitere Daten aufgenommen werden, falls zu allen Vermessungsverfahren nicht genug Messdaten vorlagen.

Einleitung, Material, Methodik und Ergebnisse: Das Schema, das bereits in Arbeitspaket 2.2 in SQLite erarbeitet wurde, wurde in diesem Arbeitspaket fortgesetzt und die erhaltenen Daten eingepflegt. Da im Arbeitspaket 2.2 Datenbank und Metadatenanalyse hauptsächlich Messdaten von fotooptischen Messystemen und dem Sektionsraummaßverfahren übermittelt wurden, wurde bei weiteren Datenlieferanten aus der Forst- und Holzwirtschaft angefragt, um weitere Verfahren wie die Harvestervermessung und das Werkseingangsmaß mit in die Analyse aufzunehmen. Es wurden die Bayerischen Staatsforsten, die Niedersächsischen Landesforsten, die Bundesforsten sowie die Maschinenhersteller Komatsu und Ponsse angefragt. Die Bayerischen Staatsforsten übermittelten einen Datensatz mit 7.269 Fm, die Vergleichsdaten für die Vermessung von Poltern mit Dralle und dem Werkseingangsmaß lieferten. Die Bundesforsten lieferten einen Datensatz mit 4.528 Fm, die Daten der Vermessung mit Dralle, dem Werkseingangsmaß und mit Fovea beinhalteten. Die Landesforsten Rheinland-Pfalz übermittelten einen Datensatz von 875 Fm, die die Polter mit dem Werkseingangsmaß und dem Stirnflächenverfahren, mit dem Stirnflächenverfahren und Fovea, mit dem Werkseingangsmaß und dem Vollernter und mit Vollernter, Werkseingangsmaß und dem Stirnflächenverfahren vermessen hatten (s. Abb. 4). Komatsu und Ponsse konnten keine Poltermessdaten zur Verfügung stellen. Da die Datenmenge vom Werkseingangsmaß verglichen mit dem Harvestermaß noch sehr gering und für eine statistische Auswertung nicht ausreichend war, wurden erneut Datenlieferanten angefragt. Die Landesforsten Rheinland-Pfalz stellten weitere Poltermessdaten mit einem Volumen von 36.000 Fm zur Verfügung. Die Poltermessdaten, die die Landesforsten Rheinland-Pfalz lieferten, wurden in die Datenbank eingepflegt. Auch die Projektpartner, z.B. die HNEE und das Fraunhofer IFF, lieferten weitere Beiträge und Datensätze, um die identifizierten Datenlücken zu schließen. Beispielhaft genannt sei die beratende Unterstützung des KWF in Bezug auf die Anforderungen bzgl. der Art und Korrelationsanforderungen an zu erhebende und auszuwertende Daten potenzieller Datenlieferanten. Alle Daten, die im Rahmen dieses Arbeitspaketes gewonnen werden konnten, wurden im Teilarbeitspaket 2.1 ausgewertet und analysiert.

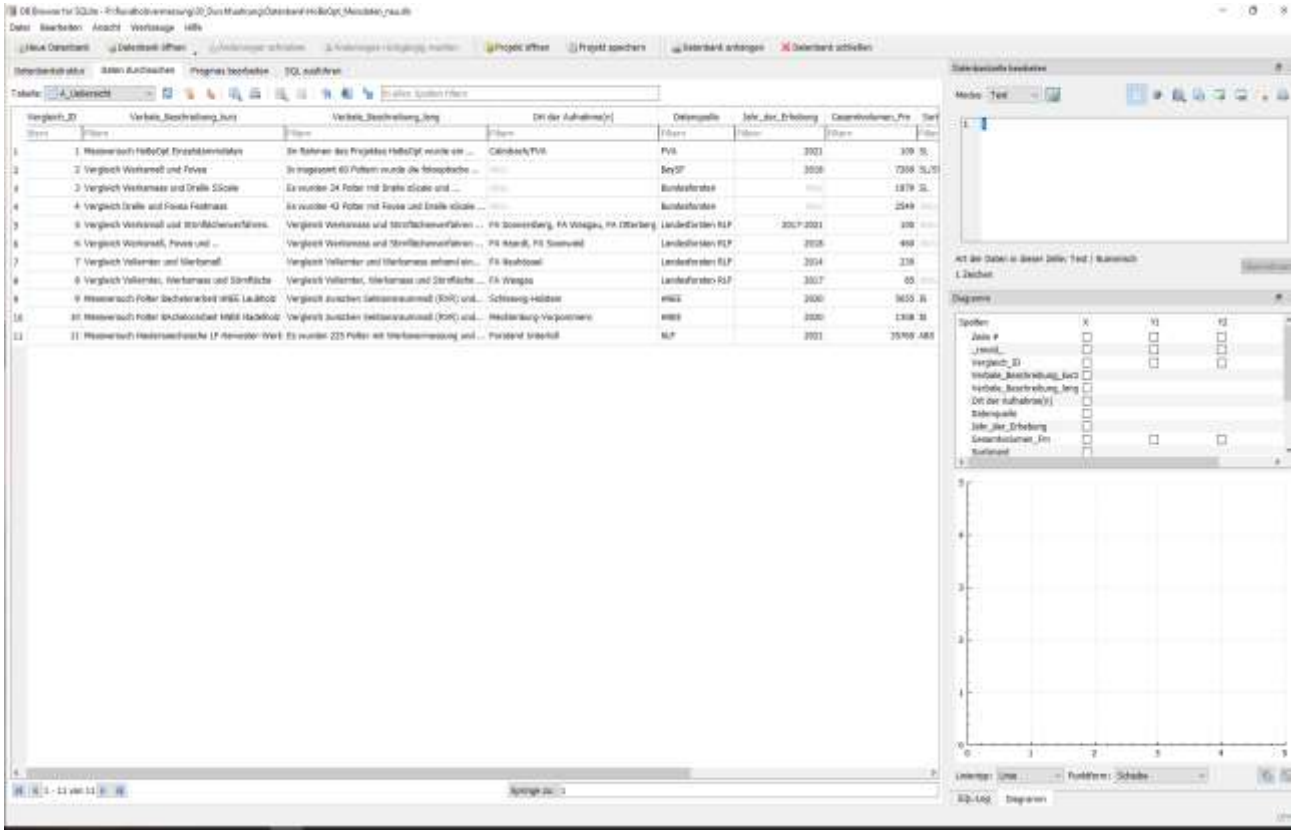


Abbildung 4 Übersicht der eingepflegten Poltermessdaten in SQLIte

Arbeitspaket 3: Analyse und Bewertung von Rundholzmessverfahren

Neu TAP 3.1: Akzeptanzanalyse zu Rundholzmessverfahren (statt TAP 5.3)

Ausgehend von den in den TAP 5.1 und 5.2 gewonnenen Erkenntnissen zu fehlenden Akzeptanzproblemen bezüglich der in den Holzeinkaufs- und Holzverkaufsprozessen eingesetzten Messverfahren war im Projektverlauf festzustellen, dass eine entsprechende Notwendigkeit zur Durchführung der im TAP 5.3 vorgesehenen Akzeptanzanalysen nicht gegeben war. Unbenommen dessen zeigte sich im AP 3, TAP 3.3: „Lastenheft fotooptische Messverfahren“ ein Bedarf zur Erhebung ergänzender Informationen zu den im Prozess eingesetzten Maßermittlungsverfahren. Die im AP 5 geplanten Befragungen wurden daher an die Bedarfe des AP 3 angepasst und entsprechend begleitend zur „Erstellung des Lastenheftes für fotooptische Messverfahren“ durchgeführt und ausgewertet.

Zielsetzung: Die Akzeptanz der verschiedenen Rundholzmessverfahren und der daraus resultierenden veränderten Holzeinkaufsprozesse bei relevanten Akteuren der Forst-Holz-Kette sollten in einem breiten Kreis mit Praktikern evaluiert und analysiert werden. Auf dieser Basis sollte in einem nächsten Schritt zielgerichtete Maßnahmen zur Erhöhung der Akzeptanz bzw. zum Abbau von Vorbehalten gegenüber einzelnen Maßermittlungsverfahren und veränderten Holzeinkaufsprozessen entwickelt und implementiert werden.

Einleitung, Material, Methodik und Ergebnisse: Ein Ziel des Projektes war es, die vorhandenen Wissenslücken innerhalb von Verkaufs- und Einkaufsprozessen der Rohholzbereitstellenden und -verarbeitenden Industrie zu schließen. Das KWF erstellte einen ersten Entwurf der Umfrage und finalisierte diesen nach Rückmeldung der Projektpartner in einem Workshop mit den Projektpartnern (IFF, AGR, HNEE). Die Umfrage beruhte auf der Methode des Mixed-Methods, somit wurde qualitative als auch quantitative Forschung miteinander verbunden. Die Umfrage wurde durch die sozialen Mediakanäle des KWF, in der Zeitschrift PROWald und durch E-Mail-Verteiler der AGR, des StA RVR und des DFWR versandt. Insgesamt haben 65 Teilnehmer, davon 13 von der Holzwirtschaft und 52 von der Forstwirtschaft teilgenommen.

In der Quantitativen Forschung, die aus Multiple-Choice-Fragen bestand, wurden die Teilnehmer zum Volumen des Ver- und Einkaufes ihres Rohholzes befragt, ob die Teilnehmer zur Herleitung von Abrechnungsmaßen mittels des Sektionsraummaßverfahrens und fotooptischer Vermessungsverfahren Reduktionsverfahren verwenden und bei wieviel Prozent die Polterrückseitenvermessung vermessen wird.

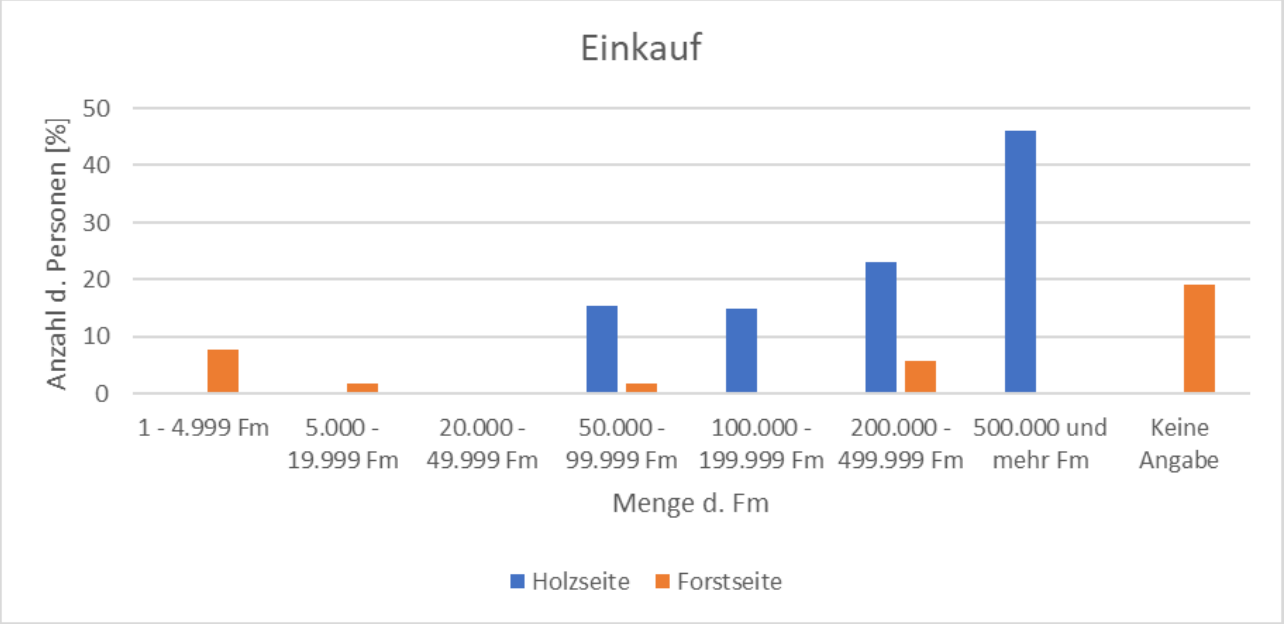


Abbildung 5 Ergebnis der Frage, wie viel Rohholz in dem Unternehmen, in dem die Teilnehmenden tätig sind, eingekauft wird, differenziert von der Holz- und Forstwirtschaft, Anzahl in [%]

8 % der Personen, die im Forstwirtschaftssektor tätig sind, kaufen zwischen 1- 4.999 Fm Rohholz, 2 % zwischen 5.000- 19.999 Fm Rohholz, 2% zwischen 50.000- 99.999 Fm Rohholz, 6% zwischen 200.000- 499.999 Fm Rohholz und 19% machten keine Angabe. 15 % der Teilnehmer, die im Holzwirtschaftssektor tätig sind, kaufen zwischen 50.000- 99.999 Fm Rohholz ein, 15% zwischen 100.000- und 199.999 Fm Rohholz, 23% % zwischen 200.000 und 499.999 Fm Rohholz. 46% 500.000 Fm Rohholz und mehr. Die restlichen Teilnehmer machten zu dieser Frage keine Angabe (s. Abb. 5).

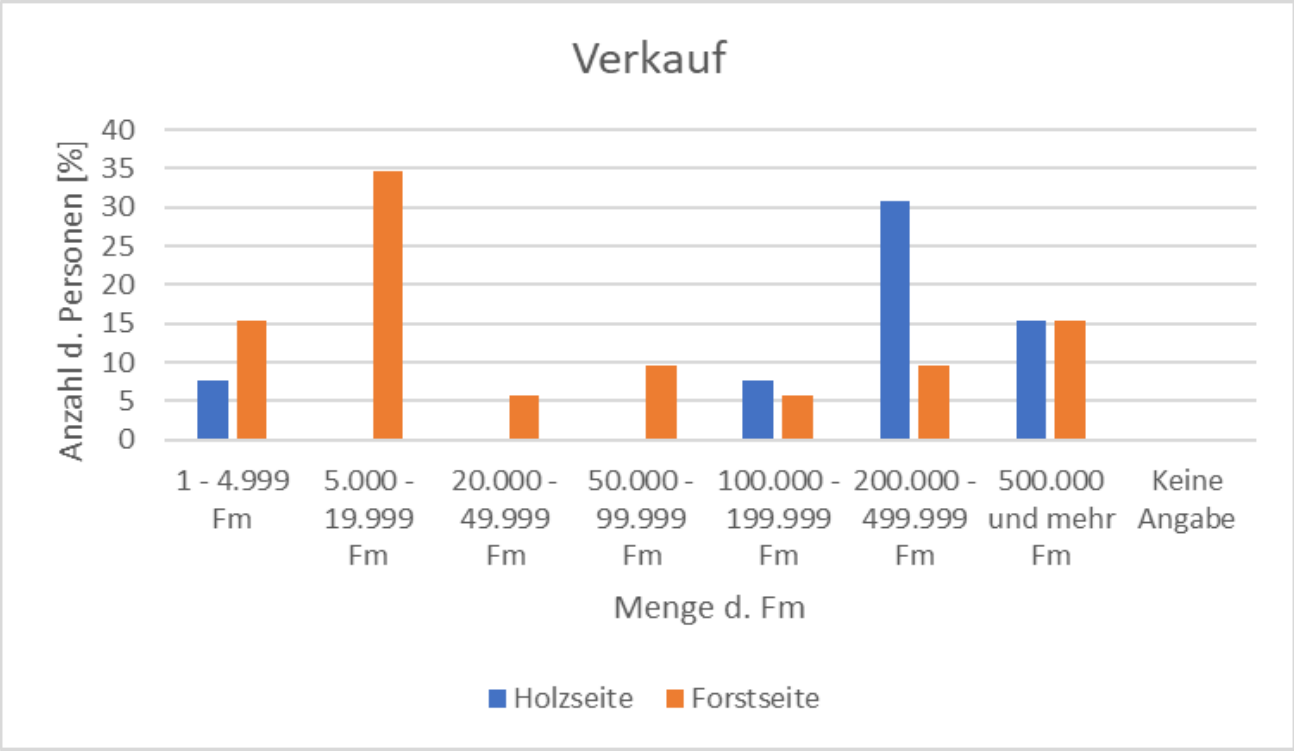


Abbildung 6 Ergebnis der Frage, wie viel Rohholz in dem Unternehmen, in dem die Teilnehmenden tätig sind, verkauft wird, differenziert von der Holz- und Forstwirtschaft, Anzahl in [%]

15% der Teilnehmer aus der Forstwirtschaft verkaufen zwischen 1- 4.999 Fm Rohholz, 35 % zwischen 5.000- 19.999 Fm Rohholz, 6% zwischen 20.000- 49.999 Fm Rohholz, 10% zwischen 50.000- 99.999 Fm Rohholz, 6% zwischen 100.000- 199.999 Fm Rohholz, 10% zwischen 200.000- 499.999 Fm Rohholz und 15% der Teilnehmer verkaufen mehr als 500.000 Fm Rohholz. 8% der Teilnehmer aus dem Holzwirtschaftssektor verkaufen zwischen 1- 4.999 Fm Rohholz, 8 % zwischen 100.000- 199.999 Fm Rohholz, 31% zwischen 200.000- und 499.999 Fm Rohholz und 15% mehr als 500.000 Fm Rohholz. Die restlichen Teilnehmenden machten zu dieser Frage keine Angabe (s. Abb. 6).

Die qualitative Forschung, bei der der Fokus auf die individuellen Antworten einzelner Personen lag, beinhaltete einen allgemeinen Teil für die Abfrage der Geschäftsfelder, der Position im Unternehmen und dem Bundesland, in dem sich das Unternehmen oder der Betrieb befindet.

Über 40 % der Teilnehmer aus der Forstseite sind in der Privatwaldbewirtschaftung tätig, 21 % im Kommunalwaldwald bzw. Körperschaftswaldbewirtschaftung, 19 % bei der Bundes-/Landes-waldbewirtschaftung, 13 % bei FBG/FWV oder anderen Forstwirtschaftlichen Zusammenschlüssen und 5 % beim Rohholzhandel und 1 % in der Energiewirtschaft. 11 % der Teilnehmenden aus der Holzseite sind beim Rohholzhandel beschäftigt, 28 % in der Sägeindustrie (Nadelholz), 6 % in der Sägeindustrie (Laubholz), 6 % in der Holzwerkstoffindustrie, 33 % in der Papier- und Zellstoffindustrie und 6 % in der Energiewirtschaft.

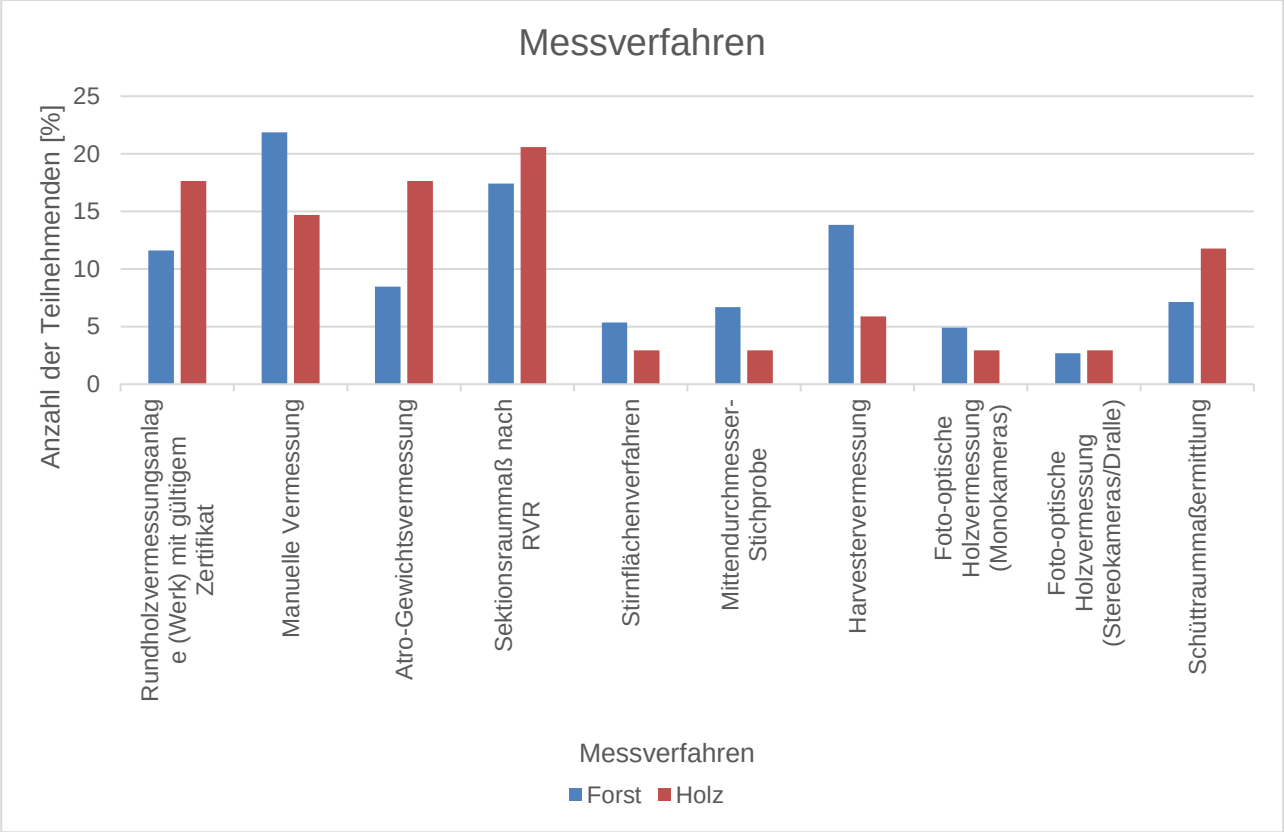


Abbildung 7 Ergebnis der Frage, welche Messverfahren in den jeweiligen Betrieben der Teilnehmenden eingesetzt werden. Die Ergebnisse wurden zwischen Forst- und Holzseite differenziert dargestellt.

Im zweiten Teil mussten die Teilnehmer Fragen zu deren eingesetzten Holzmessverfahren, bzw. warum und für welche Zwecke diese eingesetzt werden, zu den zu vermessenden Sortimente und nach welcher Einheit das Holz in deren Betriebe ver- und gekauft werden, beantworten. 22 % der Teilnehmenden aus der Forstseite nutzen die Manuelle Vermessung, 17 % das Sektionsraummaßverfahren, 14 % die Harvestervermessung. 21 % Teilnehmende von der Holzseite nutzen das Sektionsraummaßverfahren, 17 % die Atro- Gewichtsvermessung, 17 % die Rundholzvermessungsanlage und 15 % die Manuelle Vermessung. Die restlichen Teilnehmenden nutzen das Stirnflächenverfahren, die Mittendurchmesserstichprobe, fotooptische Messverfahren (Stereokamerasystem), fotooptische Messverfahren (Monokamerasysteme) und die Schüttraummaßermittlung (s. Abb. 7).

Eine wichtige Frage war außerdem, ob für die Teilnehmenden auch andere Verfahren in Frage kämen und wenn ja, welche. Aus dem Ergebnis ging heraus, dass die Teilnehmenden an fotooptischen Messsystemen sehr interessiert sind, sie jedoch nicht nutzen, da die Monokamerasysteme nicht geeicht sind. Im zweiten Teil des Fragebogens wurden Fragen zu den gesetzlichen Grundlagen, die zur Festlegung abrechnungsrelevanter Verfahren bzw. zur Unterscheidung von Verkaufs- und Kontrollmaßnahen führen, gestellt. Zudem gab es eine Frage zu Berechnungsmethoden zur Volumenermittlung laut Werkseingangsmaß nach RVWV, ob als Holzverkäufer bei der Abrechnung von Rundholz nach Werksmaß zusätzlich Kontrollmessungen im Wald für den internen Gebrauch durchgeführt werden und wenn ja, nach welcher Methode.

Aus der Umfrage ging hervor, dass die Akzeptanz der Verfahren nicht das eigentliche Problem ist, sondern im Bezug zur Fotooptik noch einige Wissenslücken vorhanden sind und das Thema von hohem Interesse ist. Um die breite Masse mit dem Thema rund um die fotooptischen Messsysteme zu bedienen, war ein Stand auf der KWF-Tagung 2020 geplant. Coronabedingt fiel diese und auch die Verschiebung in das Jahr 2021 aus.

Die Befragung lief parallel zu der Bearbeitung des Lastenheftes und so kam man zu dem Ergebnis, dass das Lastenheft, das im Arbeitspaket 3.3 erarbeitet wurde, eine wichtige Maßnahme darstellt, um den Bekanntheitsgrad der fotooptischen Messsysteme zu steigern und Wissenslücken zu schließen.

TAP 3.2: Bewertung von Maßermittlungsverfahren

Die FVA wird aufgrund der verzögerten Datenbereitstellung durch Projektpartner dieses Teilarbeitspaket in der verbleibenden Projektarbeitszeit (FVA) bearbeiten und die Ergebnisse nach Fertigstellung des Abschlussberichtes mit einem Ergänzungsbericht vorlegen.

TAP 3.3: Lastenheft fotooptische Messverfahren

Zielsetzung: Das Ziel dieses Teilarbeitspaketes war die Zusammenfassung und Beschreibung der allgemeinen und technischen Anforderungen einer fotooptischen Poltervermessung für die Anwendung in der Praxis. Für alle Prozessbeteiligten der Holzlogistik (forstliche Auftraggeber, Dienstleistungsunternehmer, Abnehmer aus Säge- und Holzindustrie) sollte der aktuelle Sachstand der technischen Entwicklungen im Bereich der fotooptischen Poltervermessung unter besonderer Berücksichtigung der Ergebnisse aus der Projektgruppe Holzvermessung des Regelermittlungsausschusses zusammengefasst und verständlich aufbereitet werden.

Einleitung, Material, Methodik und Ergebnisse: Die Mitarbeiter des KWF fuhren, gemeinsam mit einem Vertreter der HNEE am 28. Januar 2020 nach Uslar (Schoningen) zu der Firma FOVEA, um eine Schulung über die App zu bekommen und die Informationen mit in das Lastenheft einfließen zu lassen. Um das System sScale auszuprobieren und zu verstehen, kam zweimal ein Mitarbeiter der Firma Dralle in das KWF und demonstrierte die Funktionsweise der Stereokamera. Außerdem wurde während der Projektlaufzeit von der Firma HD Silva ein neues, geeichtes fotooptisches Vermessungssystem auf den Markt gebracht. Aufgrund von Corona konnte mit HD Silva kein persönliches Treffen stattfinden. Stattdessen wurde zu diesem System ein Online-Workshop gehalten, an dem auch ein Mitarbeiter der AGR teilnahm. HD Silva präsentierte das System zudem im Januar 2022 an der HNEE. Gemeinsam mit der AGR, HNEE und FVA wurde ein erster Entwurf des Lastenheftes erstellt. Der Entwurf des Lastenheftes wurde in zwei Sitzungen des StA RVR vorgestellt und anschließend diskutiert. Der finale Entwurf wurde in einem Workshop, an dem alle Projektpartner teilnahmen, verfasst. Anschließend wurde der finale Entwurf an die Hersteller und Praxispartner versandt, um etwaige Korrekturen vorzunehmen. Weitere Rückmeldung von Mitgliedern des StA RVR wurden eingeholt und eingearbeitet.

Das Lastenheft gibt keine Empfehlung, welches System die höchste Messgenauigkeit oder einfachste Handhabung hat, sondern dient als Beschreibung und Anleitung der verschiedenen Stereo- und Monokamerasysteme in der Praxis (s. Abb.8).

Inhalt

1 Vorwort und Zielsetzung 2

2 Fotooptische Messsysteme 3

2.1 Monokamerasysteme 4

2.2 Stereokamerasysteme 4

3 Zielgrößen 5

4 Anwendungs- und Verwendungsbereich 5

5 Polterqualität und Umweltbedingungen 6

5.1 Mindestanforderungen 6

5.2 Empfehlungen 6

6 Durchführung der Messung 7

6.1 Monokamerasysteme 7

6.2 Stereokamerasysteme 8

6.2.1 Fahrzeug geführtes Stereokamerasystem 8

6.2.2 Manuell geführtes Stereokamerasystem 9

6.3 Volumenberechnung 9

Abbildung 8 Inhaltsverzeichnis des Lastenheftes „Fotooptische Poltervermessung“

Zudem wurde eine Internetseite eingerichtet, um sich einen Überblick über die aktuell am Markt befindlichen fotooptischen Messsysteme zu verschaffen (https://kwf2020.kwf-online.de/marktübersicht/).

Das Lastenheft wurde zur Evaluation an Praxispartner, die Hersteller sowie die Mitglieder des StA RVR gesendet. Von den Praxispartnern und den Herstellern wurden Korrekturen am Lastenheft sowie an der Homepage vorgenommen.

Die Rückmeldungen von den Praxispartnern sowie den Herstellern und den Mitgliedern des StA RVR wurden evaluiert und übernommen, sofern die Richtigkeit festgestellt wurde.

Das Lastenheft wurde mit einer Auflage von 200 Stück als Broschüre gedruckt und kann auf https://kwf2020.kwf-online.de/lastenheft-whitepaper/ abgerufen werden.

Im Zuge der Bearbeitung des Lastenheftes eröffnete sich die Fragestellung, welche Auswirkung die Berücksichtigung der Polterrückseite auf das Poltervolumen bei der der Raummaßermittlung hat. Die Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel in Deutschland (RVR) sieht bei der Ermittlung des Sektionsraummaß (SRM) und damit folgerichtig für die fotooptische Holzvermessung einen Mittelwert aus

der Polterfrontfläche und der Polterrückfläche vor. Die Vorgabe resultiert aus der Annahme, dass die gemittelte Fläche aus Polterfront- und Polterrückseite zu einer genaueren Volumenermittlung führt. So fordern einzelne Industriepartner die Berücksichtigung der Rückseite ab 3.65 m Polterlänge. Die Fragestellung wurde im Rahmen eines Whitepapers zusammen mit einem Vertreter der HNEE beantwortet. Dazu wurden 140 Polter, welche mittels Sektionsraummaß (SRM) vom KWF, der HNEE und Thüringen Forst vermessen wurden, statistisch ausgewertet und analysiert. Dabei wurde die relative und absolute Abweichung im Sektionsraummaß zwischen der Volumenermittlung auf Basis der Vorderseite und auf Basis des Mittelwerts aus Vorder- und Rückseite ermittelt. Die relativen Abweichungen zwischen a) dem Sektionsraummaß, ermittelt mit der Poltervorderseite, und b) dem Sektionsraummaß, ermittelt mit der Poltervorder- und Polterrückseite, zeigen, dass sowohl negative als auch positive Abweichungen auftreten. Dadurch war die durchschnittliche relative Abweichung bei Poltern über 20 Rm m.R. mit + 0,7 % gering, jedoch sind Unterschiede zwischen den vier Datenherkünften vorhanden. Die absolute Abweichung zeigt, dass im Vergleich zu einer Raummaßermittlung mittels der Poltervorder- und Rückseite nach RVR die ausschließliche Betrachtung der Vorderseite bei der Raummaßermittlung zu Volumenunterschieden (in Rm m.R.) von durchschnittlich 3,6 % und in Einzelfällen von über 10 % führt. Darüber hinaus stellte sich heraus, dass die Abweichungen (sowohl relativ als auch absolut) bei Poltern über 20 Rm m.R. geringer ausfallen als bei kleineren Poltern. Die von der RVR vorgeschlagene Mindestpoltergröße von 20 Rm m.R. scheint auch bei diesen Untersuchungen als Mindestanforderung gut geeignet zu sein, wobei eine weitere Grenze um die 40 Rm m.R. aus der Abbildung 4 als sinnvoll hervorgeht.

Daher lautet die Empfehlung, dass bei der Aufnahme vieler Polter auf die Aufnahme der Polterrückseite verzichtet werden kann, da die durchschnittliche relative Abweichung des Volumens unter Einbezug der Vorderseite im Vergleich zur Ermittlung des Volumens auf Basis von Vorderseite und Rückseite bei der Aufnahme vieler Polter lediglich +1,3 % beträgt. Bei der Aufnahme von wenigen oder einzelnen Poltern ist die Berücksichtigung der Rückseite bei Volumenberechnung dringend empfohlen. Auch bei kleinen Poltern mit einem Volumen unter 20 Rm m.R. sollte zusätzlich die Rückseite vermessen werden, da die ausschließliche Vermessung der Vorderseite zu einer höheren Abweichung bei der Volumenermittlung führen kann.

Das Whitepaper liegt der 1. Auflage des Lastenheftes “Fotooptische Poltervermessung” bei und kann auf 20220727_FTI_Whitepaper_Polterrueckseite_FTI_AK_FINAL.pdf (kwf-online.de) abgerufen werden. Das Whitepaper wird auch nach dem Abschluss des Projekts noch weiter aktualisiert werden.

TAP 3.4: Prüfung und Weiterentwicklung der Algorithmen zur Krümmungsermittlung bei der Werkseingangsvermessung von Stammholz

Zielsetzung: Für das im Werk automatisiert messbare Qualitätskriterium Krümmung werden bestehende und alternativ zu entwickelnde Messverfahren programmiert und in ein Simulationsmodell integriert. Auf Basis eines repräsentativen Datenpools werden diese Messverfahren zur Krümmungsermittlung simuliert und analysiert. Die programmierten, simulierten und weiterentwickelten Messverfahren für die automatisierte Krümmungsbestimmung bei Nadelstammholz am Werkseingang werden hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit im Echtbetrieb geprüft. Die Ergebnisse werden umfänglich dargestellt und es wird eine breite Informationsbasis für alle beteiligten Akteure geschaffen; für die Praxis werden konkrete Handlungsempfehlungen erarbeitet; geeignete Publikationen werden erstellt.

Einleitung, Material, Methodik und Ergebnisse: In Deutschland regelt die DFWR/VDS-Rahmenvereinbarung [Version 2005-01-14] seit 2005 als privatrechtliche Vertragsgrundlage die Werksvermessung von Stammholz. Für die Krümmungsermittlung stehen laut dieser Vereinbarung „bis zum Vorliegen ausreichender Praxiserfahrungen“ zwei zulässige Verfahrensvarianten zur Verfügung. Für eine dieser Varianten sollte durch den Arbeitskreis Werksvermessung bis zum 31.06.2006 eigentlich eine Empfehlung ausgesprochen worden sein, auf dessen Basis das „bessere“ Verfahren endgültig in die Rahmenvereinbarung aufgenommen werden sollte. Bis heute sind allerdings beide Verfahren bei Neuzulassungen von Vermessungsanlagen möglich, eine umfassende Analyse der beiden Berechnungsvarianten (und ggf. zusätzlicher Methoden) ist bislang in Deutschland nicht erfolgt. Insgesamt wurden im Projekt durch die FVA sechs verschiedene Algorithmen entwickelt, programmiert und verglichen (4, detaillierte Beschreibung der Verfahren in Gorges, Huber et al. (2021)), darunter auch die zwei in der RV WV beschriebenen Ansätze (Konturverfahren und Segmentverfahren) und ein Verfahren nach österreichischem Vorbild (ÖNORM L1021). Ebenso wurden die Stammmerkmale Mittendurchmesser, Zopfdurchmesser und Abholzigkeit für die untersuchten Beispielstämme berechnet.

Tabelle 4: Kurzzusammenfassung der Krümmungsalgorithmen und anderer Stammmerkmale

Merkmal	Berechnung/Bestimmung	Einheit
Mittendurchmesser	nach RV WV als Mittelwert zweier gemessener Durchmesser (in festen Ebenen) in der Sortenmitte	cm
Zopfdurchmesser	nach RV WV als Mittelwert zweier gemessener Durchmesser (in festen Ebenen) am schwächeren Ende eines Stammes	cm
Abholzigkeit	nach RV WV (Variante 2) als mittlere Abnahme des Stammdurchmessers gemessen in 50 cm Schritten entlang der Stammlänge	cm/m ≙ %
cur_contour	nach RV WV (Variante 1) als maximale Pfeilhöhe ermittelt auf Basis der Stammkontur geteilt durch die Stammlänge	cm/m ≙ %
cur_segment	nach RV WV (Variante 2) als mittleres Pfeilhöhen-Durchmesser-Verhältnis gemessen in 50 cm-Schritten entlang der Stammlänge	%
cur_center	berechnet aus einer Pfeilhöhe basierend auf einer axialen Mittellinie (Massenschwerpunkte) durch den Stamm dividiert durch die Stammlänge	cm/m ≙ %
cur_ellipse	berechnet aus einer Pfeilhöhe basierend auf einer axialen Mittellinie (Ellipsenpassungen) durch den Stamm dividiert durch die Stammlänge.	cm/m ≙ %

cur_differential	differentieller Ansatz, der die mittlere mathematische Krümmung der Mittellinie durch Differenzenquotienten annähert	mm^{-1}
cur_Austria	berechnet als Pfeilhöhe basierend auf der axialen Mittellinie (Schwerpunkt) durch den Stamm geteilt durch den Stammdurchmesser (österreichischer Ansatz)	mm/cm ≙ %
Krümmungstyp	visuell in drei verschiedene Klassen eingeteilt (Gerade, Endkrümmung, Banane, Mehrfachkrümmung)	-

Da sich im Laufe der Projektbearbeitung herausstellte, dass nicht nur ein Krümmungswert, sondern auch verschiedene Krümmungstypen (einfach gekrümmt, mehrfach gekrümmt usw.) bei der Qualitätsbeurteilung von Stammabschnitten verwendet werden könnten, wurde an der FVA ein Algorithmus entwickelt, der verschiedene Krümmungstypen aus den 3D-Laserdaten der Werksvermessung automatisch herleiten kann.

Die Verfahren wurden sowohl untereinander durch die Analyse von Korrelationen, als auch anhand einer Ausbeutesimulation der Einzelstämme miteinander verglichen und bewertet. Die Grundidee hierbei war, dass der Krümmungswert, der in einem multiplen Regressionsmodell mit der simulierten Ausbeute als Antwortvariablen (Ausbeute ~ Krümmung + Abholzigkeit + Zopfdurchmesser + …) zum besten Modellfit führt, die äußere Form des Stammes am besten beschreibt.

Für die Entwicklung und Überprüfung der Verfahren/Algorithmen wurden insgesamt 269 entrindete Kurzholzabschnitte der Baumarten Eiche (50 Stück), Fichte (87 Stück) und Kiefer (132 Stück) händisch und elektronisch an der FVA vermessen (5).

Tabelle 5: Übersicht der vermessenen Stämme

Baumart	Anzahl Stämme	Mittendurchmesser [cm] (sd)	Physikalisches Volumen [m³] (sd)
Fichte	87	23,7 (3,8)	0,17 (0,06)
Eiche	50	20,9 (3,1)	0,14 (0,04)
Kiefer	132	30,0 (4,7)	0,29 (0,09)

.

Die Fichten wurden über einen Zeitraum von mehreren Wochen auf dem Rundholzplatz eines süddeutschen Sägewerkes im laufenden Betrieb nach der Eigenschaft „besonders krumm“ gesammelt und anschließend auf den Rundholzplatz der FVA transportiert. Die Kiefern entstammen verschiedenen Beständen unterschiedlicher Waldbesitzer aus dem kleinen Wiesental in Baden-Württemberg, die Eichen wurden in einem Bestand im südlichen Rheinlad-Pfalz entnommen. Datengrundlage für die Entwicklung der Krümmungsalgorithmen waren 3D-Punktwolken, die mithilfe einer Vermessungsanlage des Typs DiShape der Firma Microtec an der FVA in Freiburg erzeugt wurden. Die Anlage liefert Scheibendaten im Abstand von etwa 5 mm in Längsrichtung, wobei eine Scheibe aus 360 Punkten mit durchschnittlich einem Grad Abstand zueinander besteht. Zusätzlich zur elektronischen Vermessung wurden alle untersuchten Stämme manuell nach dem Verfahren der RVR vermessen. Der einzige Unterschied bestand in der

Einrückung: um eine spätere Vergleichbarkeit der Ergebnisse der manuellen Messung mit den Krümmungswerten des Konturverfahrens nach RVWV zu erhalten, wurde stockseitig eine Einrückung von 0,5 m (anstelle von 1,0 m nach RVR) vorgenommen. Die manuelle Vermessung erfolgte im 2-Mann Verfahren, aufgenommen wurden die Parameter physikalische Länge [m], Sortenlänge [m], physikalischer Mittendurchmesser nach Kreuzkluppung [cm], Pfeilhöhe [mm] und Position der Pfeilhöhe als Abstand zur Stirnfläche (Stock).

Die Auswahl der Krümmungstypen basierte sowohl auf der bisherigen Literatur zu diesem Thema als auch auf dem verwendeten Untersuchungsmaterial. Abbildung 8 zeigt die vier von uns identifizierten Typen: „Gerade“, „Banane“, „Endkrümmung“ und „Mehrfachkrümmung“. Die von Gjerdrum, Warensjö et al. (2001) definierten Typen V (Angular Sweep) und Z (Cross Sweep) wurden aufgrund der Seltenheit ihres Vorkommens den anderen Klassen (Banane oder Mehrfachkrümmung) zugeordnet (wir beobachteten nur zwei Eichenstämme, die visuell als Typ 4 klassifiziert werden konnten und eine Kiefer, die in unserem Material als Typ 5 eingestuft werden konnte).

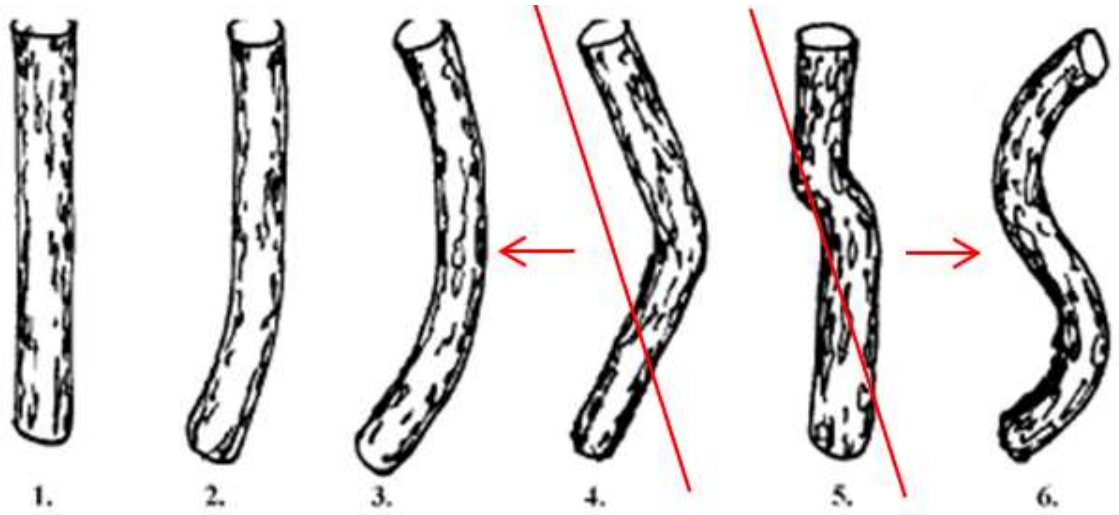


Abbildung 9: Reduktion der Krümmungstypen nach Gjerdrum et al. (2001) von sechs auf vier. Tritt in der Analyse Typ 4 (V) auf, wurde er der Klasse 3 (Banane) zugeordnet, trat Typ 5 (Z) auf, wurde er der Mehrfachkrümmung zugeordnet.

Die automatische Klassifizierung der Krümmungstypen wurde mit Entscheidungsbäumen unter Verwendung des C5.0-Algorithmus durchgeführt und in der Statistiksoftware R (R Version 4.0) mit dem C50-Paket (Kuhn, Weston et al. 2020) implementiert. Zur Beschreibung des Krümmungsverlaufes auf Basis der gefilterten Messdaten wurde die Krümmung (cur) nach dem Center-Mass-Ansatz als maximale Bogenhöhe dividiert durch die Länge des Stammes berechnet. Außerdem wurde die Position (pos) der maximalen Bogenhöhe als Abstand vom Stockende bestimmt. Neben diesen beiden Parametern wurden die Größen n_cells, n_changes und sum_cur entwickelt (Abbildung 9). Für die Berechnung des Wertes n_cells wurde der Querschnitt des Stammes virtuell in 360 Zellen aufgeteilt, die jeweils einen Grad voneinander entfernt sind. Die Summe aller Zellen, die von der Mittellinie entlang der gesamten Länge des Stammes geschnitten werden, ergibt einen Wert zwischen 1 und 360. Die Häufigkeit der Änderungen zwischen den vier Quadranten eines Querschnitts wird beschrieben durch n_changes. Die Summe der geschnittenen Quadranten mit n_fields. sum_cur beschreibt den durchschnittlichen Krümmungswert entlang des gesamten Stammes nach. N beschreibt der Anzahl der Scheiben (Messebenen) und cur_i dem entsprechenden Krümmungswert.

	$sum_cur = \frac{\sum_{i=1}^{n} cur_i}{n}$	(4)

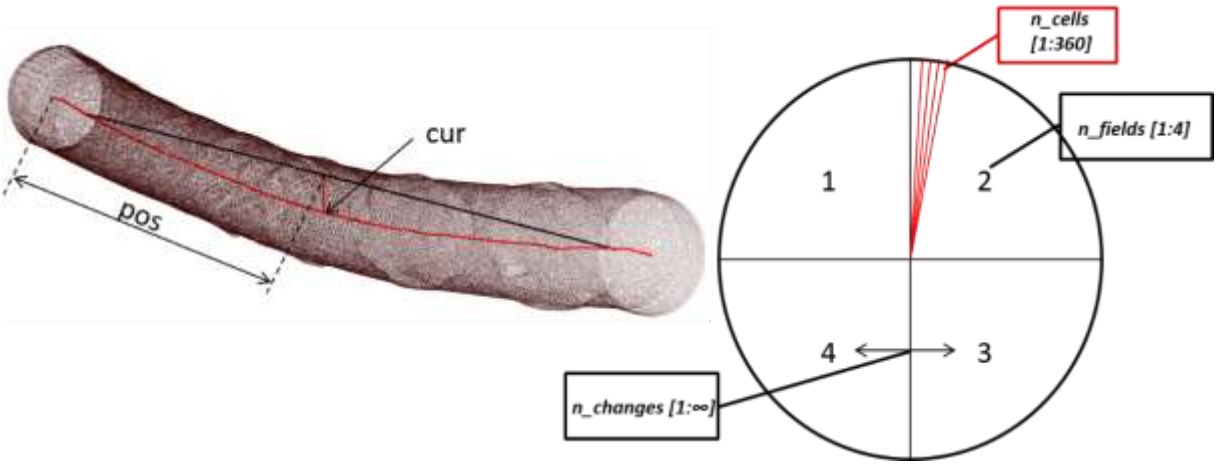


Abbildung 10: Prädiktoren, die aus den 3D-Daten abgeleitet und für das Klassifikationsmodell verwendet wurden. Das linke Bild zeigt die Position der maximalen Bogenhöhe, die dividiert durch die Stammlänge den Krümmungswert ergibt, das rechte Bild veranschaulicht die Berechnung von n_cells, n_fields und n_changes.

Mit dem Ziel praxisnahe Ansätze abzubilden, wurden für die Ausbeutesimulation in Zusammenarbeit mit der Sägeschule Rosenheim zwei verschiedene Szenarien von Schnittbildern definiert. Zielgröße waren einerseits 30 mm dicke Bretter mit unterschiedlicher Brettbreite (17 Schnittbilder, Szenario 1), andererseits unterschiedliche Kombinationen von Kanthölzern (Szenario 2). Die Simulationen wurden im Programm *Maxicut* (Abbildung 10) durchgeführt, das von Microtec Srl. (Brixen, Italien) entwickelt wurde. Basierend auf 3D-Punktwolken der Stämme (in unserer Studie ~300.000 Datenpunkte pro Stamm) und den vordefinierten Schnittbildern ermittelt das Programm den optimalen Einschnitt (in Bezug auf Volumenausbeute oder Wertausbeute bei Berücksichtigung der Produktpreise) für jeden Einzelstamm.

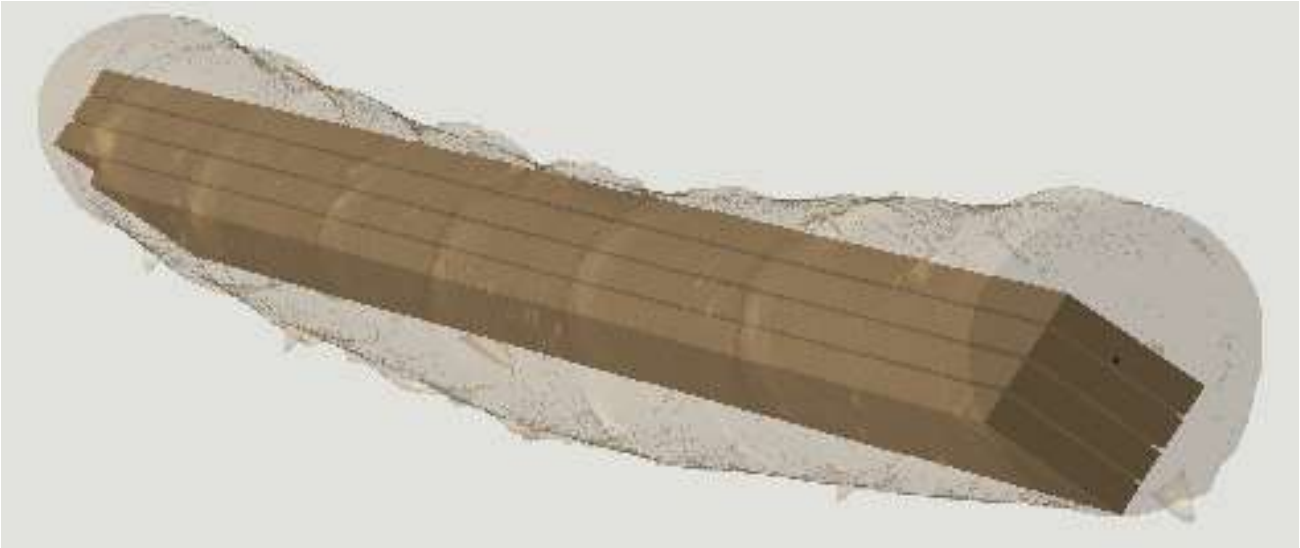


Abbildung 11: Beispiel einer Ausbeutesimulation für einen 5,08 m langen Kiefernstamm in Maxicut. Für diesen Stamm führten 4 Bretter (169 x 35 mm) zur maximalen Volumenausbeute.

Für den Vergleich aller Ansätze wurden die Krümmungswerte mit den aktuellen Standards für die Einrückungen der RV WV berechnet (500 mm am Stockende, 0 mm am Zopfende). Die Mittellinien wurden unter Verwendung eines 10 cm-Intervalls für den gleitenden Mittelwert geglättet; die akzeptierte Krümmung für die Segmentmethode wurde auf 0 gesetzt. Die höchste Korrelation zwischen einem Algorithmus und der manuellen Messung konnte für den Ansatz auf Basis der Ellipsenfits und dem Konturverfahren (ρ=0.94) gefunden werden, gefolgt vom Mittellinienansatz auf Basis der Schwerpunkte (ρ=0.93), dem Segmentansatz (ρ=0.79) und dem Differentialverfahren (ρ=0.70) (Abbildung 11). Auffallend ist auch, dass die Arten in allen außer dem differentiellen Ansatz keinen entscheidenden Einfluss auf die Beziehung zwischen zwei Methoden haben (visuell ausgedrückt durch eine Mischung der Arten innerhalb der Punktwolken).

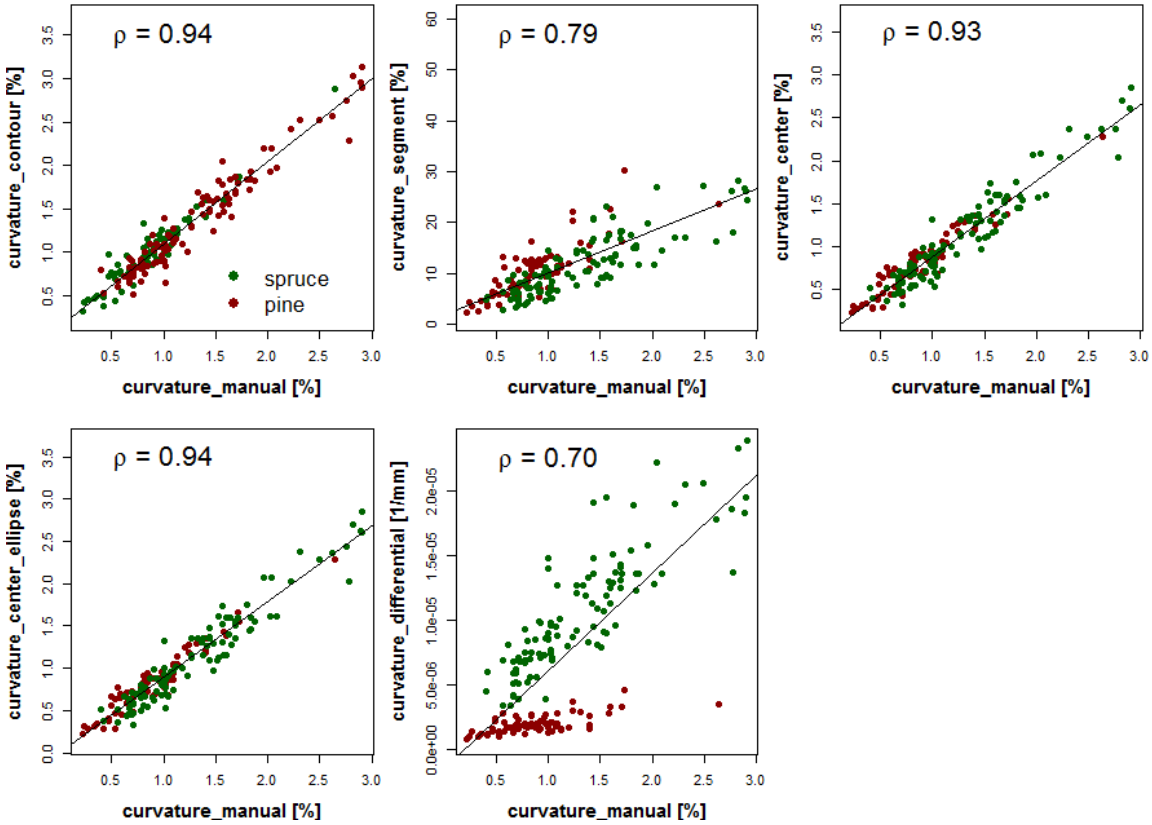


Abbildung 12: Vergleich der manuellen Messung mit den fünf Algorithmen. Sowohl die x- als auch die y-Achse zeigen die Krümmungswerte (in unterschiedlichen Einheiten) nach dem entsprechenden Verfahren für die beiden Baumarten Fichte und Kiefer. Eine Gerade mit einer Steigung von 1 würde einen perfekt geraden Stamm repräsentieren.

Da bei 23 von 269 Stämmen die Ausbeutesimulation keinen Wert lieferte, weil die Stämme zu krumm waren, um eines der Schnittmuster mit einer Produktlänge von 2 m zu realisieren, liegen diesem Szenario insgesamt 246 Stämme zugrunde. Die Simulation ergab eine durchschnittliche Volumenausbeute der Hauptware von 43,2 % für alle Stämme (44,8 % für Fichte, 45,6 % für Kiefer, 28,8 % für Eiche). Höhere Zopfdurchmesser führten zu höheren Ausbeuten, während die Abholzigkeit keinen signifikanten Einfluss auf den Umrechnungsfaktor zeigte (Abbildung 12). Über alle Arten war die Ausbeute bei Stämmen des Krümmungstyps 1 („gerade“: 48,9%) höher als bei Stämmen des Typs 3 („Banane“: 43%) und am niedrigsten bei Stämmen des Typs 5 („mehrfach gekrümmt“: 32,9%).

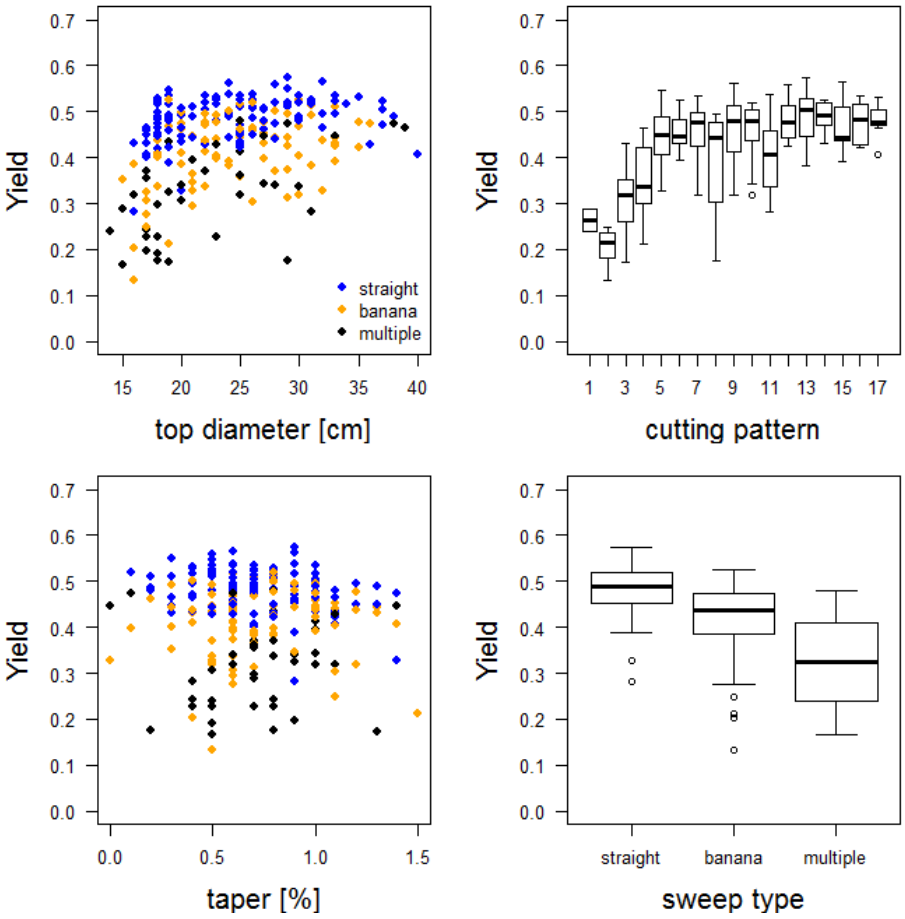


Abbildung 13: Einfluss der verschiedenen Prädiktoren auf die simulierte Ausbeute. Im Plot für den Zopfdurchmesser und die Abholzigkeit kennzeichnen die unterschiedlichen Farben die drei Krümmungstypen (1: Gerade, 3: Banane, 5: Mehrfachkrümmung).

Wenn nur die unterschiedlichen Ansätze zur Berechnung der Krümmung zur Beschreibung der Ausbeute (Ausbeute ~ Krümmung) verwendet werden, konnte der niedrigste AIC (und damit der beste Fit) für den österreichischen Ansatz gefunden werden, gefolgt vom Segmentansatz, dem Schwerpunktansatz, dem Konturalgorithmus und dem Differentialverfahren (Abbildung 13). Auffallend ist auch die oft geringere Ausbeute bei mehrfach gekrümmten Stämmen (schwarz) bei gleichem Krümmungswert in allen Ansätzen.

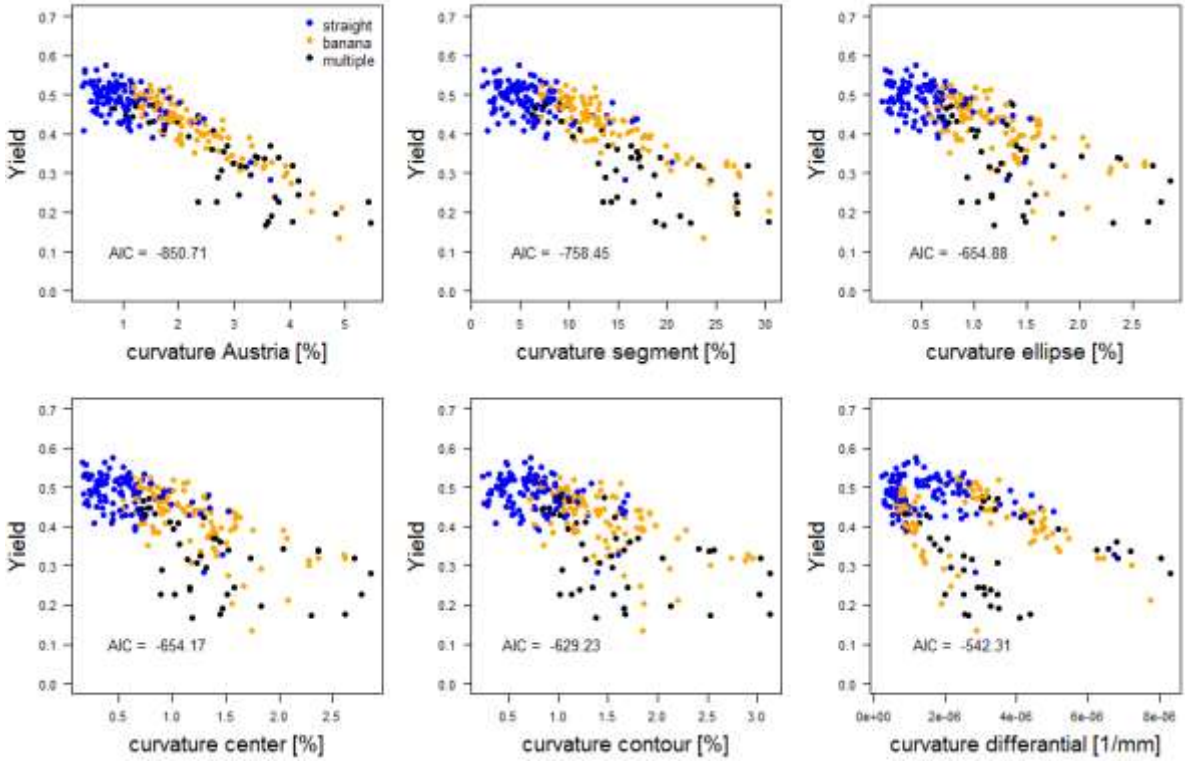


Abbildung 14: Einfluss der verschiedenen Prädiktoren auf den simulierten Ertrag der Sägestämme. Für Top-Durchmesser und Taper kennzeichnen unterschiedliche Farben die drei Sweep-Typen (1: Straight, 3: Banane, 5: Multiple Sweep).

Die Integration der Prädiktoren Krümmungstyp und Zopfdurchmesser führte zu niedrigeren AICs (bessere Modellanpassungen), während die Abholzigkeit die Genauigkeit nicht erhöhte und daher aus den Modellen entfernt wurde. cur_6 (nach Vorbild Österreich) zeigte immer noch die beste Modellanpassung (AIC: -904,85, R^2: 0,82) und war der einzige Ansatz, bei dem Krümmungstyp 5 (Mehrfachkrümmung) keinen signifikanten Einfluss auf die Ausbeute hatte. Für den derzeit in deutschen Sägewerken verwendeten Ansatz (cur_1) würde unser Modell für einen gleichmäßig gekrümmten Stamm (Typ 3) mit einem Krümmungswert von 1% und einem Zopfdurchmesser von 20 cm eine Ausbeute von 42% vorhersagen (Ausbeute = 0,37 – 0,11*1 + 0,02 + 0,007*20); wenn dieser Stamm hingegen mehrfach gekrümmt wäre (und alle anderen Prädiktoren konstant blieben), würde die Ausbeute um 14,3% auf 36% reduziert. Bei einfach gekrümmten Stämmen (Typ 3) führt eine Zunahme der Krümmung von 1 % auf 1,5 % zu einer Verringerung der Ausbeute um 13 % von 42 % auf 36,5 % (2,6 % pro 0,1 % Krümmung).

Tabelle 6: Zusammenfassung der Modellergebnisse für die sechs verschiedenen Krümmungsansätze (p<0,001*, p<0,01**, p<0,05*), die nach dem „Bottom-Up"-Prinzip für jeden Krümmungsansatz erstellt wurden. Für jeden Ansatz wird nur das Modell mit dem niedrigsten AIC angezeigt.**

model	intercept	cur.	banana	multiple curved	small end diameter	AIC	R^2
cur_6 (Austria)	0.50	-0.07***	0.01***	-0.03**	0.002***	-900.36	0.82
cur_2 (segment)	0.47	-0.01***	0.02*	-0.06***	0.003***	-862.51	0.79
cur_3 (ellipse)	0.38	-0.11***	0.005	-0.05***	0.006***	-817.22	0.75
cur_4 (center)	0.39	-0.11***	0.005	-0.05**	0.006***	-816.19	0.74
cur_1 (contour)	0.39	-0.1***	-0.0006	-0.06***	0.007***	-805.19	0.73
cur_5 (differential)	0.36	-1.9e+04***	-0.04***	-0.11***	0.006***	-700.92	0.59

Bei der Verwendung einzelner Entscheidungsbäume für vier Krümmungstypen (1,2,3,6 aus Abbildung 15) mit 100 verschiedenen Zuordnungen von Trainings- und Testdaten, konnte eine mittlere Genauigkeit von 0,76 und ein mittleres kappa von 0,74 mit Maximalwerten von 0,90 (Genauigkeit) und 0,91 (kappa). beobachtet werden Die Reduzierung der Krümmungstypen von vier auf drei Klassen durch die Subsumierung von Typ 2 (Endkrümmung) unter Typ 3 (Banane) führte zu einer Erhöhung der mittleren Genauigkeit auf 0,84 und Kappa auf 0,77 sowie zu höheren Maximalwerten für Genauigkeit (0,94) und Kappa (0,93) (Tabelle 7).

Tabelle 7 Darstellung der Typen 4 und 3, bei der gezeigt wird, wie die Reduzierung der Krümmungstypen durch die Subsumierung von Typ 2 und Typ 3 zu einer Erhöung der mittleren Genauigkeit sowie zu höheren Maximalwerten für Genauigkeit und Kappa führte.

	Mittlere Genauigkeit (sd)	**Mittleres kappa (sd)**	**Max. Genauigkeit**	**Max. kappa**
4 Typen	0.76 (0.04)	0.74 (0.05)	0.90	0.91
3 Typen	0.84 (0.04)	0.77 (0.06)	0.94	0.93

Betrachtet man nur das Modell, das anhand der Aufteilung (in Test- und Trainingsdaten) zur höchsten Vorhersagegenauigkeit und dem höchsten kappa geführt hat, wurden nur zwei Stämme des Testdatensatzes falsch klassifiziert. Ein gerader Stamm (Typ 1) wurde als Banane (Typ 3) klassifiziert und ein Bananenstamm (Typ 3) wurde fälschlicherweise als mehrfach gekrümmt (Typ 6) ausgewiesen. Der resultierende Entscheidungsbaum besteht aus 19 Knoten (davon 10 Endknoten, Abbildung 14).

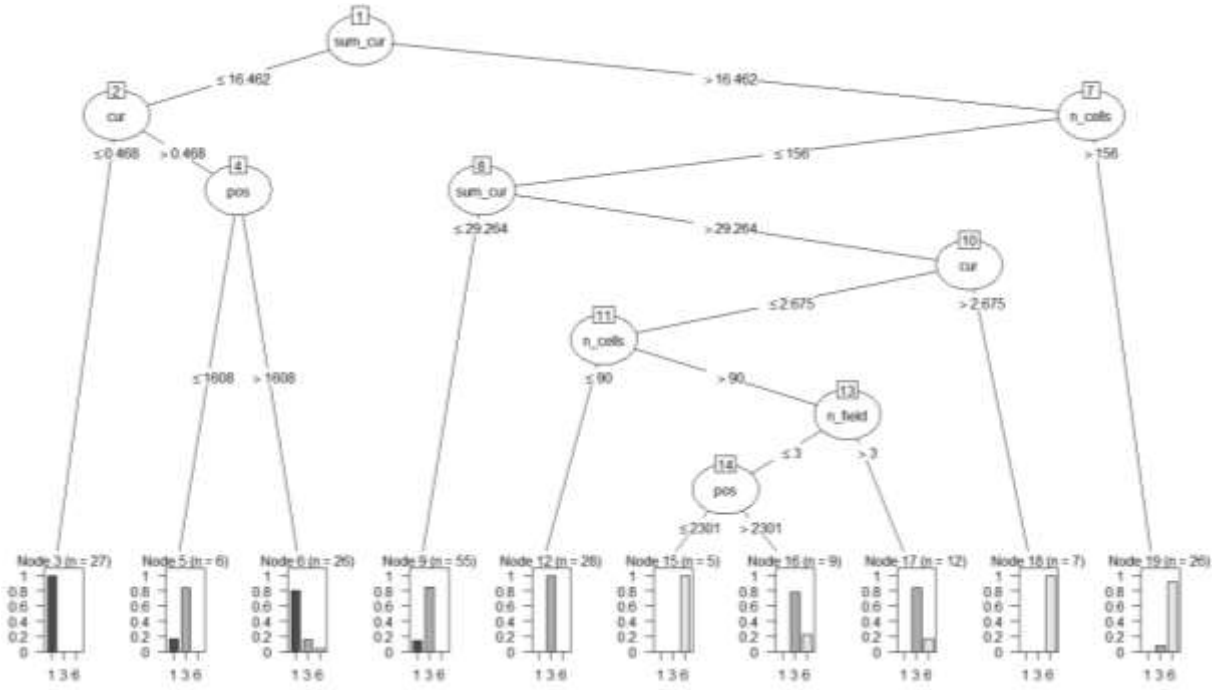


Abbildung 15: Endgültiges Modell des C5.0 Entscheidungsbaumes für drei Krümmungstypen (1: gerade, 3: Banane, 6: Mehrfachkrümmung) bestehend aus 19 Knoten. Die neun Entscheidungsknoten (Ellipsen) zeigen das Merkmal, das zum Aufteilen der Daten verwendet wurde, die 10 Endknoten zeigen die Verteilung der vorhergesagten Klasse für die Trainingsdaten, die für die Anpassung verwendet wurde.

Diskussion und Ausblick:

Die Analyse der verschiedenen Krümmungsalgorithmen hat gezeigt, dass unterschiedliche Verfahren (auch die beiden derzeitig zugelassenen nach RV WV) teilweise zu sehr unterschiedlichen Bewertungen der Krümmung für denselben Stamm führen können. Beim Vergleich des Konturverfahrens mit dem Mittellinien-Ansatz fiel auf, dass insbesondere Oberflächenfehler das Messergebnis erheblich beeinflussen können (Abbildung 15) und die Umstellung auf ein Verfahren auf Basis einer Schwerpunktlinie durch den Stamm eine Verbesserung in Bezug auf die Genauigkeit und Robustheit der automatischen Krümmungsermittlung darstellen würde.

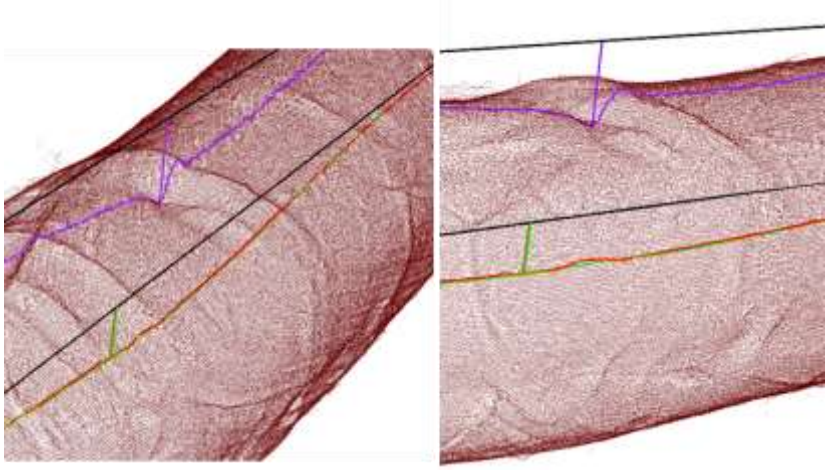


Abbildung 16: Auswirkung einer Mulde in einem Kiefernstamm auf die Pfeilhöhe im Konturverfahren (lila) und den beiden Mittellinienansätze (grün, rot) aus zwei unterschiedlichen Perspektiven.

Darüber hinaus haben insbesondere die Schnittbildsimulationen gezeigt, dass der Bezug der Pfeilhöhe auf den Mittendurchmesser in einem engeren Zusammenhang zur Ausbeute steht als der Bezug auf die Stammlänge und somit die Umstellung auf ein Verfahren nach österreichischem Vorbild für die automatisierte Krümmungsermittlung grundsätzlich auch für Deutschland zu empfehlen ist. Dabei könnten zukünftig auch verschiedene Krümmungstypen bei der Qualitätssortierung betrachten werden, da bei gleichem Krümmungswert mehrfach gekrümmte Stämme signifikant geringere Ausbeuten erreichten als einfach gekrümmte Abschnitte. Das entwickelte Entscheidungsbaum-Modell könnte für eine solch differenziertere Betrachtung der Krümmungsermittlung eingesetzt werden, wobei zu erwarten ist, dass eine Erweiterung der Datengrundlage die Vorhersagegenauigkeit des Krümmungstyps weiter verbessern würde.

TAP 3.5: Entwicklung eines optischen Messverfahrens zur Ermittlung des Gebindevolumens auf Verkehrsträgern von Bahn und LKW

Zielsetzung: Ursprünglich war es ein Kernziel ein geeignetes, stationäres, optisches Messgerät für die Ermittlung des Gebindevolumens von Rundholz auf Verkehrsträgern von Bahn und LKW zu entwickeln.

Einleitung, Material, Methodik, Ergebnisse: In den ersten Zwischenberichten der Projektpartner am Anfang des Jahres 2020 wurde bereits darauf eingegangen, dass eine planmäßige Ausführung des Teilarbeitspakets (TAP) 3.5 nicht möglich ist. Der Grund dafür – der Rückzug der Firma Mercer aus dem TAP – wurde der FNR vor Projektstart mitgeteilt. Die Firma Mercer begründete ihren Rückzug mit dem verzögerten Projektstart. Gemeinsam mit der dänischen Firma Dralle A/S begann sie die Entwicklung eines eichfähigen Messgeräts zur Bestimmung des Volumens von Holz auf Lastenträgern in Eigenregie.

In den Zwischenberichten erklären die Projektpartner noch, dass das TAP 3.5 nicht bearbeitet werden kann und die eingeplanten Personenmonate in anderen Arbeitspaketen benötigt werden. Um das TAP nicht ersatzlos streichen zu müssen, führte die Arbeitsgemeinschaft Rohholz e.V. (AGR) seit Anfang 2020 bereits Gespräche mit den Firmen Jörg Elektronik (JE) und Dralle A/S zu möglichen Alternativen. JE ist Praxispartner im Projekt HoBeOpt und hat bereits ein Messgerät zur Messung von Holz auf Lastenträgern entwickelt. Unsere Idee bestand darin, dieses Messgerät so weiterzuentwickeln, dass es mess- und eichrechtlich zugelassen werden kann. Im Zuge der Coronapandemie gerieten die Gespräche ins Stocken und JE signalisierte kein weiteres Interesse.

Parallel liefen Gespräche mit der Firma Dralle A/S, die ein solches Messgerät federführend für die Firma Mercer entwickelt. Dralle A/S entwickelte unter anderem das fotooptische System Dralle sScale, welches eichrechtlich zugelassen ist und so ein zuverlässiges System zur Erfassung und Abrechnung von gepoltertem Rundholz darstellt. Es wird erwartet, dass das neue System zur Erfassung von Volumen von Holz auf Lastenträgern mangels vergleichbarer Systeme relevant sein wird.

Die Firma Dralle A/S erklärte sich im September 2020 freundlicherweise bereit, der AGR Messdaten des neuen Messgeräts nach seiner Marktreife zu überstellen, um das Messgerät neben anderen relevanten Messgeräten zur Volumenermittlung aufzuführen. Aus den Messdaten sollte die Genauigkeit des neuen Systems hervorgehen. Im Dezember 2021 erklärte die Firma Dralle auf Nachfrage den Rückzug aus der

Vereinbarung und begründete dies mit Verzögerungen und einer Neuausrichtung des Projekts. Wir bedauern, dass es uns aufgrund fehlender Daten nicht gelungen ist, eine ersatzlose Streichung des Teilarbeitspakets 3.5 zu verhindern.

Arbeitspaket 4: Modellierung und Analyse der Eigenschaften von Holzpoltern

TAP 4.1: Entwicklung eines Modells zur Simulation von Holzpoltern (HoPoSim)

Zielsetzung: Um statistisch ausreichende Stichprobengrößen über die Zusammensetzung von Holzpoltern und die daraus resultierenden Veränderungen im Poltervolumen zu erlangen, müssen Holzpolter in großer Zahl gemessen werden. Diese häufigen Messungen führen dazu, dass bei Forschungs- und praxisnahen Projekte der Aufwand zur Ermittlung aussagekräftiger, statistisch abgesicherter Informationen sehr hoch ist.

In diesem Teilarbeitspaket sollte deshalb durch die AGR, in enger Abstimmung mit der HNEE ein Simulationsmodell zur Ermittlung des Volumens eines Holzpolters unter Berücksichtigung unterschiedlicher einzelstammspezifischer Einflussparameter auf das Volumen eines potenziellen Polters entwickelt werden. Des Weiteren sollte das Modell in der Lage sein die Volumenermittlung nach Sektionsraummaß sowie per Polygonzug (in Anlehnung an fotooptische Verfahren) abbilden können. Die Notwendigkeit, reale Holzpolter zu messen, sollte auf diese Weise deutlich reduziert werden.

Einleitung, Material, Methodik und Ergebnisse: Eine umfassende Literaturrecherche zu Beginn der Untersuchung durch die HNEE gestattete einen Überblick über die maßgeblichen Einflussfaktoren auf das Holzpoltervolumen (Durchmesser, Krümmung, Abholzigkeit, Ovalität). Diese, sowie Vorgespräche mit verschiedenen Softwareentwicklern zur Machbarkeit bestimmter Ansätze, bildeten die Grundlage für die Erstellung einer detaillierten Leistungsbeschreibung für die Entwicklung der Simulationssoftware. In enger Zusammenarbeit zwischen AGR und HNEE einigte man sich auf einen modularen Aufbau der Software. Um tatsächlich eine große Anzahl von realen Messungen ersetzen zu können, sollte die problemlos erweiterbare Software in der Lage sein, Polter zu generieren, dessen Gesamtheit an Einzelstämmen frei wählbare Verteilungen für relevante Eigenschaften wie Krümmung oder Abholzigkeit aufwiesen. Darüber hinaus sollte die 3D-Modellierung der Einzelstämme sowie des gesamten Polters realitätsnah (auch unter physischen Aspekten) vorgenommen werden.

Die Simulationssoftware („HoPoSim“) wurde dementsprechend in vier Modulen entwickelt. Die Funktionen der Module wurden in einer Weiterentwicklung Anfang 2021 verbessert und ergänzt. Die Software wurde für Windows entwickelt, ist frei und steht auf den Homepages der HNEE und der AGR zum Download zur Verfügung.

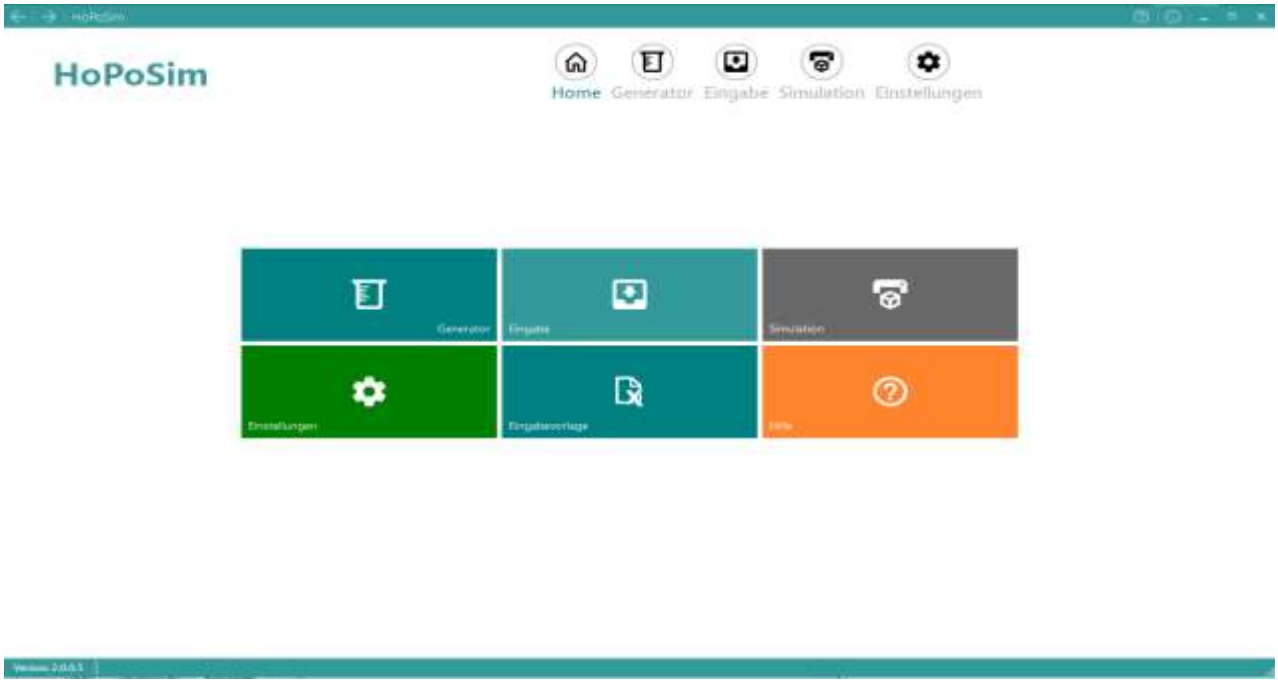


Abbildung 17: Startseite der Modellierungssoftware "HoPoSim"

Einzelstamm-Generator (Abbildung 17): In diesem Teil werden neben notwendigen Eckdaten (z.B. Stammzahl und -länge) gewünschte Verteilungen der genannten Einflussfaktoren über ein hierarchisch aufgebautes Tabellensystem in das Programm eingegeben. Dieses generiert dann auf Basis der eingegeben Daten eine Excel-Tabelle mit Einzelstämmen. Dieses Modul ermöglicht die Nachbildung verschiedener Baumarten und Sortimente. Im Generator integrierte Einflussfaktoren sind: Durchmesser, Länge, Abholzigkeit, Ovalität und Krümmung.

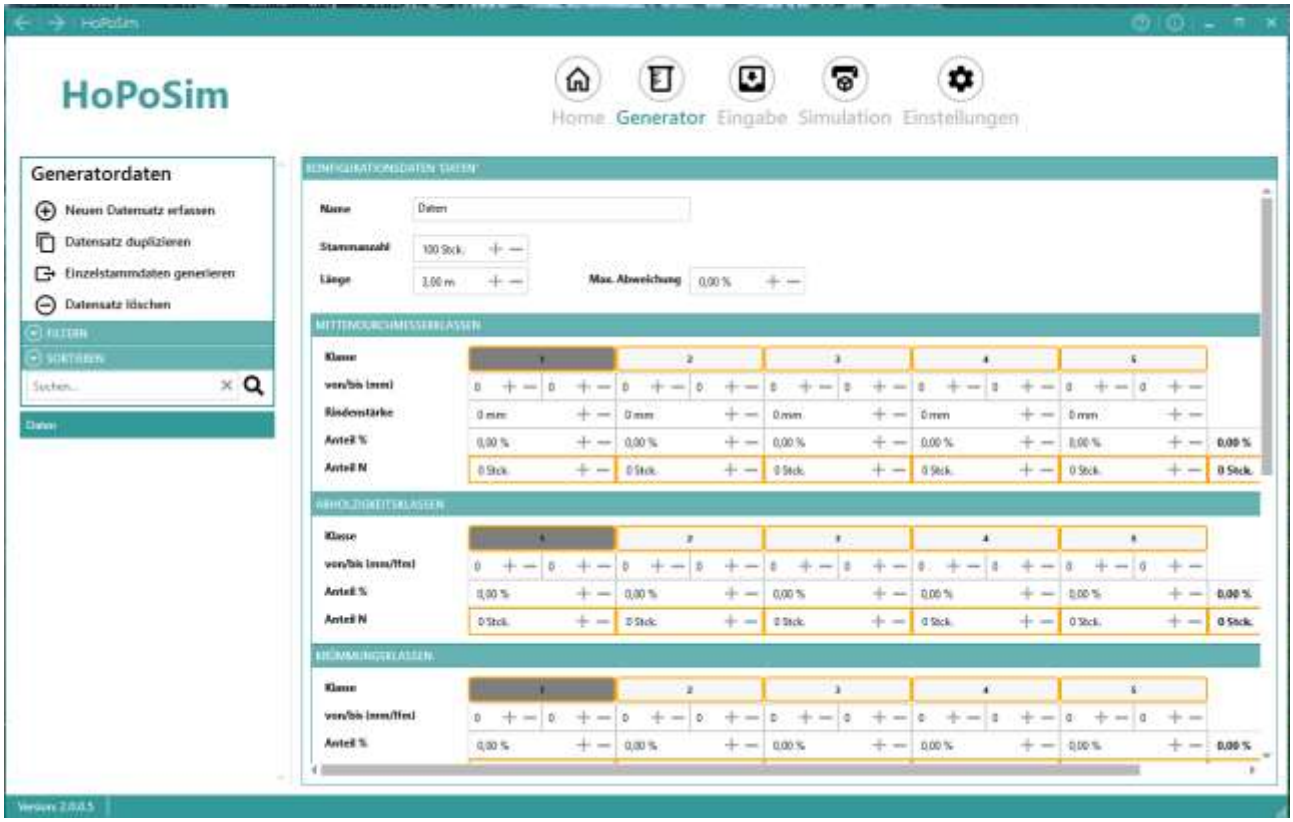


Abbildung 18: Das Generator-Modul der Software "HoPoSim"

Dateneingabe (Abbildung 18): Hier werden real aufgenommene- oder zuvor generierte Stammdaten im Excel-Format eingelesen. Dabei sind eine Reihe von Optionen möglich (z.B. zufällige, dick- oder dünnörtige Polterung der Stämme, Dimension des Polters). Zusätzlich zu den im Generator auf Einzelstammbasis berücksichtigten Einflussfaktoren können hier Einstellungen zur Rindenstärke, Rindenbeschädigungen zur Ausprägung des Stammfußes und der Astigkeit gemacht werden.

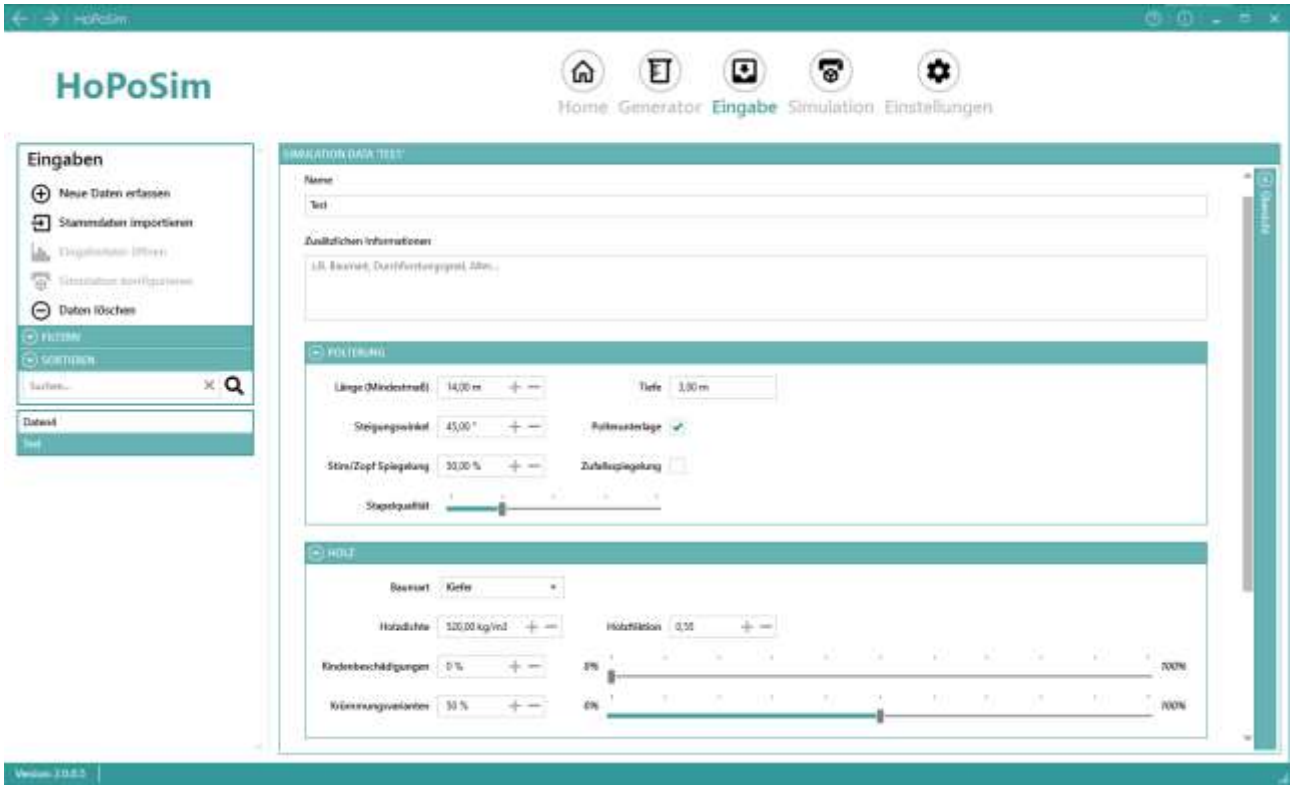


Abbildung 19: Eingabemodul von "HoPoSim"

Simulation (Abbildung 19): Dieses Modul erstellt auf Basis der Einzelstammdaten-Liste 3D-Modelle von allen Stämmen, die dann zu 3D-Holzpoltern zusammengesetzt werden. Entscheidend ist in diesem Modul, dass diese (nach den gegebenen Parametern) zufällige Polterung der Stämme in großer Zahl wiederholt werden kann, um statistisch abgesicherte Ergebnisse zu erhalten. Dabei wird für jeden generierten 3D-Polter das Festvolumen sowie das Raumvolumen durch Simulation vom Polygonzug (in Anlehnung an fotooptische Verfahren) und Sektionsraummaß ermittelt. Die Simulation dieser Messung kann im Nachgang für jeden Polter angezeigt werden. Auf diese Weise können die Gründe für das Auftreten von besonders hohen oder niedrigen Umrechnungsfaktoren nachvollzogen werden (bspw. querliegende Stämme, Programmfehler). Die Berechnungen erfolgen für beide Polterseiten.

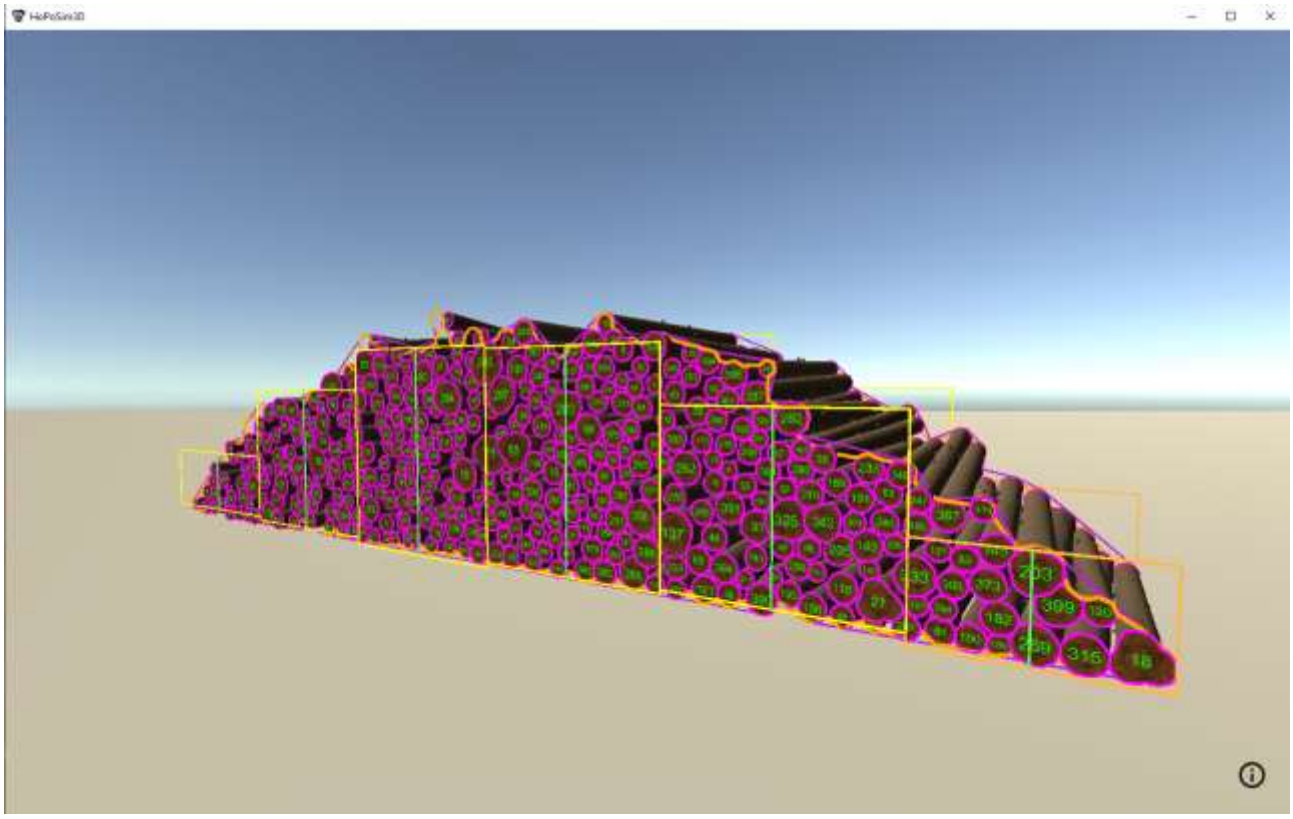


Abbildung 20: Innerhalb der Software "HoPoSim" kann jeder beliebige generierte Holzpolter als 3D-Modell dargestellt werden. Dabei werden auch Vermessungsmethoden wie Sektionsraummaß und Foto-Optik simuliert.

Datenausgabe (Abbildung 20): Die ermittelten Volumina sowie Umrechnungsfaktoren von Raum- zu Festmaß werden für jeden Holzpolter in Tabellenform ausgegeben. Auch Screenshots und der Export der 3D-Modelle interessanter Polter sind möglich. Die Tabelle mit den Ergebnissen kann wiederum im Excel-Format exportiert werden und in der Form entweder in Excel oder anderen Programmen für statistische Auswertungen (wie „R“) weiterverarbeitet werden.

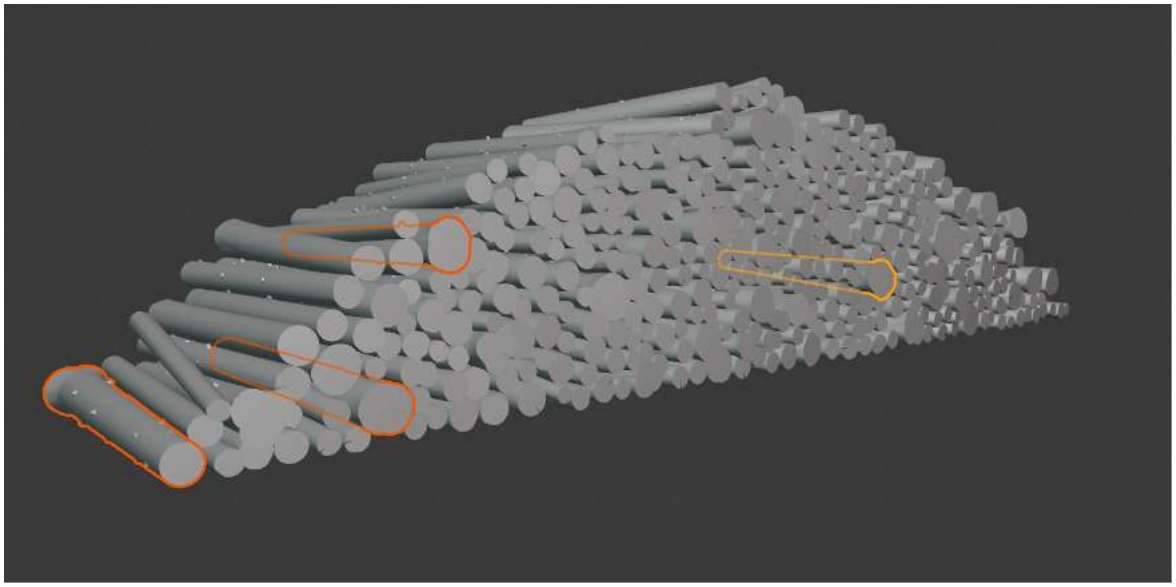


Abbildung 21: Jeder generierte Polter kann als 3D-Modell exportiert und zur besseren Darstellung in freie 3D-Software, wie z.B. Blender, importiert werden.

Durch den großen Funktionsumfang der Software ist eine Nutzung in anderen Forschungsprojekten denkbar und wünschenswert. Darüber hinaus lässt sie sich bei Bedarf weiterentwickeln und so an spezifische Fragestellungen anpassen. Die Software verfügt über eine Hilfeseite in deutscher Sprache, um Nutzern den Einstieg und den Gebrauch einfacher zu machen.

Für die Entwicklung der Software waren neben umfassenden vorbereitenden Datenaufnahmen an realen Stämmen und Poltern auch validierende Messungen im Nachgang der Entwicklung notwendig. Für die vorbereitenden Datenaufnahmen wurden in den Bundesländern Brandenburg und Baden-Württemberg in verschiedenen Beständen durch die HNEE und die AGR Vermessungen von Einzelstämmen und Holzpoltern der Baumarten Kiefer und Fichte vorgenommen. Dabei beläuft sich die Zahl an umfassend vermessenen Stämmen (Kreuzkluppung an drei Stammpositionen, Länge, Rindenstärke, Rindenbeschädigung, Krümmung) auf 1094 Kiefer-Stämme und 541 Fichte-Stämme in Brandenburg und 802 Stämme in Baden-Württemberg. Für die Validierung der Software wurden 405 der zuvor in Brandenburg vermessene Stämme der Baumart Fichte auf dem Gelände der Landeswaldoberförsterei Chorin in Eberswalde 30 Mal zufällig gepoltert und nach jedem Mal beidseitig sowohl mit Sektionsraummaß als auch foto-optisch mit der iFOVEA App vermessen. Der Vergleich zwischen Software-Ergebnissen mit Messungen an realen Holzpoltern ergab eine Überschätzung des Festvolumens mit Rinde von lediglich 1,2% und ohne Rinde 3,2%. Die Berechnung des Raumvolumens (mit Rinde) ergab im Durchschnitt eine Unterschätzung von 0,02%. Wir konnten bei der Validierung also eine hohe Genauigkeit der Modellierungssoftware nachweisen (De Miguel-Diez *et al.*, akzeptiert).

TAP 4.2: Analyse und Bewertung der Einflussfaktoren auf die Umrechnungsfaktoren

Zielsetzung: In diesem Arbeitspaket wurde der Einfluss ausgewählter stamm- und polterspezifischen Faktoren auf Umrechnungsfaktoren unterschiedlich zusammengesetzter Holzpolter analysiert und bewertet. Diese Umrechnungsfaktoren geben Aufschluss darüber, wie vielen Festmetern ein Raummeter mit Rinde entspricht und umgekehrt. Als Grundlage dient das im TAP 4.1 entwickelte Simulationsmodell für Holzpolter (De Miguel-Díez et al., 2022b).

Einleitung, Material und Methodik: In einem ersten Schritt wurde mittels einer Literaturrecherche eine Matrix stamm- und polterspezifischer Einflussfaktoren auf die Umrechnungsfaktoren erstellt. Basierend auf 84 wissenschaftlichen Artikeln, Handbüchern und Leitfäden zur Poltervermessung aus 24 Ländern wurden die zwölf folgenden polter- und stammspezifischen Einflussfaktoren für die Entwicklung der Matrix ausgewählt Die Einflussfaktoren 1-6 beziehen sich dabei auf die Einzelstämme, 7-12 sind polterbezogene Einflussfaktoren:

1. Länge des Einzelstammes (m)
2. Mittendurchmesser (cm)
3. Krümmung (mm/lfd. m)
4. Abholzigkeit (mm/lfd. m)
5. Entastungsqualität (Prozentwert von Einzelstämmen mit Aststummeln im Polter)
6. Ovalität (Ovalitätsfaktor zwischen 0 und 1, wobei 1 der virtuellen Generierung von perfekt runden Baumstämmen entspricht)

7. Stapelqualität (Prozentwert von gepolterten Einzelstämmen mit einer bestimmten Abweichung von der Polterungsachse in Grad)
8. Anteil an Stämmen mit Wurzelanlauf (%)
9. Polterhöhe (m)
10. Verteilung von dünn- und dickörtig gepolterten Stämmen (%)
11. Anteil an gekrümmtem Holz (%)
12. Anteil an abholzigen Stämmen (%)

In einem zweiten Schritt wurden die ausgewählten stamm- und polterspezifischen Eigenschaften im Hinblick auf deren Einfluss auf die Umrechnungsfaktoren analysiert. Dazu wurden 64 Simulationen durchgeführt. In jeder Simulation wurden 150 Polter simuliert. Die Ergebnisse dieser Analysen basierten somit auf insgesamt 9600 modellierten Poltern.

Zudem wurden 50 Datensätze auf Basis von an 540 Baumstämmen der Baumart Fichte (*Picea abies* L.) real gemessen Parametern erstellt (Sortiment Industrieholz-Kurz (IS)). Die Baumstämme stammten aus dem Revier Melchow der Landeswaldoberförsterei Chorin, Brandenburg. Die genaue Methodik zur Vermessung der erforderlichen Merkmale und Einflussfaktoren wurde in *Forests* veröffentlicht (De Miguel-Díez et al. 2021a, 2021b). Jeder Datensatz enthielt 300 Baumstämme, außer dem Datensatz zur Analyse des Einflusses der Polterhöhe, der mit 500 Baumstämme erstellt wurde. Diese Erhöhung war notwendig, damit die simulierten Polter die erforderlichen Höhen erreichen konnten. Die Baumstämme der jeweiligen Datensätze wurden zufällig aus der Grundgesamtheit (540 Baumstämme) ausgewählt. Jeder Datensatz enthielt Baumstämme mit bestimmten Werten bezüglich Einflussfaktoren für die Analyse. Zur gezielten Analyse der verschiedenen Einflussfaktoren wurden diese klassifiziert (De Miguel-Díez et al., 2022a): Um z.B. den Einflussfaktor Mittendurchmesser zu analysieren, wurden fünf Datensätze erstellt, wobei die Mittendurchmesser der Baumstämme im ersten Datensatz zwischen 10 und 14,9 cm, im zweiten Datensatz zwischen 15,0 und 19,9 cm, etc. lagen. Da für bestimmte Eigenschaften eine nicht ausreichende Anzahl von Baumstämmen gemessen werden konnte, wurde eine variable Anzahl von Baumstämmen bei der Erstellung der Datensätze dupliziert, bis die ausgewählte Anzahl (300) im entsprechenden Datensatz erreicht wurde.

Die Klassifizierung zeigt damit die Spannweiten je Eigenschaft: so wurde z.B. der Faktor Krümmung in 4 Klassen eingeteilt: gerade (0 mm/lfd. m), leicht krumm (<10 mm/lfd. m), mittelmäßig krumm (10-20 mm/lfd. m) und stark krumm (>20 mm/lfd. m). Zur Analyse des polterspezifischen Faktors Entastungsqualität wurden 5 verschiedene Qualitätsklassen definiert: 1) sehr schlecht (100% der Einzelstämme wiesen Aststummel auf), schlecht (80% der Einzelstämme wiesen Aststummel auf), mittelmäßig (50% der Einzelstämme wiesen Aststummel auf), gut (20% der Einzelstämme wiesen Aststummel auf), sehr gut (kein Einzelstamm wies Aststummel auf - 0%). In Tabelle 8 werden die verschiedenen Ausprägungen der Stapelqualität dargestellt.

Tabelle 8 Stapelqualität

Stapelqualität	Abweichung
Dicht	0°
Gut	0°-5°
Mittelmäßig	0°-10°
Lückig	0°-15°
Extrem lückig	5°-15°

Die Simulationsergebnisse wurden in Boxplots dargestellt und analysiert. Zudem wurde eine Varianzanalyse einschließlich des ANOVA F-Tests durchgeführt, um die Wirkung der verschiedenen Einflussfaktoren auf die simulierten Umrechnungsfaktoren zu vergleichen. Darüber hinaus wurde eine multipler Mittelwertvergleich der Simulationsergebnisse durch einen Tukeys-Test durchgeführt, um festzustellen, ob die Unterschiede zwischen den erhaltenen Umrechnungsfaktoren jeder Klasse statistisch signifikant waren.

Ergebnisse:

1. Stammspezifische Einflussfaktoren

Den Simulationsergebnissen zufolge führen steigende **Mittendurchmesser** zu steigenden Umrechnungsfaktoren (Abb. 21A). Zwischen der ersten und der letzten Mittendurchmesserklasse nehmen die durchschnittlichen Umrechnungsfaktoren von 0,56 auf 0,66 zu.

Der Faktor **Krümmung** übt einen erheblichen Einfluss auf die Umrechnungsfaktoren aus (Abb. 21B): Die durchschnittlichen Umrechnungsfaktoren zwischen geraden und stark krummen Baumstämmen nehmen von 0,65 auf 0,58 ab.

Im Gegensatz zu den o.g. Einflussfaktoren besitzen **Entastungsqualität** und **Länge der Einzelstämme** nur einen mittleren Einfluss auf die Umrechnungsfaktoren. Diese steigen von 0,63 auf 0,68, wenn die Entastungsqualität von einer sehr schlechten zu einer sehr guten Aufarbeitung der Baumstämme verändert wird (Abb. 21C). Hingegen sinken die Umrechnungsfaktoren von 0,67 auf 0,62, bei zunehmender Länge der Einzelstämme von 1 m auf 3 m (Abb. 21D).

Des Weiteren zeigen die Simulationsergebnisse, dass die Einflussfaktoren **Abholzigkeit** (bei einer gleichmäßigen Verteilung von dünn- und dickörtigen gepolterten Baumstämmen) und **Ovalität** einen leichten Einfluss auf die Umrechnungsfaktoren ausüben. In Bezug auf die Abholzigkeit konnte zwischen den durchschnittlichen Umrechnungsfaktoren aus Datensätzen mit nicht-abholzigen und stark abholzigen Baumstämmen eine Abnahme von 0,65 auf 0,61 ermittelt werden (Abb. 21). Der Einflussfaktor Ovalität hat offensichtlich einen marginalen Einfluss auf die Umrechnungsfaktoren: die Umrechnungsfaktoren zwischen ovalen Baumstämmen und perfekt runden Baumstämmen nehmen von 0,64 auf 0,65 zu (Abb. 21F).

Die ANOVA zeigte, dass sich die aus der Modellierung ermittelten Umrechnungsfaktoren zwischen den Gruppen der analysierten Einflussfaktoren signifikant unterscheiden (Abb. 22).

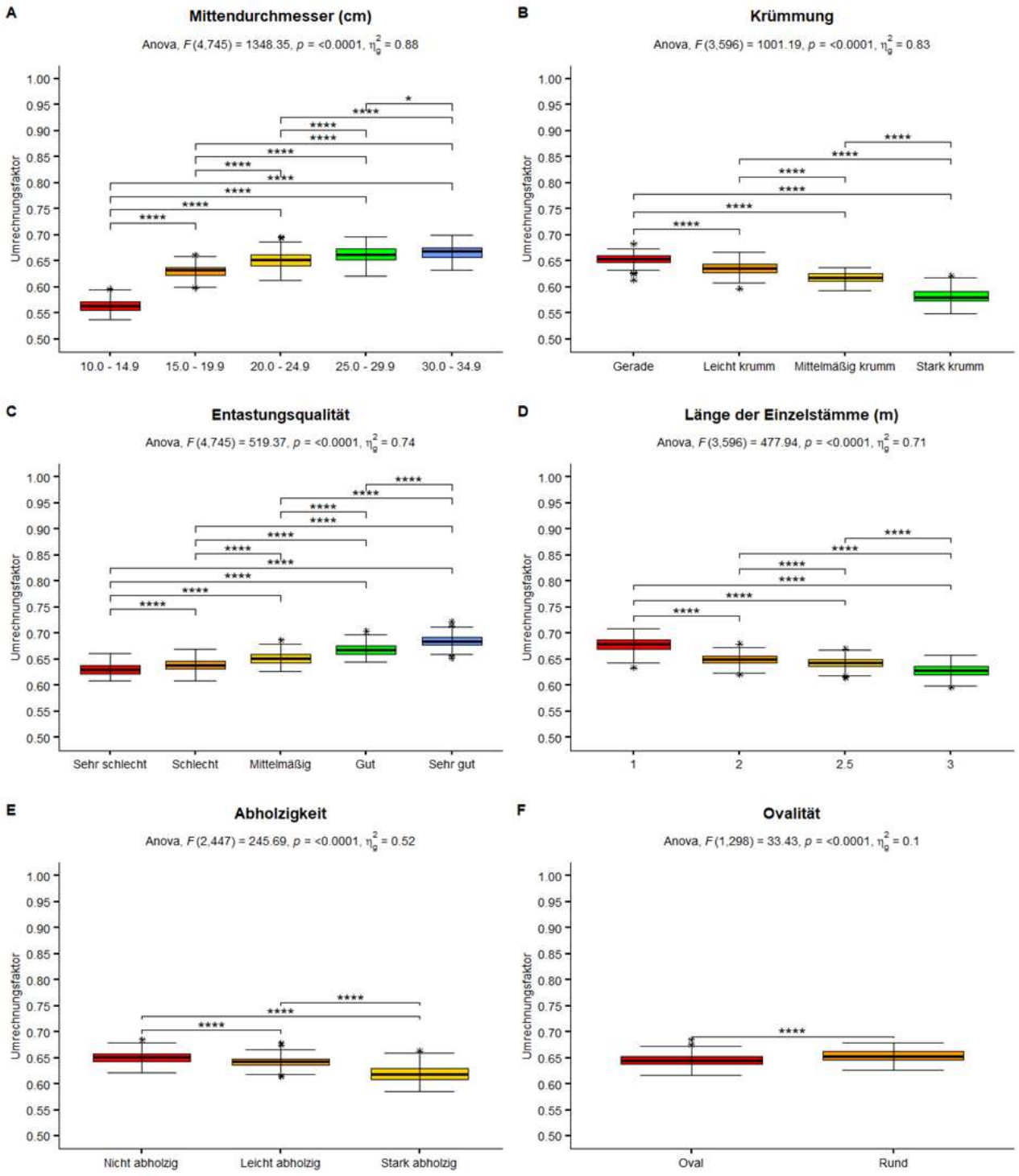


Abbildung 22 Verteilung der simulierten Umrechnungsfaktoren nach verschiedenen stammspezifischen Einflussfaktoren: A) Mittendurchmesser, B) Krümmung, C) Entastungsqualität, D) Länge, E) Abholzigkeit und F) Ovalität.

2. Polterspezifische Einflussfaktoren

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass die **Stapelqualität** bzw. die Qualität der Polterung einen erheblichen Einfluss auf die Umrechnungsfaktoren ausüben (Abb. 22A). Von einer dichten zu einer extrem lückigen Qualität der Stapelung lässt sich ein Rückgang der durchschnittlichen Umrechnungsfaktoren von

0,65 auf 0,57 quantifizieren. Somit lässt sich ableiten und statistisch untermauern, dass eine bessere Stapelqualität zu höheren Umrechnungsfaktoren führt.

Im Gegensatz dazu üben die übrigen polterspezifischen Einflussfaktoren **Anteil an Baumstämmen mit Wurzelanlauf, Polterhöhe** und **verschiedene Verteilungen von dünn- und dickörtig gepolterten Baumstämmen** nur einen leichten Einfluss auf die Umrechnungsfaktoren aus: Die Simulationsergebnisse zeigen eine leichte Verringerung der durchschnittlichen Umrechnungsfaktoren, wenn der **Anteil an Baumstämmen mit Wurzelanlauf** steigt (Abb. 22B). Bei einer Reduktion des Anteils an Baumstämmen mit Wurzelanlauf von 100 % auf 0 % kann wiederum eine Zunahme der durchschnittlichen Umrechnungsfaktoren von 0,61 auf 0,65 beobachtet werden. Bezüglich der **Polterhöhe** kann mit steigender Polterhöhe auch eine leichte Erhöhung der durchschnittlichen Umrechnungsfaktoren festgestellt werden (Abb. 22C). Zwischen den durchschnittlichen Umrechnungsfaktoren, die bei einer Polterhöhe ab 1 m bzw. ab 3 m ermittelt wurden, kann eine Zunahme von 0,61 auf 0,63 festgestellt werden. Bezüglich der **Verteilung von dünn- und dickörtig gepolterten Baumstämmen** ließ sich kein Unterschied bezüglich der durchschnittlichen Umrechnungsfaktoren feststellen (Abb. 22D).

Die Varianzanalyse zeigte, dass sich die Umrechnungsfaktoren zwischen mindestens zwei Gruppen der verschiedenen analysierten Einflussfaktoren signifikant unterscheiden.

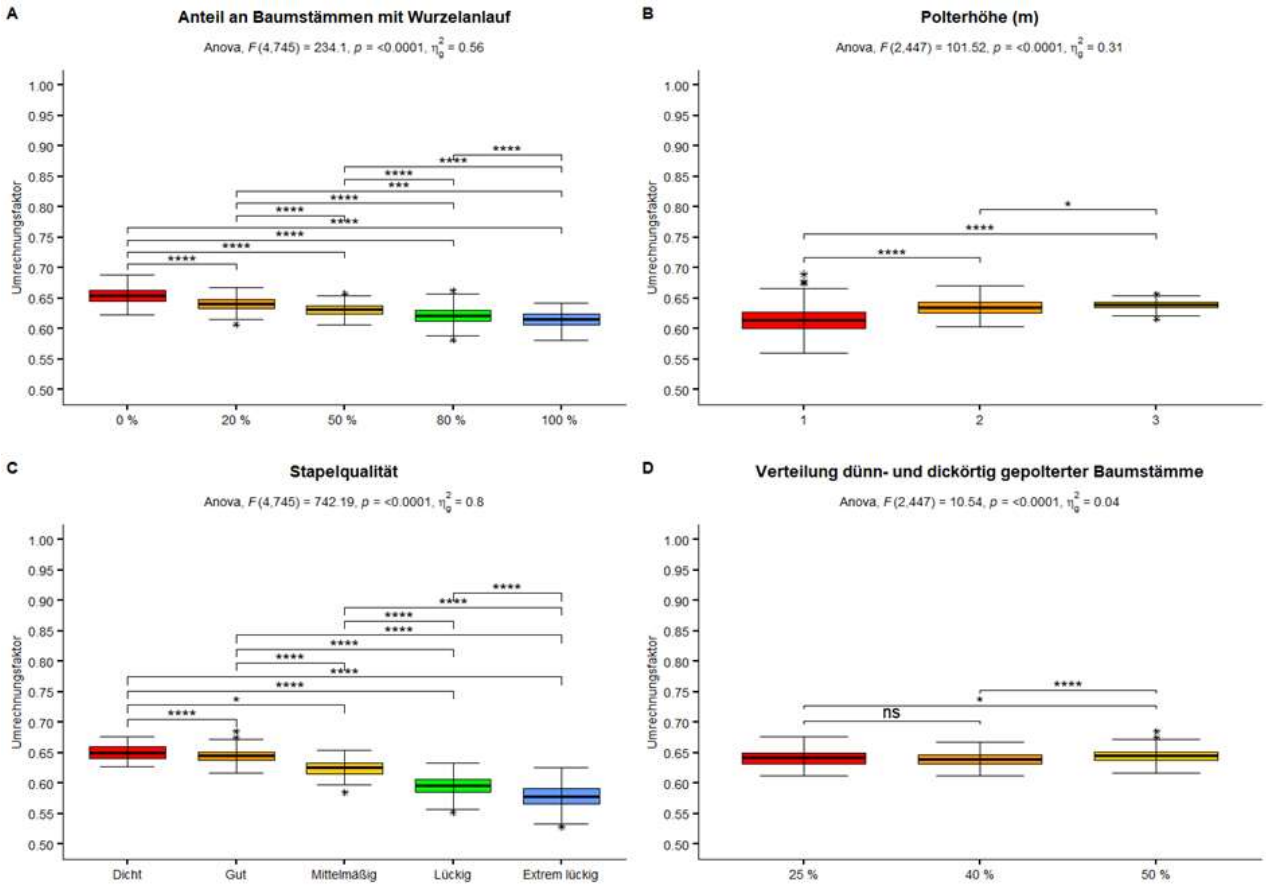


Abbildung 23 Verteilung der Umrechnungsfaktoren nach den folgenden polterspezifischen Einflussfaktoren A) Stapelqualität, B) Anteil an Baumstämmen mit Wurzelanlauf im Polter, C) Polterhöhe und D) Verschiedene Verteilungen von dünn- und dickörtig gepolterten Baumstämmen.

Mit zunehmendem **Anteil an abholzigen und krummen Baumstämmen** im Polter zeigen die durchschnittlichen Umrechnungsfaktoren eine negative Tendenz (Abb. 24). Die Abnahme der

Umrechnungsfaktoren unterscheiden sich aber gemäß den verschiedenen Abholzigkeits- und Krümmungsklassen: bezogen auf die niedrigen und hohen Krümmungsklassen ist ein Rückgang der durchschnittlichen Umrechnungsfaktoren von 0,64 auf 0,63 und von 0,65 auf 0,58 festzustellen, während der Anteil an krummen Baumstämmen im Polter von 0 % auf 100 % zunimmt. Hingegen ist für die beiden unterschiedlichen Abholzigkeitsklassen ein geringer Unterschied von 0,65 auf 0,64 und von 0,65 auf 0,61 zu beobachten, wenn deren Anteil im Polter von 0 % auf 100 % steigt.

Die Ergebnisse der ANOVA zeigten, dass sich die Umrechnungsfaktoren zwischen mindestens zwei Anteilen der ausgewählten Abholzigkeits- und Krümmungsgrade signifikant unterschieden.

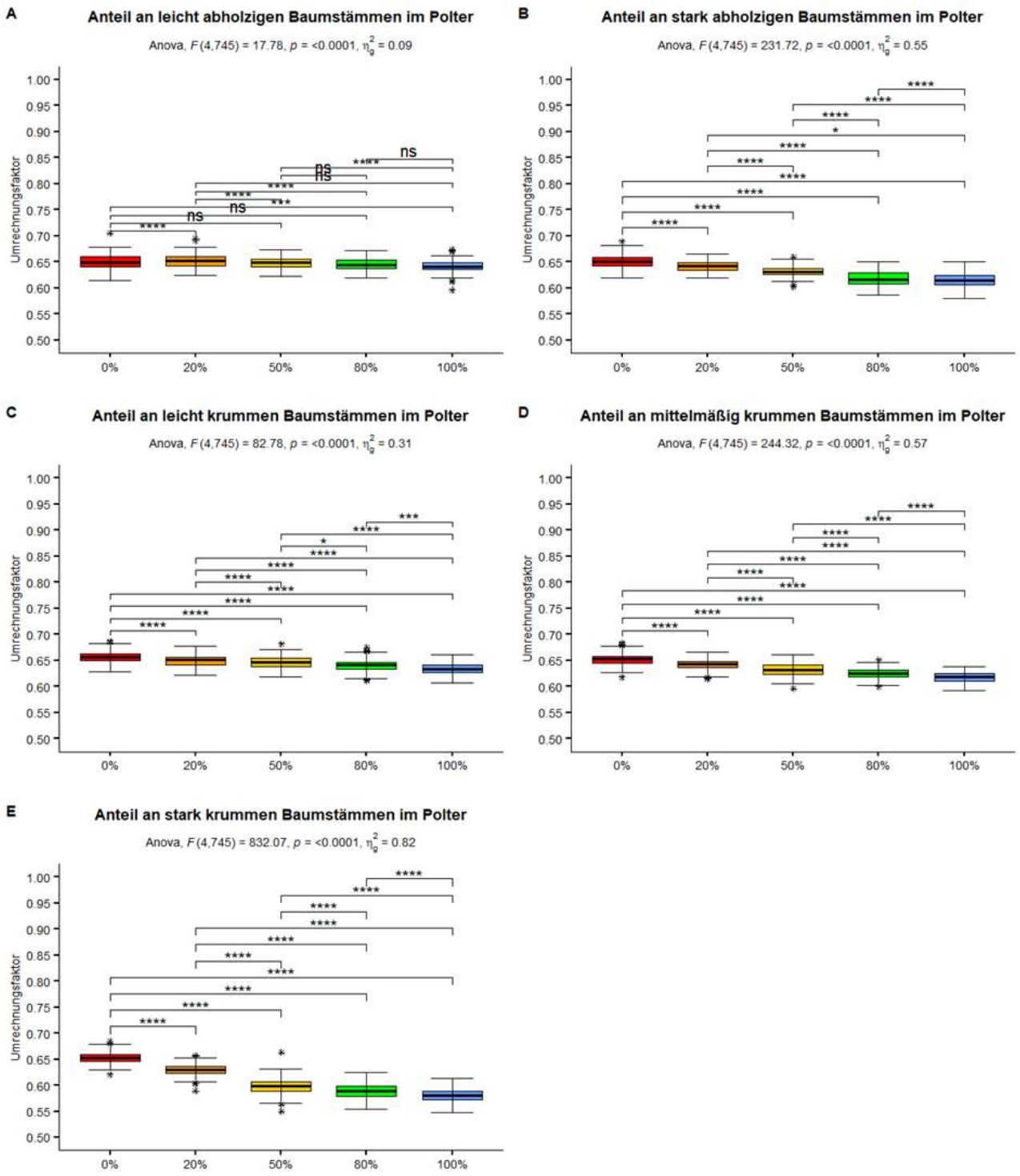


Abbildung 24 Verteilung der Umrechnungsfaktoren gemäß folgenden Anteilen an krummen und abholzigen Baumstämmen in einem Polter A) Anteil an leicht abholzigen Baumstämmen in einem Polter, B) Anteil an stark abholzigen Baumstämmen in einem Polter, C) Anteil an leicht krummen Baumstämmen in einem Polter, D) Anteil an mäßig krummen Baumstämmen in einem Polter und E) Anteil an stark krummen Baumstämmen in einem Polter.

Diskussion und Fazit:

Die im Rahmen dieser Analyse ermittelten Variationen der Umrechnungsfaktoren stimmen generell mit Ergebnissen früherer Studien und Leitfäden überein:

Die Zunahme der Umrechnungsfaktoren bei zunehmendem Mittendurchmesser wurde bereits von von Seckendorff-Gudent (1878), Zon (1903), Schnur (1932), Barret *et al.* (1941), Keepers (1945), Reinhold (1951), Zarate do Couto und Magalhães Bastos (1988), Heinzmann und Barbu (2017), Witkowska und Jodłowski (2018) und de Miguel-Díez et al. (2022a) demonstriert. Diese steigende Tendenz ist zwei Faktoren geschuldet: dem Rindenanteil im Polter und der Wirkung der Krümmung. Der Rindenanteil im Polter nimmt mit zunehmendem Mittendurchmesser ab (Reinhold 1951; Vorreiter 1954). Zudem ist der Einfluss der Krümmung auf die Umrechnungsfaktoren bei Baumstämmen mit kleineren Mittendurchmessern stärker (Reinhold, 1951; Bäucker et al. 2014). Diese Erkenntnisse ließen sich mit dem hier gewählten Verfahren bestätigen.

Aus den Simulationsergebnissen konnte zudem abgeleitet werden, dass eine bessere Entastungsqualität zu höheren durchschnittlichen Umrechnungsfaktoren führt, da die dadurch entstehenden Hohlräume deutlich reduziert werden. Diese Variation wurde auch im irischen Leitfaden zur Rundholzvermessung (Purser, 1999) und im englischen Leitfaden „Forest Mensuration Handbook“ (Hamilton, 1988) sowie in früheren Forschungsstudien von Zon (1903) und Bäucker *et al.* (2014) dargestellt.

Im Gegensatz dazu führen steigende Längen der Baumstämme zu sinkenden Umrechnungsfaktoren. Dieser Einfluss wurde bereits im 19. Jahrhundert untersucht (von Seckendorff-Gudent, 1878). Seit der ersten Untersuchung haben weitere Studien bestätigt, dass die Umrechnungsfaktoren zunehmen, wenn die Länge der Baumstämme abnimmt, z. B. Keepers (1945), Reinhold (1951), Câmpu et al. (2015) oder de Miguel-Díez et al. (2022a). Dieser Einfluss ist auf andere Faktoren wie Krümmung oder schlechte Entastungsqualität zurückzuführen. Eine starke Ausprägung dieser Faktoren führt zu Hohlräumen in den Poltern, die analog zur Länge der Baumstämme steigen. Die Wirkung dieses Einflussfaktors wird auch in mehreren nationalen Leitfäden wie in Schweden (SDC, 2014) oder in Deutschland (RVR, 2020) erwähnt.

Der Einfluss der Krümmung ist mit den Umrechnungsfaktoren negativ korreliert. Bei steigenden Krümmungswerten nehmen die Umrechnungsfaktoren ab. Der Einfluss dieses Faktors wurde von mehreren Autoren, z. B. Keepers (1945) oder Lowore *et al.* (1994) sowie durch mehrere nationalen Leitfäden, beispielsweise des englischen (Hamilton, 1988) und schwedischen Leitfadens zur Rundholzvermessung (SDC, 2014) bestätigt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass krumme Baumstämme mehr Raum im Polter besetzen als gerade (Hamilton, 1988; Purser, 1999; De Miguel-Díez et al., 2021a, 2021b, 2022a).

Gemäß Zons Studie (1903) und dem schwedischen Leitfaden (2014) führen steigende Abholzigkeitswerte zu sinkenden Umrechnungsfaktoren, da abholzige Baumstämme Hohlräume im Polter herstellen. Für die praktische Anwendung ist es daher entscheidend, die Polter mit einer gleichmäßigen Verteilung von dünn- und dickörtig gepolterten Stämmen zu bilden (Purser, 1999). Weiterhin ist zu beachten, dass die Einflussfaktoren Abholzigkeit und Krümmung stark von der Herkunftsregion der Baumstämme abhängig sind (Reinhold 1951).

Schließlich zeigten die Simulationsergebnisse, dass der Einfluss der Ovalität vernachlässigbar ist. Eine Abnahme der Umrechnungsfaktoren mit steigender Ovalität ist kaum nachweisbar (Abb. 22F). Dieses Ergebnis steht im Einklang mit der leichten Korrelation zwischen dem Umrechnungsfaktor und der Ovalität,

die von Heinzmann und Barbu (2017) abgeleitet wurde, und den Schlussfolgerungen von Barret *et al.* (1941).

Entsprechend der Ausprägung von Krümmung und Abholzigkeit übt ein steigender Anteil an stark krummen Baumstämmen im Polter einen erheblichen Einfluss auf die Umrechnungsfaktoren aus. Dieser Einfluss ist entsprechend geringer, wenn die Krümmung der Baumstämme sinkt. Steigende Anteile an stark abholzigen Baumstämmen haben hingegen nur einen leichten Einfluss auf die Umrechnungsfaktoren. Dieser Einfluss ist bei leicht abholzigen Baumstämmen marginal.

Des Weiteren übt der Anteil an Baumstämmen mit Wurzelanlauf im Polter einen leichten Einfluss auf die Umrechnungsfaktoren aus. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Simulationen zur Analyse dieses Einflussfaktors bei einer gleichmäßigen Verteilung von dünn- und dickörtig gepolterten Baumstämmen durchgeführt wurden. Die Wurzelanläufe der Baumstämme erzeugen normalerweise Hohlräume in einem Polter, da sie einen größeren Raum zwischen den Baumstämmen besetzen und dadurch verhindern, dass die Stämme ausgerichtet und gleichmäßig gepoltert werden. Dies war in der vorliegenden Untersuchung nur bedingt der Fall.

Die Stapelqualität beeinflusst laut den bisherigen Forschungsstudien und Leitfäden (Hamilton, 1988; de Miguel-Díez et al, 2022a; SDC, 2014) stark die Umrechnungsfaktoren. Die Ergebnisse von früheren Studien wurden durch die Simulationsergebnisse bestätigt. Unter Berücksichtigung der Simulationsergebnisse lässt sich feststellen, dass die Umrechnungsfaktoren steigen, wenn die Stapelqualität besser wird. Dies steht im Einklang mit dem irischen Leitfaden (Purser, 1999).

Die Polterhöhe übt hingegen nur einen leichten Einfluss auf die Umrechnungsfaktoren aus. Über die Simulation konnte abgeleitet werden, dass die Umrechnungsfaktoren leicht steigen, wenn die durchschnittliche Polterhöhe zunimmt. Diese Aussage stimmt mit dem schwedischen Leitfaden überein (SDC, 2014). Die Erhöhung der Umrechnungsfaktoren liegt daran, dass das Polter kompakter wird, wenn die durchschnittliche Polterhöhe steigt.

Die Simulationsergebnisse zeigten zudem, dass die Verteilung von dünn- und dickörtigen gepolterten Baumstämmen kaum die Umrechnungsfaktoren beeinflusst. Um höhere Umrechnungsfaktoren zu erhalten, betont der irische Leitfaden allerdings den Einfluss dieses Faktors aufgrund der Abholzigkeit der Baumstämme. Daher wird es in diesem Leitfaden empfohlen, dass das Polter mit einer gleichmäßigen Verteilung von dünn- und dickörtigen gepolterten Baumstämmen gebildet werden soll (Purser, 1999).

Somit konnten mit der in TAP 4.2 durchgeführten Studie bestehende Ergebnisse statistisch und methodologisch präzisiert und untermauert werden. Desgleichen können auf dieser Basis bestehende Leitfäden verschiedener Länder, z.B. Deutschland oder Schweden angepasst werden, um einen höheren Genauigkeitsgrad der Umrechnungsfaktoren zu erreichen.

TAP 4.3: Ableitung von Rindenfaktoren

Zielsetzung: in diesem TAP sollte für relevante Wirtschaftsbaumart(en) mit dem Schwerpunkt auf Waldkiefer (*Pinus sylvestris* L.; im Folgenden ‚Kiefer'), der Gesamtrindenanteil von Industrieholzpoltern untersucht werden. Dabei sollten einzelstammbezogene Rindenanteile in Abhängigkeit vom jeweiligen Mittendurchmesser erhoben und eine einfache und schnell durchführbare Methodik zur Ermittlung dieser Rindenanteile in der Praxis entwickelt werden.

Einleitung, Material, Methodik:

Im Rahmen des TAP 4.3 wurden an der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE) mehrere Abschlussarbeiten betreut, die einen inhaltlichen Beitrag zu den TAP-Zielen leisteten[1]:

- Pegel, Erik (2020): Spezifische Rindenfaktoren für Kieferindustrieholz – Ermittlung des Rindenanteils an Einzelstämmen mittels eines manuellen Messverfahrens. Bachelorarbeit, Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde.
- Wilms, Florian (2021): Untersuchung der Höhen und Durchmesser der Übergänge von Borke zu Spiegelrinde an der Wald-Kiefer. Bachelorarbeit, Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde.
- Duppel, Nils (2021): Die Rindenstärke der Kiefer in Abhängigkeit verschiedener Faktoren. Bachelorarbeit, Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde.
- Bahr, Henrik (2021): Analyse der Rindenverletzungen bei Schichtholzsortimenten durch Polterung und Volumenermittlung durch hydrostatisches sowie digitales Verfahren. Bachelorarbeit, Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde.

Die Analyse der Rindenanteile von Industrieholz wurde mittels Untersuchungen von Holzscheiben der Kiefer durchgeführt. Die Baumstämme, denen die Scheiben entnommen wurden, entsprachen immer dem Sortiment Industrieholz-kurz (IS), das vorwiegend zur Herstellung von OSB und MDF benutzt wurde. Damit wird das Untersuchungsmaterial als repräsentativ im Hinblick auf MDF- und OSB-Holz erachtet, zudem bildet nach Rücksprache mit den Industriepartnern des Projektes das untersuchte Material deren gängige Einkaufssortimente ab. Das Material stammte aus den Forstrevieren Melchow, Kahlenberg, Krempendorf, Löcknitztal, Nateheide, Heiligengrabe, die in den brandenburgischen Landkreisen Barnim, Prignitz, Oder-Spree und Ostprignitz-Ruppin liegen.

Aus den Stämmen wurden mittels Motorsäge Stammscheiben mit einer Dicke von ca. 5 cm entnommen. Die Rindenanteile des Kiefernindustrieholzes wurden im Labor analysiert. Folgende Merkmale wurden bei den Untersuchungen aufgenommen, bei denen es sich um die notwendigen stammbezogenen Parameter für eine Ermittlung des Gesamtrindenanteils handelte:

- **Doppelte Rindenstärke** (DBT): Die doppelte Rindenstärke ergab sich aus der Differenz von Durchmesser mit Rinde (dm.R.) und Durchmesser ohne Rinde (do.R.). Die Messungen der Durchmesser erfolgten jeweils kreuzweise mit einem Präzisionsmessschieber, die gewonnenen Werte wurden anschließend gemittelt. Die Aufnahmegenauigkeit lag bei 0,1 mm.
- **Rindenbeschädigungen** (RB): Mit einem Umfangmaßband (Genauigkeit 1 mm) wurde der Umfang der Holzscheiben (Um.R.) sowie die Rindenbeschädigung gemessen. Als Rindenbeschädigung wurde die Summe der Teilabschnitte des Umfangs (in cm) ohne Rinde definiert. Die Rindenbeschädigung wurde anschließend als Verhältnis zwischen Umfang und Rindenbeschädigung in % ausgedrückt.

[1] *Im Abschlussbericht werden Ergebnisse und Teile der Abschlussarbeiten verwendet, ohne diese explizit zu zitieren oder zu nennen. Die Studierenden haben dem zugestimmt.*

- **Rindenvolumen**: Das Rindenvolumen wurde als Differenz von Volumen der Holzscheibe mit Rinde (Vm.R.) zu Volumen der Holzscheibe ohne Rinde (Vo.R.) berechnet. Die Volumina wurden mittels Wasserverdrängung (Tauchbecken) gemessen. Dabei wurde das verdrängte Wasser aufgefangen und mittels einer Feinwaage gewogen. Das Rindenvolumen wurde an frischen Holzscheiben gemessen, der Feuchtegehalt der Scheiben lag somit über dem Fasersättigungsbereich. Das Rindenvolumen (VRinde) wurde prozentual zum Vo.R. angegeben.
- **Rindengewicht**: Das Rindengewicht wurde im trockenen Zustand ermittelt, da das Trockengewicht als Verkaufsmaß von Industrieholz anerkannt ist. Sowohl Rinde als auch entrindete Holzscheiben wurden in einem Trockenofen bei 103 ±2 °C bis zur Massenkonstanz getrocknet. Das Rindengewicht (MRinde) wurde prozentual zum atro Gewicht der Holzscheibe (inkl. Rinde) angegeben.
  Um das Spezifikum der Waldkiefer im Hinblick auf die Rinde zu berücksichtigen, wurde die Rinde der Stammscheiben gemäß den drei Rindentypen der Kiefer in Borke, Übergangsrinde und Spiegelrinde eingeteilt.

Datenanalyse und Auswertung erfolgten anschließend in drei Teilstudien, die sich auf jeweils einen eigenen distinkten Datensatz bezogen.

1) Schwerpunkt Spiegelrinde: Gespräche mit Akteuren aus der Praxis haben verdeutlicht, dass Kiefernindustrieholz vorwiegend Spiegelrinde aufweist, zu den Eigenschaften der Spiegelrinde wie bspw. Rindenstärke, Rindenvolumen oder Rindenmasse bislang aber nur wenig Erkenntnisse vorliegen. Für den ersten Datensatz wurden daher Stämme aus zehn verschiedenen Holzpoltern aus den Revieren Melchow und Kahlenberg des Praxispartners Landeswaldoberförsterei Chorin (Landesbetrieb Forst Brandenburg) ausgewählt, die ausschließlich Spiegelrinde aufwiesen (n=150 Stammscheiben).

2) Schwerpunkt Industrieholz: Der zweite Datensatz umfasste Daten von Holzscheiben, die von dem Industriepartner SwissKrono des Projekts zur Verfügung gestellt wurden. Das Industrieholz wurde dabei so ausgewählt, dass es repräsentativ im Hinblick auf die gängigen Einkaufssortimente des Industriepartners war, der Datensatz also die verschiedenen Rindentypen abbildete (Spiegelrinde, Übergangsrinde und Borke, n=317 Stammscheiben, nach Bereinigung des Datensatzes n=296).

3) Schwerpunkt Industrieholzpolter & Leitfaden: Die Untersuchungen in der dritten Teilstudie dienten der Übertragung der einzelstammbezogenen Ergebnisse aus den vorherige Teilstudien auf das gesamte Polter. Dabei wurden Durchmesser und Rindenstärke *aller* Stämme (n=741) eines Polters an der Polterstirnseite aufgenommen, um statistisch die Anzahl der Stämme zu ermitteln, die ein Gesamtpolter repräsentativ darstellen. Bei der Polteraufnahme wurden analog zum Sektionsraummaß der Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel in Deutschland (*DFWR* and *DHWR*, 2020) Markierungslinien an den Sektionsmitten bzw. denjenigen Stellen angelegt, an denen die Höhe des Polters gemessen werde. Auf dieser Basis konnte ein Leitfaden für die Praxis zur Bestimmung von Rindenanteilen bei Kiefernindustrieholzpoltern erstellt werden.

Ergebnisse:

1. Schwerpunkt Spiegelrinde:

Bei den untersuchten Holzscheiben lag die Spanne der Durchmesser mit Rinde ($d_{m.R.}$) zwischen 8,4 und 17,3 cm und der durchschnittliche $d_{m.R.}$ bei 12,9±2,1 cm. Die durch mechanische Aufarbeitung und Bringung verursachten Beschädigungen an der Rinde beliefen sich auf 12.0±14,8 %. Im Durchschnitt lag die doppelte Rindenstärke (DBT) bei 3,02±1,49 mm (Abbildung 25). Das durchschnittliche Rindenvolumen von Spiegelrinde lag bei 5,6±3,1 %

Bei der Analyse des *DBT* wurden keine signifikanten Einflüsse durch die Variablen $d_{m.R.}$ und *Forstrevier* (in Abb. 25 und 26 Wuchsgebiet genannt) festgestellt. Bei einer Betrachtung des Rindenvolumens zeigte sich, dass das prozentuale Rindenvolumen in folgenden Fällen signifikant abnahm:

i) bei zunehmenden Durchmessern der Holzscheiben und/oder
ii) bei zunehmenden Rindenbeschädigungen und/oder
iii) bei abnehmender doppelter Rindenstärke.

Auch die unabhängigen Variablen $d_{m.R.}$, *DBT* und *Rindenbeschädigung* haben auf das Rindengewicht (durchschnittlich 3,3±1,4 %, Abbildung 25) einen signifikanten Einfluss.

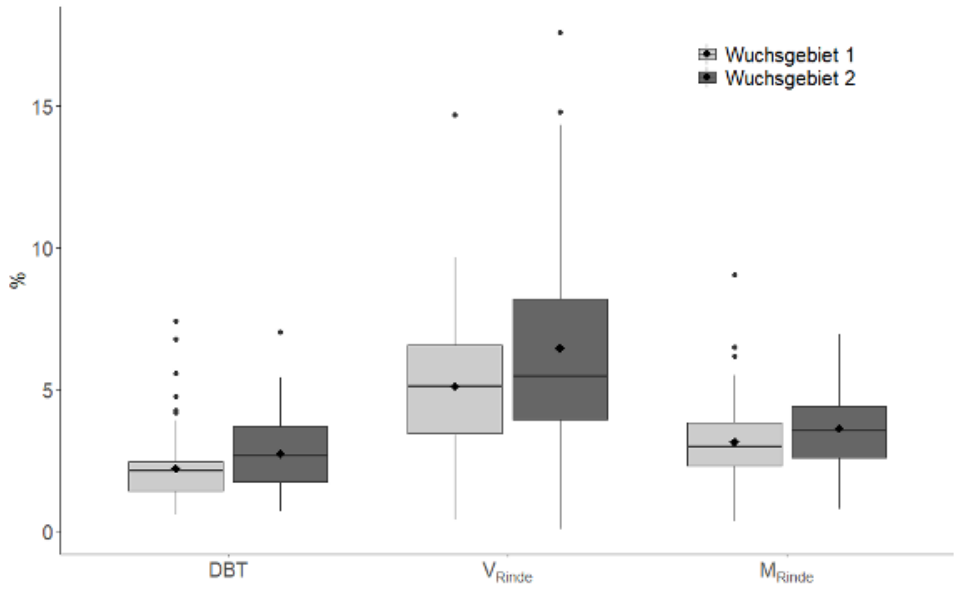


Abbildung 25 Doppelte Rindenstärke (DBT): proportional zum $d_{m.R.}$, Rindenvolumen (V_{Rinde}) und Rindengewicht (M_{Rinde}) von Kiefernholzscheiben mit Spiegelrinde (in %). Quelle: in Anlehnung an Berendt et al. (2021)

Eine lineare Modellierung des Rindenvolumens und des Rindengewichtes ergaben Determinationskoeffizienten von 0,30 und 0,52 bei Betrachtung aller signifikanten Variablen. Abbildung 26 zeigt exemplarisch diesen Zusammenhang zwischen Rindengewicht und Durchmesser der Holzscheiben.

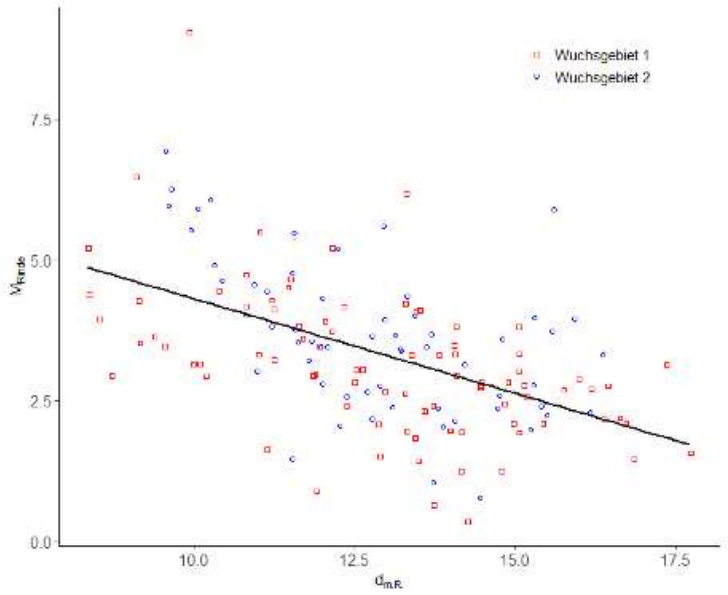


Abbildung 26: Zusammenhang zwischen dem Durchmesser mit Rinde ($d_{m.R.}$), in cm, und dem Rindengewicht (M_{Rinde}), in %. Quelle: in Anlehnung an Berendt et al. (2021)

2. Schwerpunkt Industrieholz

In diesen Untersuchungen wurden Holzscheiben analysiert, die als repräsentativ für Kiefernindustrieholz der Region Brandenburg und der Einkaufssortimente des Industriepartners (SwissKrono) eingestuft wurden. Der Datensatz beinhaltete sowohl Holzscheiben mit Borke als auch mit Übergangsrinde und Spiegelrinde. Über alle untersuchten Kiefernholzscheiben hinweg lag der $d_{m.R.}$ bei 16,5±3,5 cm, die Rindenbeschädigung (RB) bei 15,9±15,0 %, das Rindenvolumen bei 11,7±8,0 % und das Rindengewicht bei 6,5±4,0 %. Die Analyse der Rinde zeigte einen durchschnittlichen DBT von 9,8±6,5 mm. Die Boxplots in Abbildung 27 zeigen diese Analysen unterteilt nach den unterschiedlichen Rindentypen Spiegelrinde, Übergangsrinde und Borke.

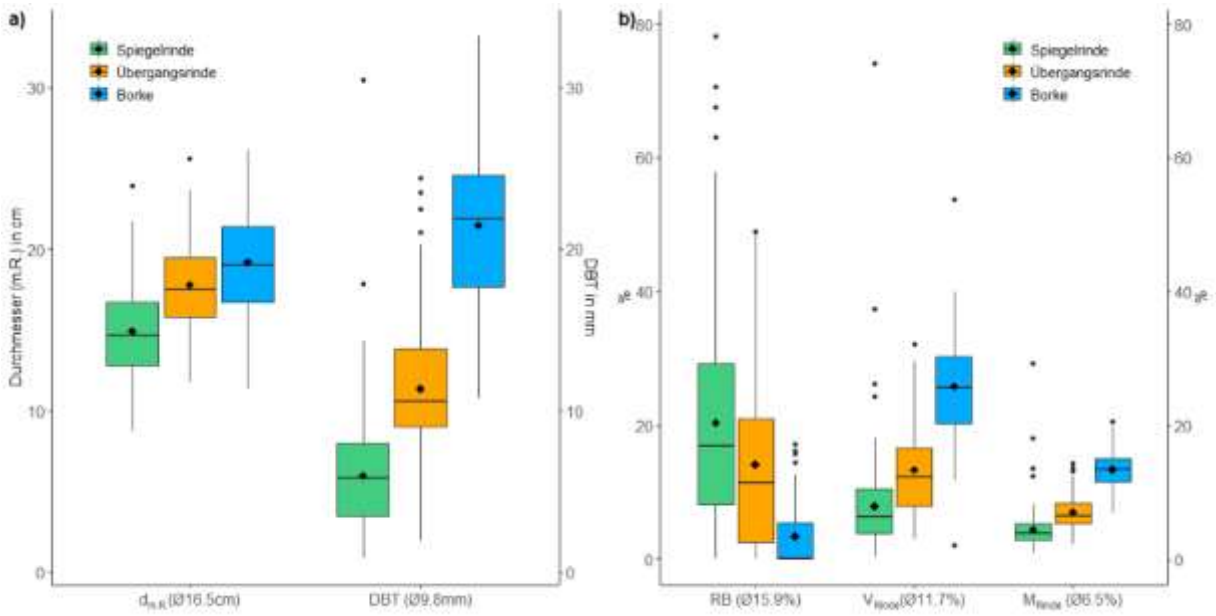


Abbildung 27: Auswertung der Rindenparameter für Holzscheiben verschiedener Rindenstärkeklassen (t hin, medium und t hick). $d_{m.R.}$: Durchmesser mit Rinde, DBT: doppelte Rindenstärke, RB: Rindenbeschädigung, V_{Rinde}: Rindenvolumen und M_{Rinde}: Rindengewicht

Zwar konnte ein statistisch signifikanter Einfluss des Durchmessers auf Rindengewicht (M_{Rinde}) und Rindenvolumen (V_{Rinde}) beobachtet werden (α<5%), der Zusammenhang zwischen (M_{Rinde}) bzw. (V_{Rinde}) und Durchmesser war mit respektiven Bestimmtheitsmaßen (Adj.-R^2) von 0,089 und 0,082 jedoch äußerst gering. Damit zeigt sich, dass entgegen den Annahmen vor dem Projekt (s. Projektantrag 2019) prozentuale Rindenanteile nicht zwingend über den Mittendurchmesser von Stämmen hergeleitet werden können. Ein stärkerer Zusammenhang konnte allerdings über die Einteilung in verschiedene Rindenstärkenklassen bzw. Rindentypen erreicht werden (siehe Abbildung 28). Aus diesem Grund wurden die Holzscheiben für die weiteren Analysen nach Rindentypen aufgeteilt. Mittels der doppelten Rindenstärke (DBT) konnten Rückschlüsse auf das Rindenvolumen und das Rindengewicht gezogen werden (mit Adj.-R^2 von 0,64 und 0,59). Das Modell konnte durch Hinzufügen weiterer Variablen ($d_{m.R.}$, *RB*) geringfügig verbessert werden (Tabelle 9). Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die Berücksichtigung der Herkunft des Holzes (*Wuchsgebiet*) im linearen Modell den Determinationskoeffizienten nur geringfügig (0,01) verbessert. Somit könnte es für eine Anwendung des Modells in der Praxis vernachlässigt werden. Da eine Signifikanz des Einflusses von *Wuchsgebiet* auf V_{Rinde} und M_{Rinde} für diesen Datensatz aber grundsätzlich festgestellt werden konnte, sollte dieser spezifisch und ggfls. mit größerer und überregional gewonnener Datenbasis weiter untersucht werden.

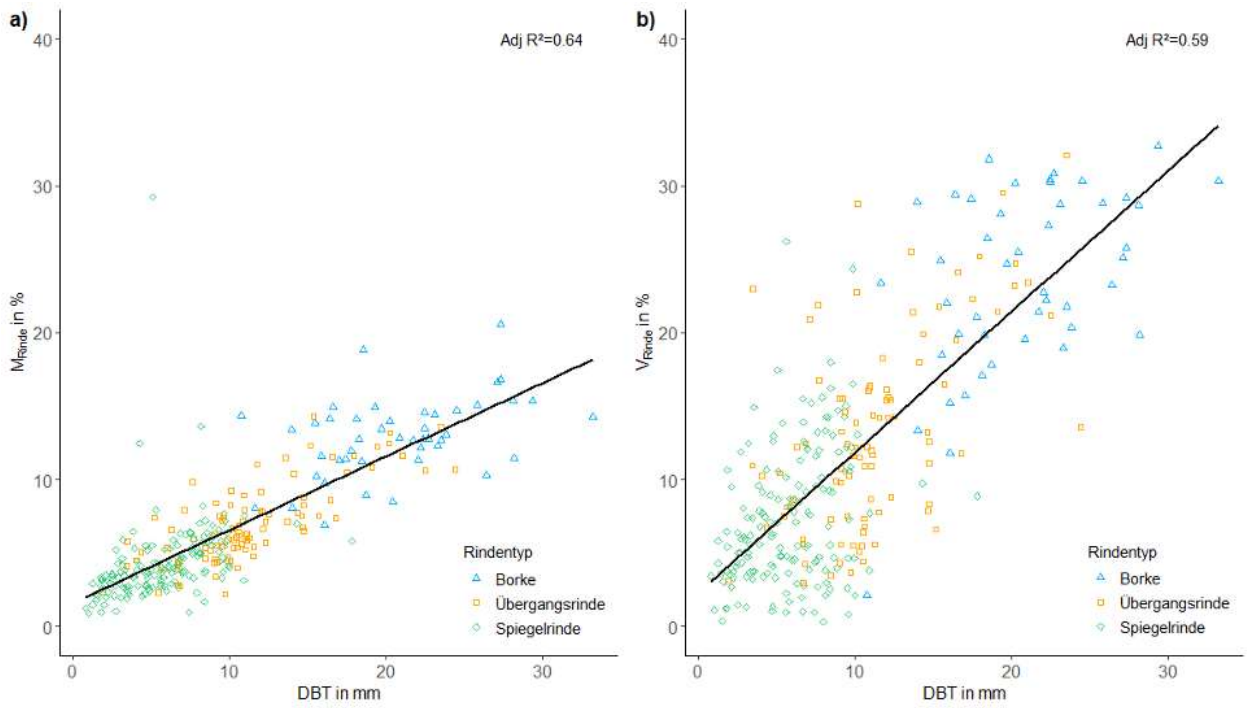


Abbildung 28: Lineares Modell des a) Rindengewichtes und b) Rindenvolumens in Abhängigkeit der doppelten Rindenstärke (DBT).

Tabelle 9: Funktionen für die Berechnung des Rindenvolumens (V_{Rinde}) und des Rindengewichtes (M_{Rinde}) mit der doppelten Rindenstärke (DBT, in mm), dem Durchmesser (dm.R., in cm) und der Rindenbeschädigung (RB, in %).

	Gleichungen (lineares Modell)	Adj.-R^2
	Rindenvolumen	
Eq.1	$V_{Rinde} = 2{,}28 + 0{,}96 \times DBT$	0,59
Eq.2	$V_{Rinde} = 7{,}85 + 1{,}08 \times DBT - 0{,}41 \times d_{m.R.}$	0,61
Eq.3	$V_{Rinde} = 9{,}78 + 1{,}00 \times DBT - 0{,}39 \times d_{m.R.} - 0{,}09 \times RB$	0,63
	Rindengewicht	
Eq.4	$M_{Rinde} = 1{,}58 + 0{,}50 \times DBT$	0,64
Eq.5	$M_{Rinde} = 5{,}04 + 0{,}58 \times DBT - 0{,}25 \times d_{m.R.}$	0,67
Eq.6	$M_{Rinde} = 6{,}22 + 0{,}53 \times DBT - 0{,}24 \times d_{m.R.} - 0{,}05 \times RB$	0,70

3. Schwerpunkt Industrieholzpolter & Leitfaden

Anhand des unter Material & Methoden für diese Teilstudie skizzierten Verfahrens konnte festgestellt werden, dass Messungen des DBT i) an 10 % der Stämme des Polters oder ii) an denjenigen Stämmen, die sich auf den Markierungslinien (Sektionsmitten) befinden, ausreichen, um die durchschnittliche DBT des gesamten Polters ermitteln zu können; zur durchschnittlichen DBT der gesamten Polterstämme war kein signifikanter Unterschied zu erkennen.

Die im Leitfaden (Abbildung 29) beschriebene Methode zur Ermittlung der Rindenanteile (V_{Rinde} und M_{Rinde}) basiert auf der visuellen Klassifizierung der drei Rindentypen. Um den Anteil der Stämme mit Spiegelrinde, Übergangsrinde und Borke zu ermitteln, wird dabei der Rindentyp all jener Stämme bestimmt, die sich auf den Sektionsmitten befinden. Anhand der gewonnenen Ergebnisse zu den Rindenanteilen und des Umrechnungsfaktors von Festmaß zu Raummaß aus der RVR konnten Formeln zur Ermittlung der Rindenanteile entwickelt werden (Eq. 7 und Eq. 8). Dabei geht die Anzahl der gezählten Stämme je Rindentyp als Variable in die Formel ein.

Eq. 7 $$V_{Rinde}(in\,\%) = -0{,}44 + 4{,}61 \times \frac{n_{Spiegelrinde} + 2 \times n_{Übergangsrinde} + 3 \times n_{Borke}}{n_{total}}$$

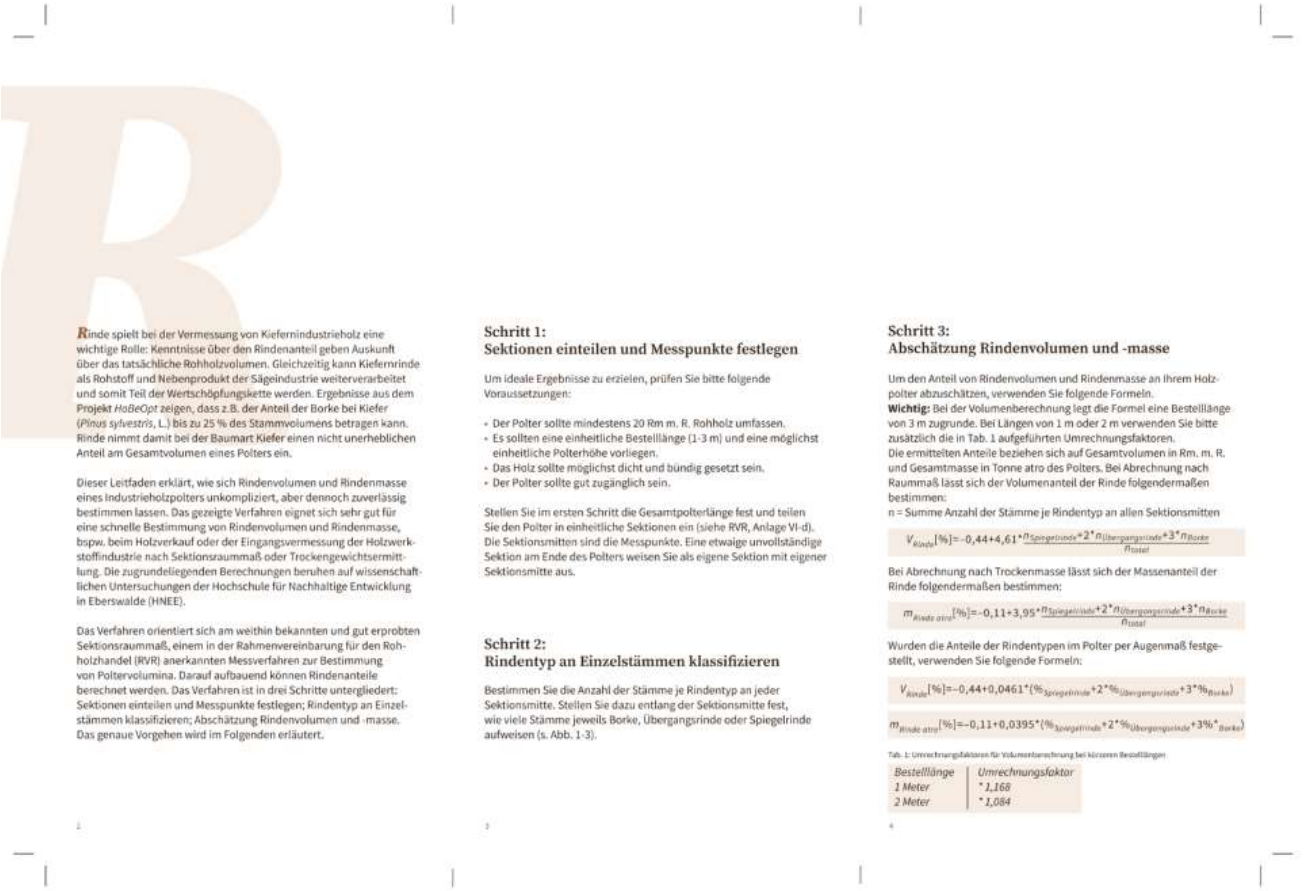
Eq. 8 $$M_{Rinde}(in\,\%) = 0{,}11 + 3{,}95 \times \frac{n_{Spiegelrinde} + 2 \times n_{Übergangsrinde} + 3 \times n_{Borke}}{n_{total}}$$

Die Ergebnisse von M_{Rinde} geben den Gewichtsanteil der Rinde am atro Gesamtgewicht (Holz inkl. Rinde) und die Ergebnisse von V_{Rinde} den Volumenanteil der Rinde am Raummaß mit Rinde an. Es wird von einer

Bestelllänge von 3 m ausgegangen. Bei Längen von 1 m oder 2 m müssen zusätzlich die in Tabelle 2 aufgeführten Umrechnungsfaktoren für V_{Rinde} verwendet werden.

Tabelle 10 Umrechnungsfaktoren für VRinde für Bestelllängen von 1 oder 2 Meter

Bestelllänge	Umrechnungsfaktor
1 Meter	*1,168
2 Meter	*1,084



Rinde spielt bei der Vermessung von Kiefernindustrieholz eine wichtige Rolle: Kenntnisse über den Rindenanteil geben Auskunft über das tatsächliche Rohholzvolumen. Gleichzeitig kann Kiefernrinde als Rohstoff und Nebenprodukt der Sägeindustrie weiterverarbeitet und somit Teil der Wertschöpfungskette werden. Ergebnisse aus dem Projekt *HaBeOpt* zeigen, dass z.B. der Anteil der Borke bei Kiefer (*Pinus sylvestris*, L.) bis zu 25 % des Stammvolumens betragen kann. Rinde nimmt damit bei der Baumart Kiefer einen nicht unerheblichen Anteil am Gesamtvolumen eines Polters ein.

Dieser Leitfaden erklärt, wie sich Rindenvolumen und Rindenmasse eines Industrieholzpolters unkompliziert, aber dennoch zuverlässig bestimmen lassen. Das gezeigte Verfahren eignet sich sehr gut für eine schnelle Bestimmung von Rindenvolumen und Rindenmasse, bspw. beim Holzverkauf oder der Eingangsvermessung der Holzwerkstoffindustrie nach Sektionsraummaß oder Trockengewichtsermittlung. Die zugrundeliegenden Berechnungen beruhen auf wissenschaftlichen Untersuchungen der Hochschule für Nachhaltige Entwicklung in Eberswalde (HNEE).

Das Verfahren orientiert sich am weithin bekannten und gut erprobten Sektionsraummaß, einem in der Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel (RVR) anerkannten Messverfahren zur Bestimmung von Poltervolumina. Darauf aufbauend können Rindenanteile berechnet werden. Das Verfahren ist in drei Schritte untergliedert: Sektionen einteilen und Messpunkte festlegen; Rindentyp an Einzelstämmen klassifizieren; Abschätzung Rindenvolumen und -masse. Das genaue Vorgehen wird im Folgenden erläutert.

Schritt 1:
Sektionen einteilen und Messpunkte festlegen

Um ideale Ergebnisse zu erzielen, prüfen Sie bitte folgende Voraussetzungen:

- Der Polter sollte mindestens 20 Rm m. R. Rohholz umfassen.
- Es sollten eine einheitliche Bestelllänge (1-3 m) und eine möglichst einheitliche Polterhöhe vorliegen.
- Das Holz sollte möglichst dicht und bündig gesetzt sein.
- Der Polter sollte gut zugänglich sein.

Stellen Sie im ersten Schritt die Gesamtpolterlänge fest und teilen Sie den Polter in einheitliche Sektionen ein (siehe RVR, Anlage VI-d). Die Sektionsmitten sind die Messpunkte. Eine etwaige unvollständige Sektion am Ende des Polters weisen Sie als eigene Sektion mit eigener Sektionsmitte aus.

Schritt 2:
Rindentyp an Einzelstämmen klassifizieren

Bestimmen Sie die Anzahl der Stämme je Rindentyp an jeder Sektionsmitte. Stellen Sie dazu entlang der Sektionsmitte fest, wie viele Stämme jeweils Borke, Übergangsrinde oder Spiegelrinde aufweisen (s. Abb. 1-3).

Schritt 3:
Abschätzung Rindenvolumen und -masse

Um den Anteil von Rindenvolumen und Rindenmasse an Ihrem Holzpolter abzuschätzen, verwenden Sie folgende Formeln.
Wichtig: Bei der Volumenberechnung legt die Formel eine Bestelllänge von 3 m zugrunde. Bei Längen von 1 m oder 2 m verwenden Sie bitte zusätzlich die in Tab. 1 aufgeführten Umrechnungsfaktoren.
Die ermittelten Anteile beziehen sich auf Gesamtvolumen in Rm. m. R. und Gesamtmasse in Tonne atro des Polters. Bei Abrechnung nach Raummaß lässt sich der Volumenanteil der Rinde folgendermaßen bestimmen:
n = Summe Anzahl der Stämme je Rindentyp an allen Sektionsmitten

$$V_{Rinde}[\%]=-0{,}44+4{,}61*\frac{n_{Spiegelrinde}+2*n_{Übergangsrinde}+3*n_{Borke}}{n_{total}}$$

Bei Abrechnung nach Trockenmasse lässt sich der Massenanteil der Rinde folgendermaßen bestimmen:

$$m_{Rinde\ atro}[\%]=-0{,}11+3{,}95*\frac{n_{Spiegelrinde}+2*n_{Übergangsrinde}+3*n_{Borke}}{n_{total}}$$

Wurden die Anteile der Rindentypen im Polter per Augenmaß festgestellt, verwenden Sie folgende Formeln:

$$V_{Rinde}[\%]=-0{,}44+0{,}0461*(\%_{Spiegelrinde}+2*\%_{Übergangsrinde}+3*\%_{Borke})$$

$$m_{Rinde\ atro}[\%]=-0{,}11+0{,}0395*(\%_{Spiegelrinde}+2*\%_{Übergangsrinde}+3\%*_{Borke})$$

Tab. 1: Umrechnungsfaktoren für Volumenberechnung bei kürzeren Bestelllängen

Bestelllänge	*Umrechnungsfaktor*
1 Meter	**1,168*
2 Meter	**1,084*

Abbildung 29 Praxisleitfaden zur Bestimmung von Rindenanteilen (Rindenvolumen und Rindenmasse) bei Kieferindustrieholzpoltern.

<u>Diskussion und Ausblick:</u> Durch die Untersuchungen konnten anhand der präzisen Messungen der Rindenanteile neue Erkenntnisse zu den Zusammenhängen zwischen Rindenstärke, Durchmesser, Rindenbeschädigungen und den Rindenvolumina sowie Rindengewichten bei Kiefernindustrieholz gewonnen werden. Insbesondere zeigte sich, dass 1) bei Stammabschnitten kein Zusammenhang zwischen Durchmesser und Rindenstärke gegeben ist, 2) die Spiegelrinde und die Borke bei Kiefer separat betrachtet werden sollten und 3) bei der Spiegelrinde von einer etwa gleichbleibenden Rindenstärke auszugehen ist.

Herausfordernd ist, dass neben diesen beiden Rindenarten auch eine Übergangszone von der Borke zur Spiegelrinde festzustellen ist, wo die sog. Übergangsrinde zu finden ist. Am stehenden Baum konnten anhand von Regressionen die Höhe der Übergänge modelliert werden (*Wilms et al.*, 2021). Durch eine Weiterentwicklung solcher Modelle ist es vorstellbar, die Rindenanteile der Kiefer für Vollbäume (ohne Äste) zu modellieren. Durch einen solchen Ansatz könnten auch neue Algorithmen für Rindenabzüge bei der Harvestervermessung entwickelt werden (*Wilms et al.*, 2021). Durch eine präzise Bestimmung der Höhe des Überganges von Borke zu Spiegelrinde, könnten die Rindenabzugsfaktoren präzise für die verschiedenen Rindentypen angewandt werden. Es ist davon auszugehen, dass durch weitere Forschung auf diesem Feld eine Praxisanwendung zeitnah entwickelt werden könnte. Bei einer zukünftigen Anwendung des Harvestermaßes als Verkaufsmaß, würden solche Ansätze rasch eine hohe Praxisrelevanz erreichen.

Die im Rahmen dieser Studien ermittelten Werte zu Rindenstärke, Rindenvolumen und Rindengewicht ähneln den Ergebnissen vorangegangener Studien zu der Baumart Kiefer (*Altherr et al.*, 1974; *Dietz*, 1975; *Sedmíková et al.*, 2020; *Volz*, 1970). Bei der Betrachtung von Rindenanteilen an Polter oder zufällig ausgewählten Stammabschnitten können jedoch keine Rückschlüsse auf die Position der Stammabschnitte im Baum gezogen werden. Dadurch können Rindenanteile nur mittels stammabschnittseigener Parameter (z. B. Durchmesser) bewertet werden. Eine Bewertung von Rindenanteilen bei Kieferindustrieholzpoltern bedarf jedoch einer Einschätzung der Rindenstärke, um anhand von Modellen das Rindenvolumen bzw. das Rindengewicht zu schätzen. Die Gewichtsmodelle zeigten bessere Determinationskoeffizienten als die Volumenmodelle; d.h. eine Abschätzung der Rindenanteile als Prozent der Trockenmasse ist genauer als eine Abschätzung des Rindenvolums als Prozent des Volumens in frischen Zustand.

Im Rahmen dieser Studie wurde deutlich, dass zum Teil regionale Unterschiede bei den Rindenanteilen feststellbar sind. Aus diesem Grund sollten weitere Untersuchungen mit einer räumlichen Komponente über Brandenburg hinaus stattfinden. Darüber hinaus zeigte sich die Methodik als sehr geeignet, um die Rindenanteile größerer Holzmengen sehr genau bestimmen zu können (*Berendt et al.*, 2021a). Durch die Analyse an Holzscheiben konnte die Quantität an untersuchten Stämmen erhöht werden. Diese Methodik könnte und sollte auf weitere Baumarten ausgedehnt und entsprechend erprobt werden, z. B. Douglasie, Lärche oder Buche bei Industrieholzsortimenten.

TAP 4.4: Entwicklung eines Leitfadens zur Berücksichtigung volumen- und qualitätsbeeinflussender Faktoren bei der Holzpoltervermessung

Zielsetzung: Grundlage für diese Untersuchung ist die Erkenntnis, dass bei der Messung eines Polters mittels Sektionsraummaß oder foto-optischen Verfahren jeweils Stirnflächen von Poltern vermessen werden, ohne dabei näher auf volumen- und qualitätsbeeinflussende Merkmale einzugehen. Ziel war es daher, unter Leitung der AGR einen Leitfaden zu entwickeln, welcher den Einfluss dieser Faktoren auf wissenschaftlicher Basis beschreibt und bei der Ermittlung von sortimentsspezifischen Reduktionsfaktoren berücksichtigt.

Einleitung, Material, Methodik und Ergebnisse: In einem ersten Schritt wurden in Rahmen einer Literaturrecherche (siehe auch TAP 4.2) bereits vorhandene Ansätze zur Berücksichtigung volumenbeeinflussender Parameter beim Holzverkauf identifiziert. Bekanntester Vertreter ist das etablierte Punktemodell in Schweden, bei dem, ausgehend von einer baumartenspezifischen Basiszahl, je nach Ausprägung bestimmter Faktoren, Zuschläge oder Abschläge auf das ermittelte Raumvolumen gemacht werden. In Anlehnung an dieses Verfahren entwickelte die AGR in Abstimmung mit den Kooperationspartnern HNEE und FVA ein Punktesystem, welches auf den Erkenntnissen vorangegangener Untersuchungen der TAPs 4.1 und 4.2 basiert (siehe Abbildung 30). Der Ansatz sieht vor, dass, ebenfalls ausgehend von einer baumartenspezifischen Basiszahl, Korrekturen in Abhängigkeit von der Stärkeklasse, Stammlänge und der Polterhöhe, Rinden und Rindenschäden, Polterungsqualität, Krümmung und Entastung, Abholzigkeit und des Wurzelanlaufs vorgenommen werden. Für jeden Faktor existiert eine Tabelle, welche die entsprechende Ausprägung des Merkmals beschreibt und eine Punktzahl

als Zu- oder Abschlag definiert. Der Anwender kann also die insgesamt 10 Tabellen (siehe Abbildung 31) der Reihe nach durchgehen und je nach Ausprägung des Merkmals am Polter Zu- oder Abschläge verteilen und erhält im Anschluss einen entsprechenden Umrechnungsfaktor als Ergebnis.

Abbildung 30: Schema des entwickelten Punktemodells zur Beschreibung des Einflusses relevanter Parameter auf das Holzpoltervolumen

Die Berechnung der Zu- und Abschläge erfolgten auf Datenbasis von real vermessenen Fichtenstämmen. Die Datenbasis bildete in der Gesamtheit ihrer Eigenschaften den „Standardpolter“, für welchen sich mithilfe der Software HoPoSim der Umrechnungsfaktor 0,61 ermitteln ließ. Die Datenbasis wurde dann hinsichtlich der Ausprägung eines jeden Merkmals stufenweise verändert. Die Differenz des errechneten Umrechnungsfaktors zu dem des „Standardpolters“ ergab den jeweiligen Zu- oder Abschlag. Die Prüfung des Punktemodells erfolgte anhand verschiedener Polterzusammensetzungen mit der Software HoPoSim und ergab eine maximale Abweichung von 5%.

Eine Rückkopplung mit Praktikern sowie dem Gremium des StA RVR ergab eine Reihe von Vorschlägen, welche in der aktuellsten Version des Leitfadens Berücksichtigung fanden. Der Leitfaden gibt in seiner derzeitigen Form Aufschluss über den Einfluss einer ganzen Reihe von Faktoren auf das Volumen von Holzpoltern. Er bietet mit seinem Punktemodell darüber hinaus einen Ansatz zur Ermittlung spezifischer Umrechnungsfaktoren, der bislang in der RVR noch fehlt. Als solcher kann er eine Diskussions- und Verhandlungsgrundlage für die Implementierung von genaueren Umrechnungsfaktoren in der RVR bieten. Um eine noch höhere Genauigkeit bei der Ermittlung von Umrechnungsfaktoren zu erreichen, sind zusätzlich zur Nutzung der Software HoPoSim Validierungen im Feld wünschenswert.

Basiszahl

1	Baumart	Basiszahl
	Fichte	61 %

Korrektur für die Stärkeklasse (ohne Rinde)

2	Stärkeklasse	Mittendurchmesser in cm ohne Rinde	%
	D 1a	10 bis 14	-2
	D 1b bis 2b	15 bis 29	0
	D 3a	30 bis 34	+1
	D 3b	35 bis 39	+3
	D 4	40 bis 49	+5

Korrektur für Stammlänge und Polterhöhe

3	Stammlänge (nur Standardlängen, Nadelholz)	
	4,0 m	-2
	3,0 m	0
	2,5 m	+2
	2,0 m	+3
	1,0 m	+6

4	Polterhöhe	
	Bis 1,5 m	-2
	1,5 m bis 2,5 m	-1
	Mehr als 2,5 m	0

Korrektur für Rinde und Rindenbeschädigungen

5	Rinde		
	Rindenstärke (einfach)		%
	Sehr dünne Rinde	1-5 mm	+16
	Dünne Rinde	6-10 mm	+9
	Normale Rinde	11-20 mm	0
	Dicke Rinde	21-30 mm	-11
	Sehr dicke Rinde	>31 mm	-24

6	Rindenbeschädigungen	
	Stämme mit zu großem Teil abgeplatzter Rinde, anderen großflächigen Beschädigungen oder mechanisch entrindet	
	Volumenanteil 0 %	0
	Volumenanteil bis 20 %	+1
	Volumenanteil bis 40 %	+2
	Volumenanteil bis 60 %	+4
	Volumenanteil bis 80 %	+7
	Volumenanteil bis 100 %	+8

Korrektur für die Qualität der Polterung

7	Polterung	%
	Gut gepoltert	0
	Lückig und leicht schief gepoltert (normales mechanisches Poltern)	-1

Korrektur für Krümmung und Entastungsqualität

8	Krümmung	%
	Gerade (0 mm/lfd.m)	0
	Fast gerade (1-10 mm/lfd.m)	-3
	Schwach gekrümmt (11-20 mm/lfd.m)	-5
	Deutlich gekrümmt (21-30 mm/lfd.m)	-7

9	Entastungsqualität	%
	Alle Stämme hervorragend entastet (Anteil Aststummel 0 %)	0
	Vereinzelt Stämme mit Aststummeln (Anteil Aststummel bis 20 %)	-2
	Einige Stämme mit Aststummeln (Anteil Aststummel bis 40 %)	-4
	Zahlreiche Stämme mit Aststummeln (Anteil Aststummel bis 60 %)	-5
	Große Anzahl von Stämmen mit Aststummeln (Anteil Aststummel bis 80 %)	-7
	Alle Stämme mit Aststummeln (Anteil Aststummel 100 %)	-8

Korrektur für die Stammform (Abholzigkeit)

10	Stämme mit leichter Abholzigkeit (11-20 mm/lfd. m)		Stämme mit großer Abholzigkeit (21-50 mm/lfd. m)	
	Volumenanteil 0-50 %	0	Volumenanteil 0-10 %	0
	Volumenanteil 50-70 %	-1	Volumenanteil 10-30 %	-1
	Volumenanteil 70-100 %	-2	Volumenanteil 30-80 %	-4
			Volumenanteil 80-100 %	-5

Korrektur für die Wurzelanläufe

11	Stämme mit großer Abweichung von der Zylinderform (ausgeprägte Wurzelanläufe)	
	Volumenanteil 0 %	0
	Volumenanteil bis 20 %	-3
	Volumenanteil bis 40 %	-5
	Volumenanteil bis 60 %	-9
	Volumenanteil bis 80 %	-10
	Volumenanteil bis 100 %	-13

Abbildung 31: Indexverfahren des Polterleitfadens von TAP 4.4

Nach entsprechenden Berechnungen kann das Punktemodell problemlos um weitere Baumarten erweitert werden.

Arbeitspaket 5: Forst-Holz-Logistikkette

Ein Zusammenwirken der Marktpartner an Prozessverbesserungen und Effizienzsteigerungen, die sich durch aufeinander abgestimmte Abläufe über die Unternehmensgrenzen hinweg ergibt, ist oft nicht vermittelbar und daher schwer umsetzbar, wenn eine Transparenz der Wirkzusammenhänge nicht gegeben ist. Daher war es ein wesentliches Anliegen von Arbeitsschwerpunkt 5 im Projektverlauf, auch diese Optimierungspotenziale und Synergieeffekte aufzuzeigen.

Ausgehend von Beobachtungen in der Branche wurde die These formuliert, dass bezüglich einzelner Messverfahren eine mangelnde Akzeptanz der Akteure innerhalb der Supply-Chain zu verzeichnen ist. Arbeitsschwerpunkt 5 umfasste lt. Projektantrag daher vier Teilarbeitspakete in denen Untersuchungen zur Überprüfung der aufgestellten These erfolgen und Maßnahmen zur Überwindung der Akzeptanzprobleme erarbeitet werden sollten. Diese sind:

1. TAP 5.1 Beschreibung und Analyse der Holzver- und Holzeinkaufsprozesse,
2. TAP 5.2 Effekte und Wirkungen veränderter Holzverkaufs- und Holzeinkaufsprozesse,
3. TAP 5.3 Akzeptanzanalyse zu Rundholzmessverfahren,
4. TAP 5.4 Forst-Holz-Logistikketten in Modellregionen.

Ziel des Teilarbeitspakets 5.1 unter Federführung des Fraunhofer IFF war es, relevante Einkaufsprozesse für Industrie- und Sägerundholz zu beschreiben, modellhaft abzubilden und zu analysieren. Dabei waren interne und externe Einflussfaktoren auf die Holzeinkaufsprozesse, sowie deren Wirkungen auf den Gesamtprozess, auf vor- und nachgelagerte Prozesse der Holzindustrie und auf die Prozesse der beteiligten Partner zu ermitteln. Teilarbeitspaket 5.2 wurde ebenfalls federführend durch das Fraunhofer IFF bearbeitet und zielte darauf ab, mit Hilfe eines szenario-basierten Vergleichs die Veränderungen durch die Einführung neuer Verfahren in den Einkaufsprozessen zu beschreiben und daraus entstehenden Chancen und Risiken zu bewerten.

Ziel des federführend durch das KWF bearbeiteten Teilarbeitspakets 5.3 war es, die Akzeptanz der verschiedenen Rundholzmessverfahren und der daraus resultierenden veränderten Holzeinkaufsprozesse bei relevanten Akteuren der Forst-Holz-Kette in einem breiten Kreis mit Praktikern zu analysieren. Hierzu war eine Onlineumfrage zu entwickeln, die durch einen Pre-Test evaluiert, dann auf der Basis der Erkenntnisse verbessert und schließlich von dem o.g. breiten Anwenderkreis beantwortet werden sollte.

Das abschließende Teilarbeitspaket 5.4 zielte unter Leitung der HNEE ursprünglich auf die Einrichtung von zwei Modellregionen, in denen sortimentsbezogen Forst-Holz-Logistikketten demonstriert werden, um auf Basis der TAP 5.1.- 5.3. die gezielte Implementierung von technischen und organisatorischen Maßnahmen zum geeigneten Einsatz von Methoden und Verfahren zur Maßermittlung sowie zur Optimierung des Daten- und Informationsflusses bei der Rundholzbereitstellung vorzustellen.

TAP 5.1: Beschreibung und Analyse der Holzver- und Holzeinkaufsprozesse

Ausgehend von der Zielstellung relevante Einkaufsprozesse für Industrie- und Sägerundholz zu analysieren, diese modellhaft abzubilden und interne sowie externe Einflussfaktoren auf die Holzeinkaufsprozesse zu untersuchen, wurde zunächst eine Literaturanalyse durchgeführt. Ziel dieser Literaturuntersuchung war es, Vorarbeiten in der Branche hinsichtlich der Gemeinsamkeiten und Unterschiede der vorgenommenen Prozessanalysen zu untersuchen und einen geeigneten Detaillierungsgrad für die Prozessmodellierung im Rahmen des Projektes abzuleiten. Im Ergebnis dieser Untersuchung, in die verschiedene nationale Publikationen zu Projekten einflossen, in denen die Forst-Holz-Logistikprozesse betrachtet wurden, konnte festgestellt werden, dass der Detaillierungsgrad der Prozessmodellierung stark in Abhängigkeit von der jeweiligen Zielstellung variierte.

Die folgende Abbildung 32 stellt einen Auszug aus der Ergebnisdarstellung der Literaturuntersuchung vor.

Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Prozessanalysen
Literaturauswertung

- Literaturanalyse (Quelle [1] v. Bodelschwingh)

Zielsetzung	Belegen bzw. wiederlegen der These: Durch ein effizientes Supply Chain Management lassen sich nachhaltige Wertschöpfungspotentiale in der Rundholzlogistik der deutschen Forst- und Holzwirtschaft erschließen Beitrag zur Behebung der Mängel der Versorgungsketten der Forst- und Holzwirtschaft durch eine ausführlichen Analyse der gesamten Holzerntekette
Betrachtungsbereich (Abgrenzung)	Betrachtung der organisatorischen, operativen und administrativen Tätigkeiten der Holzerntekette (Angefangen bei der Planung, über Aufarbeitung, Rücken, Transport, bis hin zur Fakturierung)
Prozessmodellierungs-verfahren	Stärken- & Schwächeprofil des Informationsflusses in der Holzerntekette wird abgebildet und nach begleitenden, vor- & nachlaufenden Informationen differenziert Zur Abbildung des Materialflusses wurde ein Diagramm verwendet. Dieses zeigt die Dauer einzelner Arbeitsschritte auf und die dazwischenliegenden Leerzeiten
Detailierungsgrad	Der Detaillierungsgrad wurde sehr genau gewählt, um quantitative Aussagen zu Maschinenauslastung, Hiebsmengen, Nutzlast und Leerfahrten etc. treffen zu können

Abbildung 32: Auszug aus der Dokumentation der Literaturuntersuchung

Ausgehend von der Literaturbetrachtung wurde ebenfalls festgestellt, dass für die Modellierung der Holzeinkaufs- und Verkaufsprozesse eine vereinfachte Darstellung der Abläufe mit den wesentlichen Schnittstellen zwischen Holzverkäufer und Holzeinkäufer voraussichtlich ausreichend für die im Projekt definierte Zielstellung in Bezug auf die Messverfahren sein wird, da z.B. eher qualitative als quantitative Aussagen in Bezug auf unternehmensbezogene Abläufe für die Ermittlung von Wirkungen im Gesamtprozess erforderlich sind.

In einem weiteren Schritt der Bearbeitung von TAP 5.1 wurden die Prozessanalysen relevanter Einkaufsprozesse für Industrie- und Sägerundholz vorbereitet. Grundlage bildete eine grobe Prozessbeschreibung (Wald-Werk-Produktion) und eine Auswahl geeigneter Betriebe für Experteninterviews. Für die Befragungen wurden vier „repräsentative“ Unternehmen der Holzindustrie (1*Platte, 1*Zellstoff/Papier, 1*Sägewerk groß / Nadelholz, 1*Sägewerk klein / Laubholz) in Abstimmung mit den am AP 5 beteiligten Projektpartnern ausgewählt und angefragt. In Abstimmung mit diesen Partnern wurde der Umfang der Prozessanalysen erweitert und ergänzend zwei Forstbetriebe in den Befragungsumfang aufgenommen. Alle angefragten Betriebe, inklusive ausgewählter projektbeteiligter assoziierter Partner, sagten ihre Unterstützung zu.

Für die Prozessanalyse wurde im nächsten Schritt das Vorgehen definiert. Darin wurden folgende Schritte für die Untersuchung festgelegt, die im Weiteren die Basis für die Vorbereitung der Leitfragen für die Experteninterviews bildete:

1. Abgrenzung des Betrachtungsbereiches
2. Festlegung von Beginn und Ende des Holzeinkaufsprozesses
3. Definition der Prozessteilschritte in bedarfsgerechtem Detaillierungsgrad
4. Ermittlung der Schnittstellen zu anderen Prozesspartnern (Prozesse der beteiligten Partner, Akteure, Aufgaben, Bedarfe, u.ä.)

5. Ermittlung innerbetrieblicher Schnittstellen (relevante vor- und nachgelagerte Prozesse der Holzindustrie inkl. Akteure, Aufgaben, Erfordernisse)
6. Identifikation / Analyse interner und externer Einflussfaktoren im Prozess
7. Ermittlung von Wirkungen (der Messverfahren, Messhäufigkeit und -ergebnisse) auf den Gesamtprozess des Holzeinkaufs und ggf. auch -verkaufs
8. Ermittlung von Einflussfaktoren
9. Prozessmodellierung und -dokumentation

Aufbauend auf diese allgemeine Vorgehensbeschreibung wurden einerseits die Leitfragen im Experteninterview der Erstbefragung formuliert. Diese umfassen ausgewählte Fragestellungen zur Identifikation prozessbezogener Probleme und Herausforderungen bezüglich der Mengenermittlung, wie z.B.:

1. Welches sind die Kernprobleme in Bezug auf Messungen im Prozess?
2. Wer steht vor welchen Herausforderungen?
3. Welche Messverfahren werden eingesetzt und mit welcher Häufigkeit
    1. Wer misst wann, womit, was, mit welchem Ziel (intern, extern)?
4. Welche Prozess- und Datenschnittstellen (inkl. Standards) sind zu benennen?
    1. Wer verwendet die Messdaten und wie?
    2. Wie werden die Messergebnisse übertragen?
5. Was wird zu welchem Zweck und wie lange dokumentiert?
6. Welche Herausforderungen bestehen intern (z.B. Genauigkeiten, Abweichungen, Datenlücken, Aufwand)?
7. Welche weiteren Herausforderungen sind bekannt?

Andererseits wurde festgelegt, dass im Rahmen der Untersuchung der Prozesse nach dem Pareto-Prinzip eine Konzentration auf Hauptprozesse im Holzverkauf/Holzeinkauf erfolgen soll, um die Vielfalt möglicher Sonder- und Einzelfälle nicht in die Untersuchung einfließen zu lassen.

Der Detaillierungsgrad der Prozessanalysen sollte so gewählt werden, dass sämtliche Ermittlungen von Maßen durch Messverfahren aber auch durch Schätzungen erfasst werden können. Dabei waren auch Maße in Betracht zu ziehen, welche von beauftragten Unternehmen der Waldeigentümer oder der Holzindustrie ermittelt werden. Zudem sollten die Einheiten der ermittelten oder übergebenen Daten sowie die Verfahren zur Maßermittlung erhoben werden. Im Rahmen der Prozessdokumentation war es das Ziel, alle wesentlichen Haupt- und Nebenprozesse im Holzeinkaufs- bzw. Verkaufsprozess bei den befragten Betrieben zu erfassen.

Für die Aufnahme und Modellierung der Prozesse wurden Ereignisorientierte Prozessketten, sogenannte EPKs ausgewählt, welche zunächst händisch aufgezeichnet und später digital dokumentiert und visualisiert wurden.

Die in den EPKs verwendeten Symbole wurden bei der Dokumentation angelehnt an die DIN 66001 eingesetzt. Die Bedeutung relevanter Darstellungen zeigt Abbildung 33.

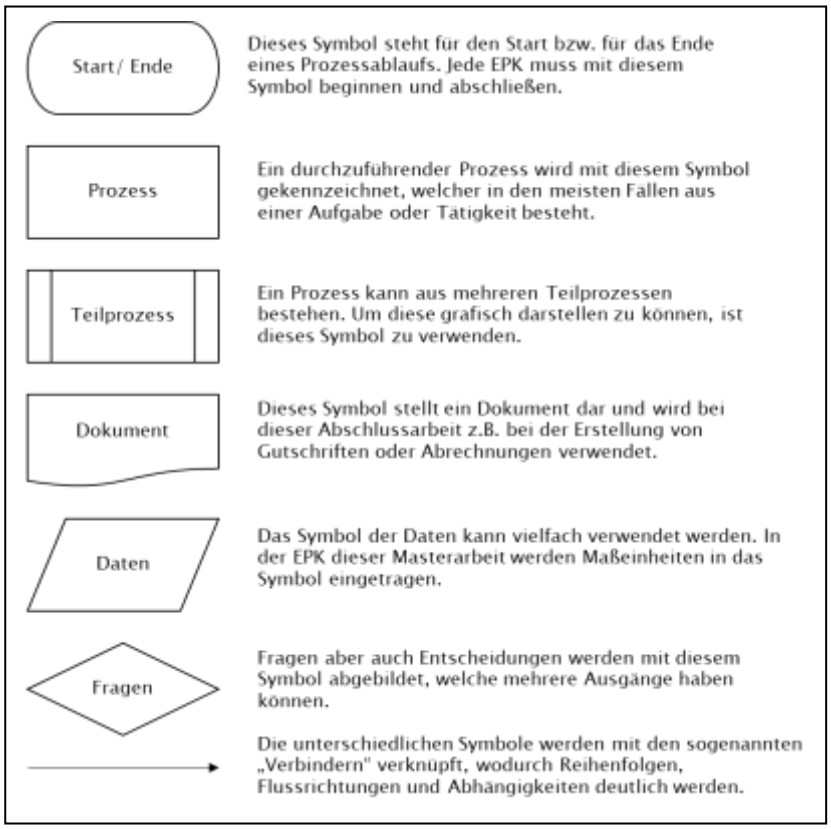


Abbildung 33: Symbole der Prozessmodellierung und deren Bedeutung

Im Ergebnis der Befragungen wurde für die sechs in die Untersuchung einbezogenen Betriebe jeweils eine Prozessdokumentation erstellt und abgestimmt, die einerseits die jeweils wichtigsten Schritte im Einkaufs-/Verkaufsprozess, die Art und Anzahl der Maßermittlungen (Verfahren, Einheiten) im Prozess sowie die Prozessschnittstellen zu anderen Partnern dokumentierte. Bei der Dokumentation der Maßermittlungen und der dabei eingesetzten Verfahren wurde eine Unterscheidung in Verkaufs- und Kontrollmaßermittlungen vorgenommen.

Die folgenden Abbildungen zeigen zwei ausgewählte Beispiele dieser Prozessdokumentation zu verschiedenen Zeitpunkten der Abstimmung mit den Befragten für den Teilprozess „Vertragsabschluss".

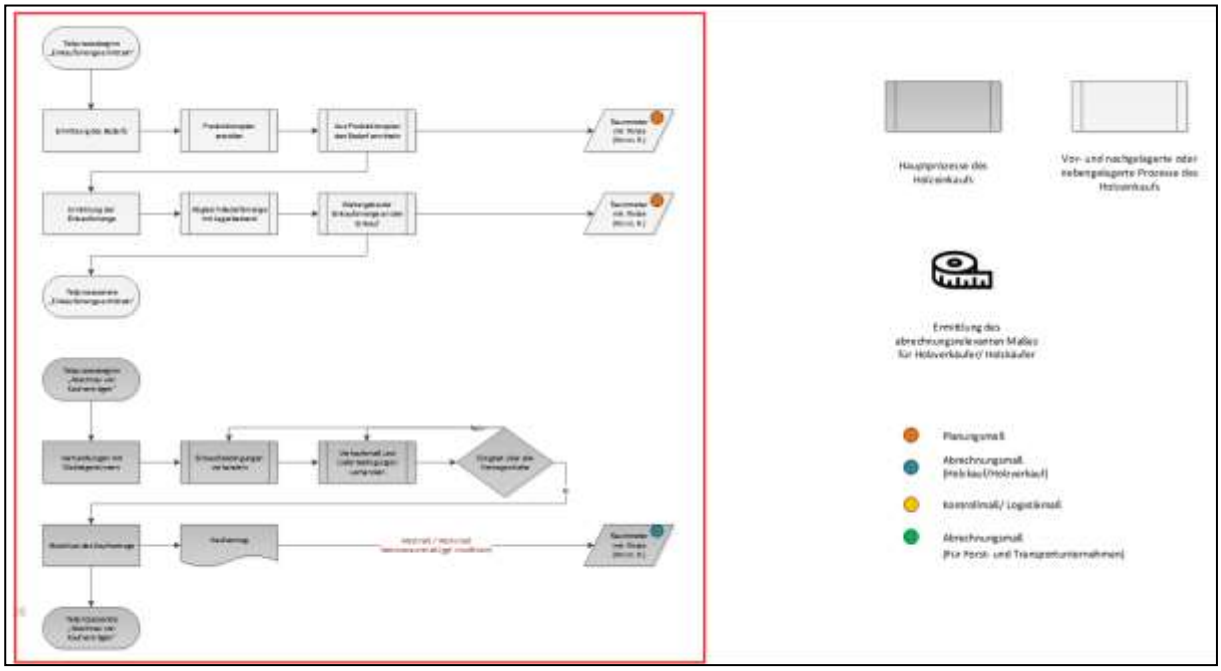


Abbildung 34: Dokumentation des Teilprozesses „Vertragsabschluss“ nach der Erstbefragung im Interview

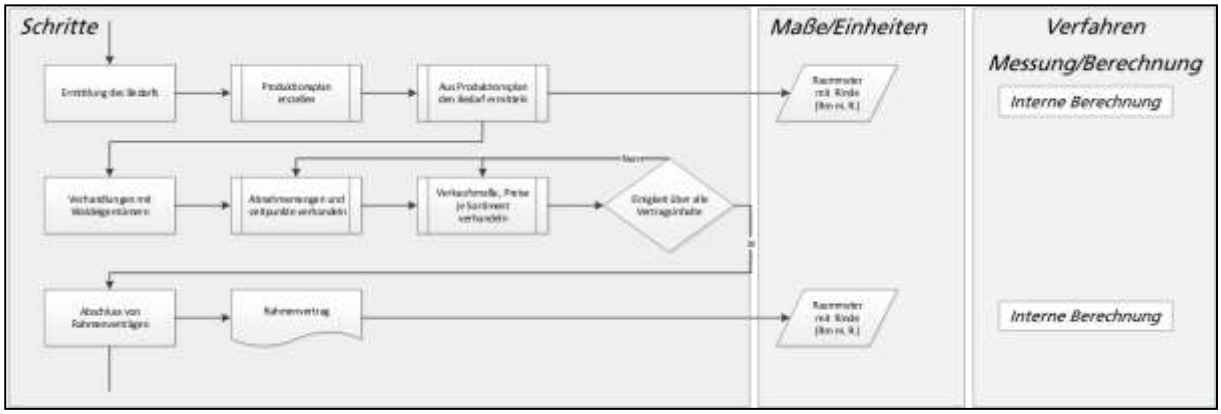


Abbildung 35: Dokumentation des Teilprozesses „Vertragsabschluss“ nach Abschluss der Befragungen

Ergänzend zu den Prozessdokumentationen, die im weiteren Projektverlauf auch die Grundlage weiterer Modellierungen und Umsetzungen im Rahmen der zu betrachtenden Szenarien bildete, erfolge die Auswertung der leitfragengestützten Interviews. Die wesentlichen Erkenntnisse können wie folgt zusammengefasst werden.

Im Hinblick auf Beeinflussungen der Holzeinkaufsprozesse konnten zunächst die in Abbildung 36 dargestellten Faktoren als wesentliche Größen herausgearbeitet werden.

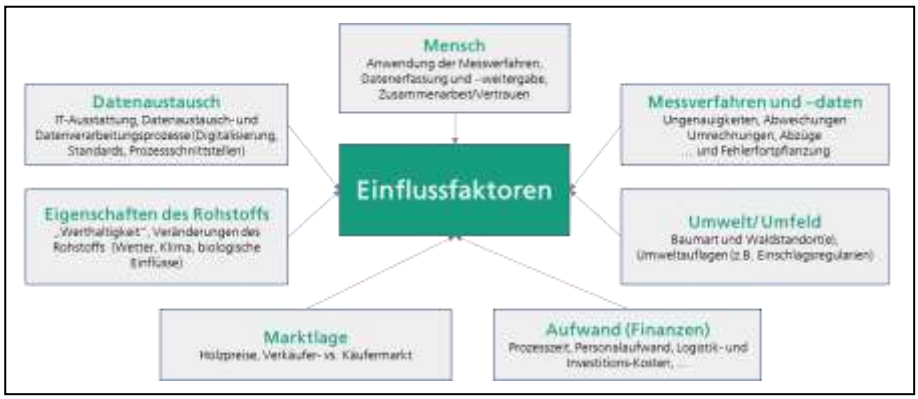


Abbildung 36: Ermittelte Einflussfaktoren auf Holzeinkaufs-/Holzverkaufsprozesse

Als Ergebnis der Befragungen zur Wirkung (verschiedener Maßermittlungsverfahren) im Gesamtprozess sowie in den eigenen internen Prozessen der Befragten sowie die Prozesse der jeweils an eigenen Prozessen beteiligten Marktpartner ist festzuhalten, dass für abrechnungsrelevante Maßermittlungen Verfahren lt. RVR angewendet werden, zur Ermittlung von Kontrollmaßen hingegen die unterschiedlichsten Verfahren genutzt werden. Entscheidungen zur Auswahl konkreter Maßermittlungsverfahren in den eigenen Prozessen legen Betriebe insbesondere das Verhältnis von Aufwand und Nutzen zugrunde.

Entlang der Bereitstellungskette Holz sind somit über verschiedene Partner und Prozessbeteiligte hinweg sowie in den einzelnen Prozessschritten eine große Vielfalt an Maßermittlungsverfahren und damit einhergehend auch an Maßeinheiten in den (Teil-)Prozessen zu verzeichnen.

Die Befragungen zur Ermittlung möglicher Probleme in Form von Abweichungen und Meinungsverschiedenheiten bezüglich der im Rahmen eines Teilprozesses vom jeweiligen Vertragspartner ermittelten Maße und Mengen ergaben folgendes Bild: Bei Verkäufen nach Waldmaß einigen sich die Vertragspartner Vor-Ort, wobei die Festlegung der (Handels-)Menge in beiderseitigem Einvernehmen erfolgt. Dies schließt die Festlegung der anzuwendenden Umrechnungs- bzw. Abzugsfaktoren im Rahmen der RVR ebenso ein, wie die Nutzung vorhandener Spielräume durch Qualitätsbeurteilungen. Verkäufe nach Werksmaß erfolgen ebenso in beiderseitigem Einvernehmen, wobei hier i.d.R. die Festlegungen und Vertragsmodalitäten zu Beginn des Prozesses vertraglich vereinbart werden. Um hierbei mögliche Intransparenz zu reduzieren, nutzen ausgewählte Holzverkäufer bereits die Möglichkeiten, das Werksmaß bzw. die Messeinrichtungen am Werkseingang ihrerseits (z.B. t-atro) zu auditieren und damit Kontrollen bei den Marktpartnern durchzuführen. Unbenommen dessen werden bestehende Risiken bei Verkäufen nach Werksmaß für die Verkäufer benannt, die darin bestehen, dass Qualitätseinstufungen (z.B. LAS) erst im Werk stattfinden. Abweichungen des Werksmaßes vom Waldmaß, d.h. vom Kontrollmaß der Forsten, haben insgesamt viele mögliche Ursachen. Unbestritten bleibt jedoch, dass mögliche Qualitätsveränderungen über die Zeit – von der Bereitstellung bis zum Werkseingang – beispielsweise durch natürliche Einflüsse oder den Logistikprozess nicht oder nur schwer nachvollziehbar und abbildbar sind.

Prozessbezogene Probleme und Herausforderungen bezüglich der Maßermittlung zeigten sich im Rahmen der Befragungen zum einen auf (inner-)betrieblicher Ebene. Hier wurden insbesondere solche Herausforderungen als sehr relevant benannt, die durch die Verwendung der im Prozess ermittelten Maße mit unterschiedlichen Einheiten zurückzuführen sind. Diese Herausforderungen entstehen insbesondere dann, wenn sie nicht nur im Verkaufsprozess, sondern auch in weiteren (internen) Prozessen Anwendung finden. Bei den entstehenden Problemen geht es dann vorrangig um den Umgang mit Ungenauigkeiten und Abweichungen auf Datenebene, die bei Einsatz verschiedener Maßermittlungsverfahren zwangsläufig entstehen. Auch über punktuelle Abweichungen in Holzmengen wird berichtet. Dabei wird angegeben, dass diese eine Größenordnung von bis zu 30% bei einzelnen Handelsmengen annehmen können. Insgesamt wird jedoch angegeben, dass die Summe der Abweichungen über alle gehandelten Mengen, speziell bei Marktpartnern die größere Mengen Holz handeln, zumeist im unteren einstelligen %-Bereich der Gesamtmenge liegen.

Der elektronische (standardisierter) Datenaustausch, der in der Branche und auch im Rahmen des Austausches ermittelter Maßinformationen im Holzbereitstellungsprozess zu wenig etabliert ist und teilweise gar nicht genutzt wird, wird nicht als Kernproblem im Rahmen der Befragungen benannt. Er sei, so die Aussage, für einen effizienten Holzeinkaufs-/ Holzverkaufsprozess eine notwendige, aber für die „Akzeptanz“ der Messverfahren, Messwerte oder Mengen keine hinreichende Bedingung. So entstünden durch „Fehler im Prozess deutlich mehr Verluste i.S. eines erhöhten Aufwands für die Betriebe als durch das Messen“. Konkret benannt wurden dabei Ursachen, wie entstehende Ungenauigkeiten beim Anwenden der Maßermittlungsverfahren, diverse Umrechnungsoperationen, vertauschte Chargen im logistischen Ablauf, die Suche nach Fehlerursachen und folgende Datenkorrekturen.

Im Ergebnis der Betrachtungen konnten die zu Projektbeginn aufgestellten Thesen damit nicht bestätigt werden, da Akzeptanzprobleme bezüglich der im Prozess eingesetzten Messgeräte und Messverfahren nicht festgestellt werden konnten.

Als Schwachpunkt in den Holzeinkaufs- und Verkaufsprozessen wurde jedoch eine fehlende Markttransparenz bei der Preisbildung herausgestellt. Dieser steht in einem engen Zusammenhang mit Akzeptanz- und Vertrauensproblemen bezüglich der *Berechnungen* konkreter Mengen auf Basis einer Messung. Im Rahmen der Mengermittlung werden je nach Verfahren auf Basis einer oder mehrerer Messungen Faktoren (Abzüge, Umrechnungen) verwendet. Anhand der durch Berechnung ermittelten Menge je Einheit ist im Ergebnis kein Rückschluss mehr auf die Größenordnung der konkret verwendeten Faktoren möglich. Die Anwendung von Faktoren und die Nutzung vorhandener Spielräume bei deren Festlegung im Einzelnen wird als intransparent und somit problematisch herausgestellt und führt zu Akzeptanzproblemen im Prozess.

Zusammenfassung der Kernaussagen

1. Akzeptanzprobleme bezüglich der Messgeräte/Messverfahren konnten im Ergebnis der Untersuchungen nicht festgestellt werden.
2. **Akzeptanzprobleme** wurden jedoch bezüglich der Berechnungen der Maße i.S. der **verwendeten** Faktoren (A**bzüge, Umrechnungen)** erkannt
    1. Problematisch ist dabei insbesondere fehlende Transparenz bzgl. der Anwendung von Faktoren und der Nutzung vorhandener Spielräume

TAP 5.2 Effekte und Wirkungen veränderter Holzver- und Holzeinkaufsprozesse

Aufbauend auf die Ergebnisse der Prozessanalysen im TAP 5.1 sollten im TAP 5.2. Szenarien veränderter Prozesse für den Holzeinkauf- bzw. -verkauf abgeleitet werden, die zur Überwindung erkannter Herausforderungen potenziell geeignet scheinen.

Die ursprüngliche Zielsetzung des TAP sah dabei den Aufbau von Szenarien vor, in denen neue Methoden und Verfahren zur Maßermittlung in den einzelnen Schritten von Einkaufs-/Verkaufsprozessen eingesetzt werden oder der Einsatz der Verfahren in Art und Anzahl in den einzelnen Prozessschritten geändert werden.

Für so definierte Szenarien sollten einerseits Chancen und Risiken für die Umsetzung ermittelt und beurteilt werden. In einem anschließenden Vergleich sollten dann Szenarien ermittelt und priorisiert werden, die einerseits den Akzeptanzanalysen in TAP 5.3 und andererseits den Demonstrationen in TAP5.4 zugrunde gelegt werden sollten.

Ausgehend von den Ergebnissen der Prozessanalysen, die zeigten, dass keine Akzeptanzprobleme bezüglich der eingesetzten Messgeräte oder -verfahren im Prozess feststellbar sind, war zu schlussfolgern, dass sich eine Änderung der Messverfahren in Art und Anzahl auf die ermittelten Herausforderungen in Verkaufs-/Einkaufsprozesse wenig auswirken würde. So könnten grundsätzlich Effizienzverbesserungen im Sinne einer Aufwandreduzierung im Einzelfall erreicht werden oder Verbesserungspotenziale im Prozess in Bezug auf den elektronischen Datenaustausch gehoben werden.

Zur Überwindung erkannter Herausforderungen bezüglich der Verwendung von Faktoren bei der Berechnung von Mengen oder zur Qualitätseinstufung müssen Änderungen im Prozess an anderer Stelle ansetzen, als bei den Messverfahren. Da entsprechend auch die im Projekt zu betrachtenden Szenarien inhaltlich anzupassen waren, wurden im Konsortium zunächst folgende Fragen diskutiert:

1. Wo werden aus den Arbeiten bzw. den Erkenntnissen anderer AP Ansätze für neue Szenarien und/oder Prozessänderungen gesehen?
2. Welche Betrachtungen (Szenarien) und Demonstrationen sind in Bezug auf das Projektziel hilfreich?
3. Sind die geplanten Akzeptanzanalysen bzgl. der Messverfahren weiterhin erforderlich oder in welcher angepassten Form sollen diese durchgeführt werden?

In die Diskussionen mit Projektpartnern zur Festlegung von an die Ergebnisse der Analyse angepassten Szenarien wurden auch Ideen und Ansätze eingebracht, die im Rahmen der Expertenbefragungen identifiziert werden konnten. Dies waren unter anderem:

4. die einheitliche Festlegung EINER maßgeblichen Einheit bzgl. des Holzgehalts je Baumart oder Sortiment für den Rohholzhandel,
5. die Holzsortierung ausschließlich auf Basis definierter messbarer Kriterien („Holzsortierung der Zukunft“),
6. ein Forschungsansatz für die Sägeholz-Werkseingangsvermessung, der einerseits die Detektion, Dokumentation und Mustererkennung im Rahmen der Qualitätssortierung und andererseits eine Automatisierung der Qualitätssortierung umfasst,
7. der Einsatz „neutraler Instanzen“ zur Ermittlung der Verkaufsmaße auf Basis des Waldmaßes („Verkaufsmaßermittlung als Dienstleistung“)
8. die ausschließliche Nutzung physikalischer Messwerte im Holzhandel, d.h. eine Maßermittlung ganz ohne Faktoren“ sowie
9. eine komplette Umstellung auf Werkseingangsmaße als Verkaufsmaße.

Im Ergebnis der Diskussion sahen die Projektpartner insbesondere in folgenden Ansätzen Verbesserungspotenziale im Prozess:

1. in der Reduktion verbindlicher Abrechnungsmaße (Umstellung auf „nur Werksmaß“, „nur Waldmaß“),
2. in der Maßermittlung durch „neutrale Instanzen“,
3. im Verzicht auf den Einsatz von Faktoren bei der Maßermittlung sowie
4. im elektronischen Datenaustausch mit innovativen Technologien (Blockchain-Ansatz).

Diese (theoretischen) Änderungen in den Abläufen des Holzeinkaufs bzw. -verkaufs sollten im Ergebnis einer entsprechenden Festlegung durch das Konsortium den weiteren Untersuchungen und Betrachtungen im AP5 sowie der Definition der Szenarien zugrunde gelegt werden. Anhand einer szenariobasierten Betrachtung sollte hierbei einerseits eine Stärken-Schwächen-Analyse durchgeführt und ein Ansatz ausgewählt werden, der als eigenständiges Szenario eingehender betrachtet und in Form einer Demonstration umgesetzt werden sollte.

In Bezug auf die im TAP 5.3. vorgesehenen Akzeptanzanalysen bzgl. der eingesetzten Messverfahren wurde festgestellt, dass im Rahmen von AP keine entsprechende Notwendigkeit zur Durchführung gegeben ist. Jedoch wurde ausgehend von den Erkenntnissen AP 3, TAP 3.3: „Lastenheft fotooptische Messverfahren“ empfohlen, eine Befragung zur Erhebung ergänzender Informationen zu den im Prozess eingesetzten Maßermittlungsverfahren an die Arbeiten zur Erstellung des „Lastenhefts fotooptische Messverfahren“ anzuschließen. Daher wurde festgelegt, die im AP 5 geplanten Befragungen an die Bedarfe des AP 3 anzupassen und entsprechend begleitend zur „Erstellung des Lastenheftes für fotooptische Messverfahren“ durchzuführen sowie auszuwerten.

Nach diesen Festlegungen zu einem angepassten Vorgehen wurden zunächst die Szenarien für die durchzuführenden Stärken-Schwächen-Analysen konkretisiert. Diese werden im Folgenden grob umrissen.

Szenario 1 sieht die komplette Umstellung auf einen einheitlichen Messpunkt zur Ermittlung der Verkaufsmaße, d.h. komplette Umstellung auf Werkseingangsmaße als Verkaufsmaß mit und ohne Einsatz „neutraler Instanzen“ zur Ermittlung der Verkaufsmaße vor. Ausgangspunkt dieses Szenarios ist die Feststellung, dass vielfach nur am Werkseingang Möglichkeiten zur Verfügung stehen bzw. geschaffen werden können, die Holzmengen (messtechnisch) genau zu bestimmen. Die „neutralen Instanzen“ sind dabei allgemein als Dienstleister in Analogie zu „virtuellen oder realen Holzverteilzentren“, „Holzhöfen“ o.ä. zu verstehen. Sie könnten beispielsweise einen Beitrag dazu leisten, eine Einheitlichkeit der Anwendung von Maßermittlungsverfahren zu erreichen und Intransparenz bzgl. Mengen- und Maßermittlung auf Grund individueller, bilateraler Vereinbarungen der Marktpartner abzubauen.

Szenario 2 setzt auf eine vollständige Umstellung der Verkaufsmaßermittlung nach Waldmaß inkl. verstärkter Einsatz fotooptischer Verfahren zur Ermittlung des Waldmaßes, wiederum mit und ohne Einsatz „neutraler Instanzen“ zur Ermittlung der Verkaufsmaße. Ausgangspunkt dieses Szenarios war der Gedanke, dass eine Prozessoptimierung und Aufwandsreduzierung (speziell in forstlichen Abläufen) durch Einsatz von Foto-Apps ebenso erreichbar sein können, wie eine Reduzierung des Einflusses des Fehlers

„Mensch“ bei der Waldmaßermittlung mit anderen Maßermittlungsverfahren. Der flächendeckende Einsatz z.B. des eichrechtlich bereits für die Verkaufsmaßermittlung zugelassenen Dralle-Verfahrens ist derzeit aus Kostengründen für viele Forstbetriebe eher unwahrscheinlich.

Das Szenario 3, mit dem eine ausschließliche Nutzung physikalischer Messwerte im Holzhandel angenommen wird, d.h. „Maßermittlung ganz ohne Faktoren“, geht auf Ansätze zurück, die aus Schweden („Schwedisches Modell“) bekannt sind. Hierbei wird auf eine individuelle Dokumentation aller entscheidungsrelevanten Größen, die für Abzüge und Reduktionen bei der Maßermittlung angewendet werden, abgezielt.

Szenario 4 beschreibt den durchgehend (standardisierten) digitalen Datenaustausch unter Nutzung der Block-Chain-Technologie als Grundlage für die Dokumentation und Auswertung aller im Prozess ermittelten Maße, von der Planung über die Ernte bis zum Werkseingang beim Abnehmer. Wie oben beschrieben zielt dieses Szenario darauf ab, möglicher Potenziale der Blockchain-Technologie im Holzeinkaufs- bzw. Holzverkaufsprozess und ggf. darüberhinausgehend auch in weiteren betrieblichen Prozessen zu ermitteln und darzustellen.

Die für die Szenarien durchgeführten Stärken-Schwächen-Analysen kommen zu dem Ergebnis, dass eine Umsetzung der Szenarien 1-3 unter den gegebenen Randbedingungen in der Branche nicht zwingend und gleichermaßen zu Gunsten aller Prozessteilnehmenden eine Verbesserung des Gesamtprozesses mit sich bringt und für eine Demonstration im TAP 5.4 weniger geeignet sind. Verbesserungen in Bezug auf eine erhöhte Transparenz oder Genauigkeit der Maßermittlungen stehen vielfach höhere Kosten oder höhere Aufwände, teilweise auch einseitig nachteilige Wirkungen oder Veränderungen, gegenüber, sodass eine Akzeptanz der Änderungen eingeschränkt ist. Exemplarisch zeigen Abbildung 37 und Abbildung 38 das Ergebnis der durchgeführten Stärken-Schwächen-Analyse für das Szenario 1 und 1a (mit und ohne Einsatz „neutraler Instanzen“).

Abbildung 37: Stärken-Schwächen-Analyse für Szenario 1 „Komplette Umstellung auf Werkseingangsmaße als Verkaufsmaß“

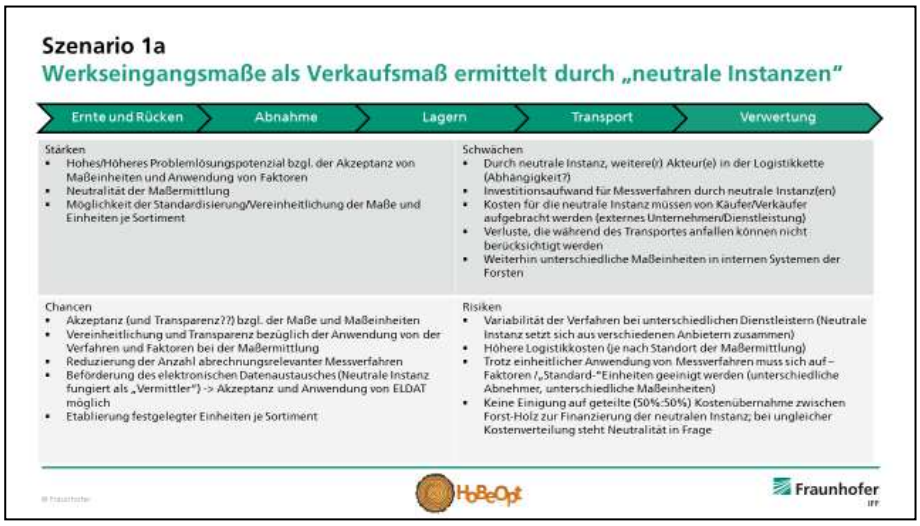


Abbildung 38: Stärken-Schwächen-Analyse für Szenario 1a „Werkseingangsmaße als Verkaufsmaß ermittelt durch „neutrale Instanzen"

Erste Betrachtungen zum Szenario 4, in denen zunächst die Potenziale, aber auch die bestehenden Hemmnisse des akteursübergreifenden digitalen Datenaustausches im Prozess zusammengetragen und aufbereitetet wurden, machten Stärken und Chancen des Ansatzes deutlich. Beispielhaft genannt seien Möglichkeiten zur durchgehenden Dokumentation aller im Prozess ermittelten Maße durch digitale Erfassung und Weitergabe entlang der Supply Chain, die Reduzierung von Medienbrüchen und damit verbundenem Aufwand sowie der Austausch weiterer digitaler (Prozess-)Informationen zum Materialfluss für alle Akteure.

Daraus hervorgehende Chancen zur Prozessverbesserung sind nicht neu. Grundsätzlich ergeben sich daraus Effizienzsteigerungspotenziale im Bereitstellungs- und Logistikprozess vom Wald zum Werk, nicht zuletzt durch die Digitalisierung weiterer Prozesse in der Branche mit Hilfe der sogenannten Industrie 4.0 Anwendungen, in denen auch innovative digitale Technologien wie Big Data, Data Mining, Mustererkennung, Blockchain und Künstliche Intelligenz Anwendung finden können.

Ebenso kann eingeschätzt werden, dass basierend auf der Umsetzung des digitalen Datenaustausches grundsätzlich Potenziale zur Erhöhung der (Prozess-)Transparenz vorhanden sind.

Einschränkend ist jedoch einerseits festzuhalten, dass sich ein standardisierter und durchgehender digitaler Datenaustausch über alle Prozessbeteiligten hinweg in der Branche und im Holzbereitstellungsprozess, trotz umfangreicher Bemühungen, bislang nicht durchsetzen konnte. Dies mag einerseits am individuellen Aufwand bzw. den (Investitions-)Kosten für die Umsetzung standardisierter Schnittstellen und Anwendungen für den Datenaustausch bei einigen Akteuren oder noch immer nicht ausreichend erkennbaren Nutzeffekten des digitalen Datenaustausches für einzelne Akteure (hier insbesondere Transport- und Forstdienstleistungsunternehmen) liegen.

Andererseits muss jedoch auch das Problemlösungspotenzial des digitalen Datenaustausches an sich bzgl. der Maße, Einheiten und der Verwendung qualitätsbestimmender Faktoren im Einkaufs-/Verkaufsprozess als sehr gering eingeschätzt werden. Insbesondere dann, wenn im Prozess lediglich eine digitale Abbildung der „IST-Situation" bzgl. des Austausches von Maß- und Mengeninformationen erfolgt. Das bedeutet, dass der digitale Austausch von Maß- und Mengeninformationen, die unter Einsatz

heterogener Verfahren ermittelt wurden, die in unterschiedlichen Maßeinheiten vorliegen und die unter Zugrundelegung individueller Faktoren berechnet wurden, keinen Beitrag zur Lösung der erkannten Herausforderungen leisten kann. Herausforderungen, wie mangelnde (Prozess-)Transparenz oder die Intransparenz der Verwendung von Faktoren bleiben bestehen und führen ggf. sogar zu steigenden Problemen im Datenhandling, d.h. zu erhöhten Aufwänden beim Umgang mit Abweichungen in internen Systemen der Prozessbeteiligten. Entsprechend würde ein klassischer durchgehend digitaler (standardisierter) Datenaustausch Nutzenpotenziale (erst) bei konsequenter Nutzung und Austausch von Informationen zu den ermittelten Maßen mit ausreichendem Detailierungsgrad heben.

Über die klassischen Ansätze des digitalen Datenaustausches hinausgehend, bei denen Informationen letztlich weiterhin bilateral zwischen Marktpartnern ausgetauscht und in einer Vielzahl meist betriebsinterner Datenverarbeitungssysteme vorliegen, sieht Szenario 4 den Einsatz der Blockchain-Technologie vor. Diese Technologie, die derzeit noch am Anfang der Nutzung in vielen Anwendungsbereichen steht, verspricht einen sicheren Datenaustausch und ein hohes Maß an Transparenz. Als dezentrale Technologie, die eine Analogie zu einer dezentralen Datenbank aufweist, zu der Datensätze nur hinzugefügt werden können, bietet Sie grundsätzlich Möglichkeiten zur Überwindung einer stark zersplitterten Datenhaltung. Im Kontext der Holzeinkaufs- und Verkaufsprozesse könnte diese Technologie also grundsätzlich Möglichkeiten bieten, branchenweit alle in den vielfältigen Prozessen ermittelten Maß- und Mengeninformationen für eine Auswertung und Nutzung zur Prozessoptimierung zusammenzuführen. Da die Blockchain-Technologie darüberhinausgehend auch ein hohes Maß an Manipulationssicherheit und Sicherheitsmechanismen im Hinblick auf Zugriffberechtigungen bietet, könnte sie auch die Vorbehalte in der Branche ausräumen, die gegenüber dem digitalen Datenaustausch im Hinblick auf die Vertraulichkeit von Daten bestehen.

Das Szenario 4 „Elektronischer Datenaustausch mit Blockchain-Technologie“ wurde entsprechend als das Szenario ausgewählt, welches in weitergehenden Untersuchungen detaillierter zu betrachten und den im TAP 5.4. geplanten Demonstrationen zu Grunde zu legen war. Im Rahmen der Demonstration sollten dabei anhand realer Daten mögliche Potenziale der Blockchain-Technologie im Prozess ermittelt und dargestellt werden.

Für weitergehende Analysen und in Vorbereitung einer Demonstration zum Szenario 4, welches den digitalen Datenaustausch unter Nutzung der Block-Chain-Technologie mit Fokus auf Betrachtung auf die Kernfrage:

„Welche Nutzeffekte könnte die Blockchain-Technologie (a) in Bezug auf die Maßermittlungen und den Holzeinkaufs- bzw. –verkaufsprozess und (b) darüber hinaus in Bezug die Holzbereitstellungsprozesse insgesamt (Innovationspotenziale) haben?“

untersuchen sollte, wurde zunächst die theoretische Annahme formuliert, dass sich der digitale Datenaustausch in der Branche durchgehend etabliert hat und ELDATsmart dabei eine relevante Grundlage bildet.

Daran anschließend wurden im TAP 5.2 in Vorbereitung der im TAP 5.4 erforderlichen exemplarischen Umsetzung einer Blockchain-Anwendung und der durchzuführenden Demonstration weitere theoretische

Betrachtungen und Vorarbeiten durchgeführt. Diese umfassten einerseits eine praxisnahe Aufbereitung von Grundlagen zur Blockchain-Technologie, andererseits zum Entstehen und der Fortpflanzung von Abweichungen und Fehlern bei der Maßermittlung. Die entsprechenden Vorarbeiten waren erforderlich, um einerseits die technischen Grundlagen für die Demonstration zu schaffen, anderseits um theoretische Grundlagen für das Anwendungsbeispiel und die Erläuterung entsprechender Zielstellungen der Demonstration für Praktiker aufzubereiten. Die Ergebnisse wurden entsprechend im Rahmen von TAP 5.4 aufgegriffen und im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit auf branchenspezifischen Veranstaltungen sowie im Rahmen von Workshops für Praktiker präsentiert. Im Folgenden werden die Arbeiten und Ergebnisse auszugsweise vorgestellt.

Betrachtungen zur Blockchain

Ihren Ursprung hatte die sogenannte Blockchain bei der Entwicklung der Kryptowährungen, d.h. im Zuge der Entwicklung von internetbasierten Finanztransaktionen. Bislang nutzen klassische Bezahlsysteme Finanzanstalten und verlassen sich auf diese bei der Abwicklung von Geld-Transaktionen. Eine Übertragung dieses Prinzips auf das Bezahlen im Internet hätte zur Folge gehabt, dass auch hier ein Mittelsmann wie eine Bank benötigt wird, der u.a. garantiert, dass das Geld real vorhanden ist, beim Empfänger ankommt und nicht doppelt ausgegeben wird. Für alle an solchen Transaktionen Beteiligten müsste als Voraussetzung für ein funktionierendes System entsprechendes Vertrauen zum Mittelsmann (Bank) gegeben sein, da alle Transaktionen beim Mittelsmann gebündelt werden. Gerade bei internetbasierten Transaktionen entsteht hierbei eine Schwachstelle. Diese betrifft den sog. Mittelsmann, denn er ist der einzige Akteur, der sicherstellen kann, dass Zahlungen getätigt werden und keine Doppelbuchungen entstehen. Fällt er einem Hack zum Opfer, ist das gesamte System in Gefahr.

Die Überwindung dieser Schwachstelle bildet den Ausgangspunkt der Entwicklungen zur Blockchain, denn gesucht wurde ein Zahlungsmittel, nebst entsprechenden Verfahren, das eingesetzt werden kann, ohne dass es eine Bank (Mittelsmann) braucht. Der Bitcoin ist eine solche sogenannte Kryptowährung, d.h. eine virtuelle Währung, die auf kryptografischen Beweisen anstelle von Vertrauen basiert und bei der Transaktionen mittels Kryptographie-Verfahren und Zeitstempel gesichert werden. Mit Bitcoin wurde eine der ersten und heute die vielleicht bekannteste Blockchain aufgebaut. Somit kommen Blockchain-Anwendungen ursprünglich aus der Finanzwirtschaft und zielen auf die Nutzung von Kryptowährungen. Heute wird Blockchain jedoch bereits auch für Anwendungen in anderen Bereichen eingesetzt. Beispiele sind E-Government-Anwendungen z.B. im Passwesen, Anwendungen im Tourismusbereich, wie Buchungs- und Abrechnungssystemen oder logistische Anwendungen, wie Lieferkettennachweise.

Was genau ist eine „Blockchain“?

Der Begriff Blockchain beschreibt zunächst einmal eine „technische Umgebung“. Die Blockchain stellt also eine (Programmier-)Umgebung und (Basis-)Algorithmen für entsprechende Anwendungen bereit. Diese umfassen beispielsweise Algorithmen und Programmbausteine für Kryptografie und Verschlüsselung, für das sog. Mining (Datenanalysen) sowie zur Umsetzung von Verfahren zur Authentisierung, Authentifizierung, Autorisierung und mehr.

Je nach Zugangsmöglichkeiten für Nutzende zur jeweiligen Anwendung werden drei Typen von Blockchains unterschieden. So gibt es:

1. Öffentlich, einschränkungsfrei zugängliche. Plattformbeispiele sind Bitcoin, Cardano.
2. Öffentlich, beschränkt zugängliche. Diese werden auch als konsortiale Blockchains bezeichnet. Ein entsprechendes Beispiel ist die Plattform Corda.
3. Privat, beschränkt zugängliche Blockchains, die z.B. unter Nutzung der Plattformen Hyperledger Fabric oder Sawtooth umgesetzt werden können.

Um die Funktionsweise einer Blockchain-Lösung bzw. -Anwendung zu erklären, bietet sich die Analogie zu einer dezentralen Datenbank an. Bei einer Blockchain-Anwendung (i.W. kurz Blockchain) sind die dezentralen Rechner/Computer aller Teilnehmenden in einem Netzwerk verbunden. Im Blockchain-Netzwerk sind diese Rechner (sog. Knoten) über Peer-to-Peer-Verbindungen direkt miteinander verknüpft und die Kommunikation erfolgt direkt zwischen den Computern ohne einen zwischengeschalteten Server. Der durch dieses Netzwerk gemeinsam verwaltete Datenbestand - die eigentliche Blockchain im Sinne einer Kette aneinandergereihter Datenblöcke - wird als vollständige oder abgekürzte Kopie auf jedem am Netzwerk teilnehmenden Knoten vorgehalten. Zum gemeinsamen Datenbestand, d.h. zur Blockchain, können Datensätze jeweils nur hinzugefügt werden, wobei jeder Eintrag in Form eines Datenblocks digital signiert und mit einem Zeitstempel versehen wird. Die Rechner der Teilnehmenden werden fortwährend mit der neuesten Version der Blockchain synchronisiert und somit hat die „Datenbank“ Kopien auf Millionen von Rechnern. Jede dieser Kopien enthält jeweils den aktuellen Stand (Transaktionsverzeichnis). Eingebaute Sicherheitsmechanismen erlauben, Manipulationsversuche zu erkennen und gewährleisten eine hohe Datenintegrität.

Diese und weitere Eigenschaften der Blockchain machen ihre Vorteile gegenüber anderen Anwendungen aus: Manipulationssicherheit und Unveränderlichkeit, Vertrauenswürdigkeit, Redundanz im Sinne einer hohen Ausfallsicherheit und Autonomie. Nachteilig wirken sich bei entsprechenden Vergleichen mit anderen Ansätzen und Lösungen beispielsweise folgende Aspekte aus:

1. Fehlende Interoperabilität (verschiedener Blockchains) und schwierige Integrierbarkeit in bestehende Systeme,
2. Redundanzen in Bezug auf Datenmengen und Speicherbedarf,
3. Der Ressourcenaufwand, z.B. der Energiebedarf für die Konsensfindung, d.h. für die auf Algorithmen basierende Sicherung von Integrität und Vertraulichkeit)
4. Eigenverantwortlichkeit und der Pflegeaufwand für Anwendungen, der z.B. bei Protokoll-/Algorithmen-anpassungen entsteht.

Für die Auswahl einer geeigneten Plattform für den Aufbau und zur Umsetzung Blockchain-basierter Anwendungen im betrieblichen Umfeld spielen neben prozessbezogenen Faktoren auch eine Reihe weiterer, z.B. IT-bezogener Kriterien, eine entscheidende Rolle. Daher wurden gängige Plattformen anhand von Literaturrecherchen bezüglich solcher Entscheidungskriterien näher betrachtet. Abbildung 39 zeigt mit einer tabellarischen Gegenüberstellung einen Auszug dieser Arbeiten und fasst wichtige Kriterien für eine Auswahl zusammen.

Kriterien	(Bitcoin)	Ethereum	Hyperledger Fabric	IOTA	Corda R3
Konsensalgorithmus	PoW	Pow/ PoS	PBFT	Tangle	Ohne?
Programmiersprache	C++	Solidity, Python, C++/ Java Script, Go	Java, Go	Rust	Kotlin/ Java Virtual Machine
Zugangsmöglichkeit	Öffentlich	Öffentlich	Privat	Öffentlich/Privat	Privat
Einschränkungen	frei	Frei/Beschränkung möglich	Berechtigungspflichtig	Frei / Beschränkung möglich	beschränkt
Energieaufwand	hoch	Hoch/ (ETH 2 niedrig)	Niedrig	Niedrig	Niedrig
Transaktionsgeschwindigkeit	gering	Mittel	Hoch	Sehr hoch	Hoch – sehr hoch
Manipulationsmöglichkeit	< 51% der Rechenleistung	< 51% der Rechenleistung	< 33 % fehlerhafte Repliken	1/3 von der hashpower (Replay Attacken)	
Sektor	Finanzen/ Kryptowährung	Geschäftsprozesse/ Smart Contracts	Geschäftsprozesse/ Smart Contracts	IIoT/M2M-Kommunikation/Smart Ctiies	Finanzen +
Open-Source	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Kosten (Teilnahme Netzwerk + Gebühren)	Sehr hoch	Hoch		Niedrig	(Mittel)

Abbildung 39: Gegenüberstellung gängiger Blockchain-Plattformen 2 [7]

Als wesentliche Voraussetzungen für die Umsetzung Blockchain-basierter Anwendungen sind im Weiteren eine ausreichende Rechen- und Speicherkapazität zur Verfügung zu stellen sowie ein an die Anwendung angepasstes Transfer- und Datenvolumen sicherzustellen, da, wie beschrieben, alle Transaktionen internetbasiert abzuwickeln sind. Der Aufbau Blockchain-basierter Anwendungen erfordert ein hohes Maß an Fachexpertise im IT-Bereich. Daher muss darauf hingewiesen werden, dass ein entsprechendes Know-How auf betrieblicher Ebene entsprechend verfügbar sein muss oder aufzubauen ist.

Für die Umsetzung einer spezifischen Anwendung stehen Betrieben dann grundsätzlich zwei Optionen offen. Diese bestehen in der kompletten Eigenentwicklung der Lösung mittels einer Open-Source Blockchain-Softwareplattform oder der Inanspruchnahme entsprechender Blockchain-as-a-Service (BaaS)-Angebote. In der Regel stellen bei BaaS größere IT-Dienstleister eine Umgebung bereit, mit der eine spezifische Lösung mit geringerem Aufwand und geringerer Wahrscheinlichkeit für Probleme und Fehler bei der Entwicklung erstellt werden kann. Damit kann häufig eine schnellere Fertigstellung und Einsatzbereitschaft erreicht werden. Das Angebot eines Baas-Dienstes umfasst dabei i.d.R. folgende Komponenten, die bei einer Eigenentwicklung individuell aufzubauen sind:

1. Bereitstellung von Transaktions- und Validierungsknoten (Netzwerkarchitektur),
2. Bereitstellung von Speicher (z.B. in GB pro Monat für die Blockchain-Teilnehmer),

---

2 Begriffsbestimmungen zur Tabelle:

1. Proof of Work (PoW). Konsenserstellung durch einen Arbeitsnachweis. Für die Erstellung oder Bestätigung eines Blocks für eine Transaktion muss der Akteur Arbeit im Sinne von Rechenleistung erbringen (Mining) □ hierdurch entstehen die Kosten
2. Proof of Stake (PoS):Anstatt des Minings wird per Zufallsverfahren ein Akteur (Validator) ausgewählt, um einen Block zu erstellen oder bestätigen. Die Validatoren hinterlegen als Sicherheit Geld anstelle von Rechenleistung. Nur kombinierbar mit einer Kryptowährung
3. Proof of Authority (PoA): Private Netzwerke bei denen die Rechte für die Teilnehmer festgelegt werden z.B. staatliche Institutionen
4. Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT): Ähnlich PoA, Knoten wird durch beschlossenen Regeln bestimmt. (Mehrrundenprozess)
5. Manipulationssicherheit: Im Bezug auf die Blockchain werden hier Möglichkeiten betrachtet das Netzwerk durch gezielte Angriffe zu manipulieren

3. Blockchain-Datamanager (Software zur Erfassung und Übermittlung von Transaktionen).

Mit anderen sog. Open-Source Blockchain-Softwareplattformen (z.B. Hyperledger Fabric Composer, Ethereum Virtual Machine, Corda) ist die Eigenentwicklung von Anwendungen möglich. Diese Softwareplattformen bieten eine Umgebung zur Erstellung eigener Anwendungen und werden von einer Community an Entwicklern gepflegt und ausgebaut.

Die Schritte zur Umsetzung einer individuellen Blockchain-Anwendung umfassen dann die Beschreibung und programmiertechnische Abbildung der Prozesse, den Aufbau von Eingabeoberflächen, Schnittstellen und Verarbeitungskomponenten sowie letztlich die Anwendungs- und Prozessintegration. Die Abbildung der Prozesse im Anwendungsfall umfasst hierbei die Definition und Beschreibung von Teilnehmern (Akteuren), Transaktionen (Meldungen) und Auswertungen (Zielstellungen) in einem Datenmodell sowie die Festlegung der Konsensalgorithmen und Berechtigungen für den Prozessablauf.

Für die Umsetzung eines Demonstrationsbeispiels im Rahmen von TAP 5.4 müssen die vorgenannten Schritte entsprechend exemplarisch ausgeführt werden. Im Ergebnis der durchgeführten Vorarbeiten zur Blockchain wurde die Softwareplattform Hyperledger Fabric für den Aufbau der Demonstrationsanwendung “Blockchain-basierter Datenaustausch in Holzeinkaufsprozessen“ ausgewählt. Eine Beschreibung der entsprechenden Umsetzung findet sich in den Ausführungen zu TAP 5.4.

Herausforderungen bei der Maßermittlung und Betrachtungen zur Fehlerfortpflanzung

Das Erfordernis der Arbeiten zur (praxisnahen) Aufbereitung und Erläuterung bestehender Herausforderungen bei der Maßermittlung und zur Fehlerfortpflanzung im Holzeinkaufs- und –verkaufsprozessen ergab sich aus Erkenntnissen der Prozessanalysen und zielte auf die Schaffung von Grundlagen zur Erläuterung potenzieller Nutzeffekte der Anwendung der Blockchain-Technologie im digitalen Datenaustausch.

Ausgehend von den im Rahmen der Expertenbefragungen erstellten Prozessbeschreibungen zu Holzeinkaufsprozessen ist festzustellen, dass mit Blick auf den Gesamtprozess zu einer Verkaufseinheit sowohl der Zweck der Maßermittlungen und Verwendung der Mengeninformation bei den einzelnen Prozessbeteiligten variieren. So werden die ermittelten Maße und Mengen jeweils individuelle für die Planung und Steuerung verschiedener Teilprozessen, wie z.B. Einkauf, Verkauf, Logistik und Dienstleistereinsatz, aber auch für Controlling und Abrechnung von Leistungen und Lieferungen, verwendet. Bei den einzelnen Prozessbeteiligten, dies sind neben Forstbetrieben inkl. deren Vermarktungsstrukturen (z.B. FBG’n) und den Holzverarbeitern auch forstliche Dienstleistungsunternehmen und Dienstleister des Holztransportes, variieren im Prozess auch die Häufigkeit der Maßermittlungen, die maßermittelnden Akteure sowie die verwendeten Maßermittlungsverfahren. Dabei spielen bezüglich der Anzahl (wiederholter) Maßermittlungen die im Prozess gehandelte Gesamtmenge und die vertraglich vereinbarten Lieferbedingungen (z.B. Frei-Werk, Frei Waldstraße) sowie die Art und Anzahl der im jeweiligen Prozess eingesetzten Dienstleistungsunternehmen eine entscheidende Rolle. Bezüglich der verwendeten

Maßermittlungsverfahren besteht darüber hinaus eine Abhängigkeit z.B. von den jeweils gehandelten Sortimenten, den einzelnen Prozessschritten oder vom Ort der Maßermittlung.

Bezüglich der eingesetzten Maßermittlungsverfahren ist darüber hinaus zu berücksichtigen, dass (z.B. lt. RVR) nicht alle Verfahren für die Ermittlung von Maßen für den Holzhandel, d.h. zur Verkaufsmaßermittlung zulässig sind (vgl. Abbildung 40). Daher ist es wichtig, die im Prozess ermittelten Maße hinsichtlich ihrer Verwendung und ihres Zwecks für die Akteure in Verkaufsmaßen und sogenannte Kontroll- oder Logistikmaße, die zur Planung und Steuerung der Bereitstellungsprozesse erforderlich sind, zu unterscheiden.

Abbildung 40: Ausgewählte zulässige (dunkel dargestellt) und unzulässige (helle Blöcke) Maßermittlungsverfahren zur Ermittlung von Verkaufsmaßen im Holzeinkaufs- und Verkaufsprozess

Unabhängig von dieser Unterscheidung haben die im einzelnen ermittelten Maße in mehreren (Teil-)Prozessen eine Bedeutung für die Akteure. Daher stellen Abweichungen zwischen den Maßen im Prozess stets eine Herausforderung dar. Durch die unterschiedlichen Verfahren, die innerhalb des Verkaufs-/Einkaufsprozesses für dieselbe Einheit der Handelsware, d.h. eine Verkaufs- bzw. Einkaufseinheit für die Ermittlung von Mengen und Maßen eingesetzt werden, entstehen entlang der Supply-Chain und für die beteiligten Akteure unterschiedliche Maß- und Mengeneinheiten. Das bedeutet, schon in einem einzelnen Prozess gibt es i.d.R. aufgrund verschiedener technischer Messverfahren und verschiedener Messobjekte (z.B. Einzelstamm, Polter, LKW-, Waggon-, Schiffsladung-Ladung) letztlich verschiedene Mengen und Einheiten (Rm.m.Rinde/Polter, Rm.m.Rinde/LKW, Fm.o.R/Stamm, $tonne_{atro}$, etc.). In betrieblichen Anwendungen müssen nicht nur diese verschiedenen Maße verwaltet, sondern mit den ganz zwangsläufig entstehenden Abweichungen zwischen ihnen umgegangen werden.

Eine Herausforderung in den (auch digitalen) Prozessen besteht darin, bei voneinander abweichenden Maßen jeweils zu entscheiden, ob diese Abweichung eine zulässige ist, d.h. im Rahmen gewisser Toleranzbereiche liegt, oder ob grobe Fehler im Prozess vorliegen.

Um zu erläutern, weshalb zwangsläufig Abweichungen zwischen den entsprechenden Maßen im Holzbereitstellungsprozess entstehen, ist zunächst klarzustellen, dass die Maßermittlungen für Holz als Handels- und Logistikobjekt zumeist in zwei Schritten erfolgen. Im ersten Schritt werden dabei durch *Messungen* mit den technischen Verfahren *Messwerte* ermittelt. Aufbauend auf diese Messwerte werden im zweiten Schritt durch *Berechnungen* das *Maß* oder die *Menge je Messobjekt* bzw. Handelseinheit ermittelt. Häufig bilden die *berechneten Maße* die Grundlage für weitere *Berechnungen*, die zur

Verrechnung wertbestimmender Faktoren sowie zur Umrechnung in andere Maß- und Mengeneinheiten genutzt werden.

Dass es zwischen einem so *ermittelten und wahren Maß* (fast) immer Abweichungen gibt, hat mehrere Ursachen. So resultiert die Gesamtmaßabweichung eines ermittelten Maßes einerseits aus *Messabweichungen*, die durch Unvollkommenheit des Messobjekts, der Messeinrichtung, der Maßverkörperung, des Messenden und äußere Störungen (Umwelteinflüsse) verursacht werden. Andererseits wird sie durch Abweichungen aufgrund von Schätzungen und Approximation (Näherungen) bei der *Berechnung* von Maßen verursacht 3 . Hierbei spielen insbesondere die Anwendung von pauschalen Umrechnungs- und Abzugsfaktoren auf gemessene Größen oder auch unvollständige oder partielle Messungen eine Rolle. Als Beispiel solche partiellen Messungen bei der Maßermittlung kann das Sektionsmaßverfahren angeführt werden, bei dem eine Schätzung der Gesamtpolterfläche auf Basis einer diskreten Anzahl gemessener Höhenwerte erfolgt.

Ausgehend von den genannten Ursachen sind zwei Arten von Abweichungen zu unterscheiden:

1. Systematische Abweichungen, auch deterministische Abweichungen genannt. Sie beeinflussen die Richtigkeit eines Maßes und werden bedingt durch konstant wirkende Fehlerursachen. Ermittelbar sind diese erkennbar nur durch anderes Messverfahren mit höherer Richtigkeit.
2. Zufällige Abweichung, auch als stochastische Abweichungen bezeichnet. Diese beeinflussen die Präzision eines Maßes und werden durch stochastische Einflussfaktoren bedingt. Erkennbar sind sie nur durch (Vielzahl an) Messwiederholungen.

Nachfolgende Abbildung 41 visualisiert den Unterschied zwischen Richtigkeit und Präzision.

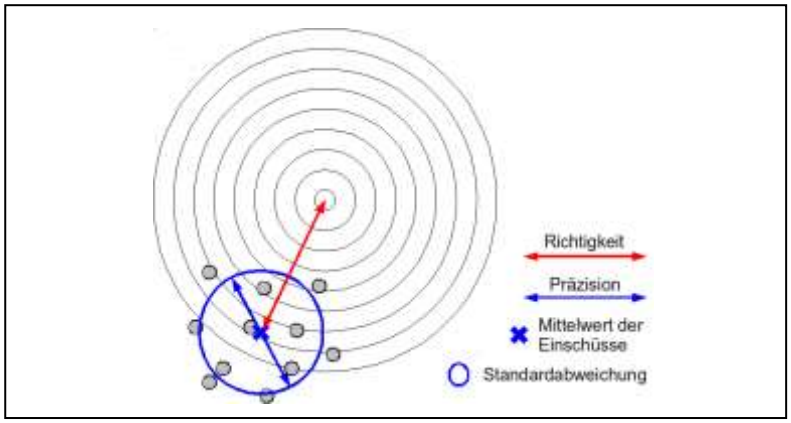


Abbildung 41: Visualisierung des Unterschieds zwischen Richtigkeit und Präzision4

3 Vgl. Quelle: Statistik für Bachelor- und Masterstudenten: Eine Einführung für Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler, Walter Zucchini, Andreas Schlegel, Oleg Nenadic, Stefan Sperlich, Springer-Verlag, 2009, Seite 197

4 Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trueness_precision.png, Trueness_precision.png (689 × 517 pixels, file size: 26 KB, MIME type: image/png), 03.12.2021, 15:53 Uhr

Neben dem Begriff Abweichungen wird in Bezug auf Maße und Messwerte häufig auch der Begriff Fehler genutzt. Um diese Begriffe voneinander abzugrenzen, sollen an dieser Stelle kurz auch beiden Arten von Fehlern benannt und deren Unterscheidung vorgenommen werden. Die zwei Arten von Fehlern sind5:

1. Absoluter Fehler, die die Differenz aus Messwert x und wahrem Wert x^* beschreiben und anhand der Formel $\Delta \mathrm{x} = \mathrm{x} - \mathrm{x}^*$ berechnet werden können.
2. Relativer Fehler, die das (prozentuale) Verhältnis aus absolutem Fehler Δx und wahrem Wert x^* beschreiben und mittels der Formel $r_x = 100\% \cdot \frac{\Delta x}{x^*}$ berechnet werden können.

Das folgende Beispiel macht den Unterschied zwischen diesen Fehlerarten deutlich:

Der absolute Fehler einer Messung beträgt Δx=1 kg. Liegt der Messung ein Fahrzeug mit einem Gewicht von 5 t zugrunde, beträgt der relative Fehler r_x=0,02 %. Wurde die Messung hingegen für 100 g Mehl durchgeführt, beträgt der relative Fehler r_x=1.000 %.

Wie eingangs bereits dargestellt, sind im Prozess der Holzbereitstellung die jeweiligen Holzmengen (die Maße je Stamm, Polter, LKW, etc.) nicht direkt messbar. Sie werden im Prozess indirekt auf Basis von Messwerten und verfahrensbezogenen Berechnungsvorschriften (festgelegte mathematischen Regeln, Formeln) bestimmt. Da hierbei jeweils jeder Messwert einer einzelnen Größe von seinem wahren Wert abweicht, wird auch das Ergebnis der Rechnung, mit dem das Maß bzw. die Menge ermittelt wird, von seinem richtigen Wert abweichen. Die einzelnen Abweichungen – sowohl die der Messwerte und als auch die der verwendeten Faktoren - werden mit der Formel zur Berechnung übertragen. Dieser Effekt wird *Fehlerfortpflanzung* genannt.

Wie groß die Abweichung des Ergebnisses aufgrund der verrechneten Einzelabweichungen ist, kann durch *Fehlerrechnung* bestimmt oder abgeschätzt werden. Folgende Rechenregeln können hierbei zugrunde gelegt werden:

1. Wenn das gesuchte Maß $\boldsymbol{y}$ durch $\boldsymbol{m}$ unabhängige, fehlerbehaftete Größen $\boldsymbol{x_n}$ (Messgrößen, Faktoren, etc.) mit $\boldsymbol{n}$= ($\mathbf{1}$, …,$\boldsymbol{m}$) ermittelt wird, gilt: $\boxed{\boldsymbol{y} = \boldsymbol{f}(\boldsymbol{x_1}, \dots, \boldsymbol{x_m})}$
2. Das ermittelte Maß $\boldsymbol{y}$ besitzt eine Abweichung $\Delta\boldsymbol{y}$ zum wahren Maß $\boldsymbol{y}^*$, das von den Einzelabweichungen $\Delta\boldsymbol{x_m}$ und der entsprechenden Verrechnungsvorschrift $\boldsymbol{f}(\boldsymbol{x_1}, \dots, \boldsymbol{x_m})$ abhängt. Die Gesamtabweichung $\Delta\boldsymbol{y}$ im Sinne der Fehlerfortpflanzung ergibt sich aus den partiellen Ableitungen (bei genügend kleinen $\Delta\boldsymbol{x_n}$) wie folgt: $\boxed{\Delta\boldsymbol{y} = \frac{\boldsymbol{dy}}{\boldsymbol{dx_1}} \cdot \Delta\boldsymbol{x_1} + \dots + \frac{\boldsymbol{dy}}{\boldsymbol{dx_m}} \cdot \Delta\boldsymbol{x_m}}$

5 Quelle: F. P. Leon, *Messtechnik: Systemtheorie für Ingenieure und Informatiker*, Seite 16. [Place of publication not identified]: Morgan Kaufmann, 2016.

3. Der relative Fehler r_y im Ergebnis (bei Multiplikation fehlerbehafteter Größen x_n) ergibt sich aus der Summe der einzelnen relativen Abweichungen r_n wie folgt:

$$\boxed{r_y = \sum_{n=1}^{m} r_n}$$

Anhand der Maßermittlung mittels Sektionsraummaßverfahren sowie der Atro-Gewichtsvermessung werden Fehlerfortpflanzungen für praktisch eingesetzte Verfahren im Holzbereitstellungsprozess nachfolgend beispielhaft erläutert.

Beispiel Sektionsraummaßermittlung:

Gemäß Anlage VI-d der RVR wird mit dem Sektionsraummaßverfahren ein Holzvolumen bestimmt, d.h. die „Zielgröße für das Sektionsraummaß von Industrie- und Energieholz ist das Raumvolumen in Raummeter mit Rinde.“ Die Verfahrensschritte können wie folgt (grob) umrissen werden:

1. Es werden eine **Vielzahl einzelner Höhenmessungen** (Messabweichung & Rundungsfehler) entlang der Polterlänge in diskreten, gemessenen Abständen (Messabweichung) auf Poltervorder- und Polterrückseite durchgeführt (vgl. Abbildung 42).
2. **Durchschnitthöhe** des Polters werden auf Basis der Höhenmesswerte **berechnet** (Abweichung durch Approximation, da nur eine diskrete Anzahl an Höhenwerten verwendet wird, um auf die Durchschnittshöhe des Polters zu schließen).
3. **Raumvolumen** des Polters wird **berechnet**, indem die Durchschnittshöhe mit der entsprechenden Polterlänge und der Poltertiefe (Messabweichung) multipliziert wird.
4. Raumübermaß wird durch Anwendung eines **Reduktionsfaktors** (Schätzung) auf das ermittelte Volumen berücksichtigt.
5. Ggf. Anwendung weiterer **Abzugsfaktoren** (Schätzung), um Holzart und Sortimentslänge zu berücksichtigen

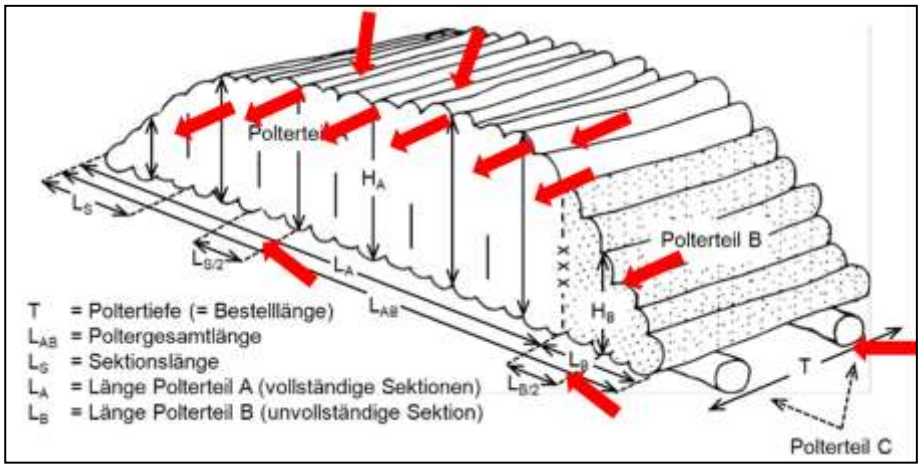


Abbildung 42: Messwertermittlungen im Sektionsraummaßverfahren (Abbildung angepasst an: Quelle: Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel in Deutschland, 3. aktualisierte Auflage, 1. Juli 2020, Anlage VI-d, Seite 35).

Die einzelnen Abweichungen, d.h. die Abweichung jeder einzelnen Messung sowie die der eingesetzten Faktoren ziehen sich durch die Verfahrensschritte des Verfahrens. Dabei entwickelt sich gemäß der Fehlerfortpflanzung eine Gesamtabweichung im ermittelten Raumetermaß mit Rinde. Die Stärke des Einflusses einzelner Messabweichungen auf die Gesamtabweichung im Ergebnismaß hängt vom Verfahren bzw. der Verrechnungsvorschrift ab. Im beschriebenen Beispiel resultiert eine Unsicherheit im ermittelten Raumvolumen aufgrund dessen, dass der Höhenverlauf entlang des Polters durch die diskrete Zahl an Höhenmessungen nur approximiert werden kann. Die Ausprägung der entsprechenden Abweichung im Ergebnismaß hängt daher von der Anzahl der Messungen und vom wahren Verlauf des Höhenprofils ab.

Zusätzlich werden bei der Sektionsraummaßermittlung jedoch Faktoren eingesetzt. Mit Umrechnungs- und Abzugsfaktoren kann, unter Annahme hoher Richtigkeit einer Messung, lediglich erreicht werden, dass sich die Abweichungen in ermittelten (Einzel-)Maßen über mehrere Messobjekte hinweg in der Summe aller Einzelmaße teilweise oder, im unwahrscheinlichen Fall, vollständig kompensieren und so die ermittelte Gesamtmenge durch vorzeichenverschiedene Einzelabweichungen eine vergleichsweise geringe Gesamtabweichung besitzt.

Fazit: Selbst, wenn die Messungen im Verfahren eine sehr hohe Genauigkeit und somit nur sehr geringe Messabweichungen besäßen, führen die Approximation und die Anwendung pauschaler Faktoren zwangläufig dazu, dass das ermittelte Maß eine nicht vernachlässigbare Unsicherheit besitzt!

Beispiel Atro-Gewichtsvermessung:

Die Atro-Gewichtsvermessung ist ein Verfahren zur Maßermittlung für Industrie-Rundholz, welches i.d.R. am Werkseingang eines holzverarbeitenden Betriebes eingesetzt wird. Der Prozessablauf und die einzelnen Schritte im Verfahren dieser Maßermittlung sind in der folgenden Abbildung 43 dargestellt.

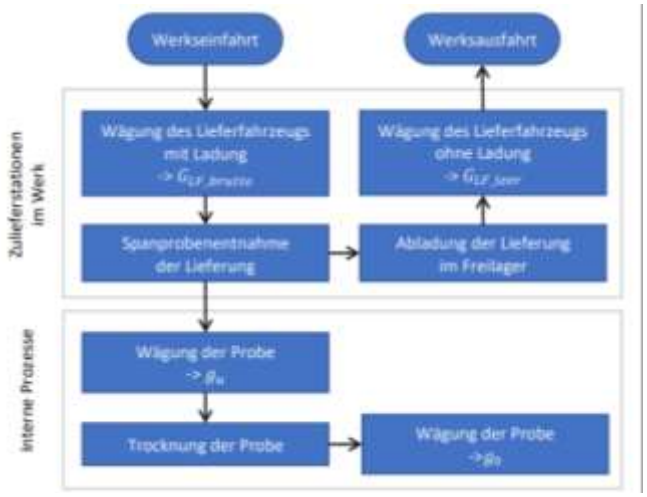


Abbildung 43: Prozessablauf der Atro-Gewichtsbestimmung im Werk [8]

Der in Abbildung 43 dargestellte Ablauf zeigt, dass auch im Verfahren der Atro-Maßermittlung verschiedene Messungen durchgeführt werden, deren Ergebnisse unter Einbeziehung von Schätzwerten und ermittelten Faktoren zur Berechnung des Atro-Maßes für eine Lieferung herangezogen werden.

Im Verfahren wird das Frischgewicht der Lieferung rechnerisch ermittelt. Als Grundlage der Berechnung wird zunächst das Brutto-Gewicht G_{LF_brutto} des Lieferfahrzeugs nach der Einfahrt in das Werk, während die Rohholzlieferung noch geladen ist, gemessen. Hierbei sind, wie bei jeder Messung, Messabweichungen zu erwarten. Des Weiteren wird das Fahrzeugleergewicht G_{LF_leer} vor der Ausfahrt des Lieferfahrzeugs, nachdem die Lieferung bereits abgeladen wurde, gemessen. Auch diese Messung wird eine gewisse Messabweichung in das Messergebnis induzieren. Das Frischgewicht G_u der Lieferung ergibt sich dann aus der Differenz der beiden Messergebnisse. Im Frischgewicht der Lieferung sind durch die zwei Wägungen entsprechend bereits zwei Einzelmessabweichungen enthalten, die sich im ermittelten Frischgewicht, je nach Vorzeichen, teilweise bis vollständig kompensieren oder aufaddieren können.

In einem weiteren Schritt im Verfahren wird die Holzfeuchte bestimmt. Die Holzfeuchte u wird dabei ebenfalls rechnerisch ermittelt. Der Lieferung wird dazu eine möglichst repräsentative Probe entnommen, bei der dann angenommen wird, dass die Holzfeuchte der Probe exakt mit der der Gesamtlieferung übereinstimmt. Jede Abweichung zwischen den Holzfeuchtewerten beider Mengen gehen somit in die Berechnung ein. Die Probe wird gewogen, wobei eine Messabweichung in g_u anzunehmen ist. Danach wird die Probe getrocknet bis sie darrtrocken ist und anschließend erneut gewogen. Auch bei dieser Messung kann eine Messabweichung in g_0 entstehen. Aus der Gewichtsabnahme zwischen Frisch- und Trockenprobe wird die Holzfeuchte u berechnet, die die Probe anfangs besaß.

Das Trocken- bzw. Darrgewicht G_0 abschließend auf Basis des Frischgewichts G_u der Lieferung und deren Holzfeuchte u wie folgt berechnet [9]:

$$G_0 = \frac{G_u}{\frac{u}{100\,\%}+1}$$

Bei der Berechnung darüber hinaus berücksichtigte Schätzwerte bzw. Faktoren sind beispielsweise Ballast-Gewichtsanteile einer Lieferung von (z.B. Schnee), die Holzartenverteilung in Prozent des Volumens und die Sortimentsverteilung, in Prozent des Volumens.

Die Gesamtabweichung ΔG_0 im ermittelten Trockengewicht (Darrgewicht) einer Lieferung hängt somit von den Abweichungen ΔG_u und Δu im ermittelten Frischgewicht der Lieferung bzw. der Holzfeuchte der Lieferung ab.

Wie stark die beiden Abweichungen auf die Gesamtabweichung wirken, hängt nicht allein von ihrem Wert, sondern von der Rechenvorschrift zur Ermittlung des Darrgewichts G_0 ab.

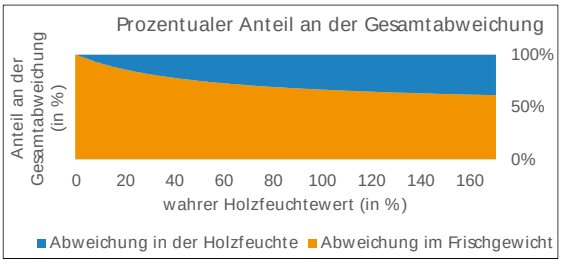
Rechnerisch ergeben sich gemäß den Regeln der Fehlerfortpflanzung Faktoren für die Abweichungen ΔG_u und Δu, die den Einfluss auf die Gesamtabweichung beschreiben:

$$\Delta G_0 = \frac{dG_0}{dG_u} \cdot \Delta G_u + \frac{dG_0}{du} \cdot \Delta u$$

$$\frac{dG_0}{dG_u} = \frac{1}{\frac{u}{100\,\%}+1} \qquad \frac{dG_0}{du} = -\frac{G_u}{100\% \cdot \left(\frac{u}{100\,\%}+1\right)^2}$$

Um zu zeigen, wie sich der Einfluss der einzelnen Abweichungen auf die Gesamtabweichung unterscheiden kann, sei beispielhaft angenommen, dass das Frischgewicht und die Holzfeuchte einer Lieferung mit einem gleichgroßen relativen Fehler r ermittelt werden.

Mit zunehmender Holzfeuchte, nimmt auch der Anteil der Abweichung im ermittelten Holzfeuchtewert an der Gesamtabweichung zu. Der Einfluss von Abweichungen im ermittelten Frischgewicht der Lieferung überwiegt jedoch durchgängig (>50 % Anteil an der Gesamtabweichung).



***Fazit**: Abweichungen im ermittelten Frischgewicht wiegen im Verfahren der Atro-Gewichtsvermessung daher schwerer als im ermittelten Wert der Holzfeuchte. Wie viel schwerer, hängt vom wahren Wert der Holzfeuchte ab.*

Schlussfolgerungen zum Einfluss von Umrechnungs- und Abzugsfaktoren

Als Schlussfolgerung aus den vorgenannten Ausführungen können Wirkung der Verwendung von Umrechnungs- und Abzugsfaktoren in den Verfahren zur Maßermittlung abgeleitet werden. Hierbei ist zunächst festzuhalten, dass Umrechnungs- und Abzugsfaktoren i.d.R auf Mittelwerten basieren. Die Basis dieser Mittelwerte bilden Untersuchungen einer Vielzahl von Messobjekten mit ähnlichen Charakteristika (bspw. Holzart, Beschaffenheit). Die Faktoren stellen somit lediglich den wahrscheinlichsten Wert dar, den ein bisher nicht untersuchtes Messobjekt mit gleicher Charakteristik besitzen wird.

Die Inhomogenität des Rohstoffs Holz in seinen Merkmalen (bspw. Raumdichte, Holzfeuchte, Rindenanteil) weist eine hohe Streuung in den Ausprägungen der Merkmale auf. Daher führt die Anwendung der Faktoren zu relativ hohen Unsicherheiten im einzelnen Ergebnismaß. Bei Verwendung von Umrechnungs- und Abzugsfaktoren kann daher auch bei hoher Richtigkeit einer Messung lediglich erreicht werden, dass sich Abweichungen in (Einzel-)Maßen über mehrere Messobjekte größtenteils kompensieren und die ermittelte Gesamtmenge nah bzw. genau am realen Wert liegt. Auch in Verfahren mit Messungen, die eine sehr hohe Genauigkeit und sehr geringe Messabweichungen haben, führen Approximation und die Anwendung pauschaler Faktoren zwangläufig zu nicht vernachlässigbaren Unsicherheiten im Ergebnismaß

Ausgehend von diesen Erkenntnissen ergab sich im Projektverlauf die Frage, wie eine **bessere Vergleichbarkeit von Maßermittlungsverfahre**n sowie eine Optimierung von Faktoren und Approximationen hinsichtlich systematischer Abweichungen erreicht werden kann.

Die Untersuchungen im Rahmen der Demonstrationen veränderter Prozesse durch digitalen Datenaustausch mit Blockchain-Technologie (Szenario 4) sollten diese Fragestellung entsprechend aufgreifen. Für die Demonstrationen wurde daher, neben Fragestellungen zur allgemeinen Untersuchung möglicher Effekte des Einsatzes der Blockchain-Technologie, die Frage, ob *eine bessere Vergleichbarkeit von Maßermittlungsverfahren sowie eine Optimierung von Faktoren und Approximationen hinsichtlich systematischer Abweichungen durch eine umfangreiche (durchgehend digitale) Dokumentation der heterogenen Messwerte, Faktoren und Approximationsschritte sowie der Maße entlang der Logistikkette und nachgelagerte Datenanalysen zur Untersuchung der Approximationen und Faktoren hinsichtlich systematischer Abweichungen und Streuungen erreicht werden kann,* hinzugefügt.

Das Vorgehen und die Erkenntnisse aus den Demonstrationen werden in den Ausführungen zu den Arbeiten in TAP 5.4 dargestellt.

TAP 5.3 Akzeptanzanalyse zu Rundholzmessverfahren

Ursprüngliches Ziel des federführend durch das KWF zu bearbeitenden Teilarbeitspakets 5.3 war es, die Akzeptanz der verschiedenen Rundholzmessverfahren und der daraus resultierenden veränderten Holzeinkaufsprozesse bei relevanten Akteuren der Forst-Holz-Kette in einem breiten Kreis mit Praktikern zu analysieren. Hierzu sollte eine Onlineumfrage entwickelt werden, die durch einen Pre-Test evaluiert, dann auf der Basis der Erkenntnisse verbessert und schließlich von dem o.g. breiten Anwenderkreis beantwortet werden sollte.

Ausgehend von den in den TAP 5.1. und 5.2. gewonnenen Erkenntnissen zu fehlenden Akzeptanzproblemen bezüglich der in den Holzeinkaufs- und Holzverkaufsprozessen eingesetzten Messverfahren war im Projektverlauf festzustellen, dass eine entsprechende Notwendigkeit zur Durchführung der im TAP 5.3. vorgesehenen Akzeptanzanalysen nicht gegeben war. Unbenommen dessen zeigte sich im AP 3, TAP 3.3: „Lastenheft fotooptische Messverfahren“ ein Bedarf zur Erhebung ergänzender Informationen zu den im Prozess eingesetzten Maßermittlungsverfahren. Die im AP 5 geplanten Befragungen wurden daher an die Bedarfe des AP 3 angepasst und entsprechend begleitend zur „Erstellung des Lastenheftes für fotooptische Messverfahren“ durchgeführt und ausgewertet. Die Ausführungen hierzu sind entsprechend im Abschnitt TAP 3.3. enthalten und diesem zu entnehmen.

TAP 5.4 Forst-Holz-Logistikketten in Modellregionen

Die Arbeiten zur Forst-Holz-Logistikkette sollten mit Teilarbeitspaket 5.4 unter Leitung der HNEE und mit Unterstützung der Partner IFF und FVA sowie assoziierter Projektpartner aus der Industrie abgeschlossen werden. Ursprüngliches Ziel zum Zeitpunkt der Beantragung des Vorhabens war die Einrichtung von zwei Modellregionen, in denen sortimentsbezogen geänderte Forst-Holz-Logistikketten demonstriert werden sollten. Auf Basis der Erkenntnisse aus den TAP 5.1. bis 5.3. sollte eine gezielte Implementierung von technischen und organisatorischen Maßnahmen zum geeigneten Einsatz von Methoden und Verfahren

zur Maßermittlung sowie zur Optimierung des Daten- und Informationsflusses bei der Rundholzbereitstellung erfolgen.

Wie bereits in den Abschnitten zu den TAP 5.1. und 5.2. ausgeführt, musste die Zielstellung und das Vorgehen im Rahmen von TAP 5.4 im Projektverlauf mittels entsprechender Change-Management-Prozesse an die Zwischenergebnisse angepasst werden. So zeigte sich speziell im TAP 5.2., dass im Ergebnis der Untersuchungen keine Akzeptanzprobleme bezüglich der Messgeräte/Messverfahren festgestellt werden konnten und Änderungen der Messverfahren in Art und Anzahl in den Prozessen kaum Verbesserungen versprechen. Die erkannten Akzeptanzprobleme basierten vielmehr auf Unsicherheiten bei der Berechnung von Maßen i.S. der verwendeten Faktoren (Abzüge, Umrechnungen). So wurde u.a. auf eine fehlende Transparenz bzgl. der Anwendung von Faktoren bei der Maßermittlung im Prozess beklagt und die Nutzung vorhandener Spielräume bei der Anwendung entsprechender Faktoren im Prozess als problematisch bezeichnet.

Entsprechend der Arbeitsergebnisse im TAP 5.2. wurde daher in Zusammenarbeit der Partner und in Abstimmung mit der FNR die Umsetzung eines Demonstrationsszenarios (Szenario 4, vgl. Ausführungen zu TAP 5.2.) zum durchgehenden digitalen Datenaustausch unter Nutzung der Block-Chain-Technologie im Holzeinkaufs- und –verkaufsprozess vorgeschlagen und umgesetzt.

Die aus den Vorarbeiten resultierenden Fragestellungen, die mit der Demonstration zu untersuchen waren, wurden wir folgt formuliert:

1. Welche Nutzeffekte könnte die Blockchain-Technologie
   (a) in Bezug auf die Maßermittlungen und den Holzeinkaufs- bzw. –verkaufsprozess und
   (b) darüber hinaus in Bezug auf die Holzbereitstellungsprozesse insgesamt (Innovationspotenziale) haben?
2. Kann eine bessere Vergleichbarkeit von Maßermittlungsverfahren sowie eine Optimierung von Faktoren und Approximationen hinsichtlich systematischer Abweichungen durch eine umfangreiche (durchgehend digitale) Dokumentation der heterogenen Messwerte, Faktoren und Approximationsschritte sowie der Maße entlang der Logistikkette und nachgelagerter Datenanalysen erreicht werden?

Der Umsetzung des Demonstrationsbeispiels wurde zunächst die theoretische Annahme zugrunde gelegt, dass sich der digitale Datenaustausch in den Holzbereitstellungsprozessen der Branche durchgehend etabliert hat und ELDATsmart dabei eine relevante Grundlage bildet. Des Weiteren sollte die Demonstration möglichst realistisch typische Holzverkäufe Frei-Waldstraße nach Waldmaß abbilden.

Die einzelnen Schritte der Umsetzung werden im Folgenden dargestellt.

Grundlagen

Aufbauend auf die im TAP 5.1. durchgeführten Prozessanalysen und die erstellten Prozessbeschreibungen wurden durch das Fraunhofer IFF in einem ersten Schritt, als Grundlage einer späteren Modellbildung entlang des Prozesses, für die verschiedenen Holzverkaufsprozesse (z.B. Frei-Waldstraße nach Waldmaß, Frei-Waldstraße nach Werksmaß) angepasste Prozessdokumentationen erstellt, die der Identifikation der maßrelevanten Meldungen und Akteure dienten. Diesen zugeordnet

waren u.a. auch alle in den jeweiligen Prozessschritten von unterschiedlichen Akteuren potenziell eingesetzten Maßermittlungsverfahren sowie die daraus resultierenden Maßeinheiten. Die so entstandenen Prozessbeschreibungen machten einerseits die Vielfalt der im Prozess je Prozessschritt von den unterschiedlichen Akteuren verwendeten Verfahren sowie die Variabilität der auftretenden Maß- und Mengeneinheiten deutlich. Andererseits bildeten sie die Grundlage für eine datentechnische Beschreibung der einzelnen Meldungen.

Eine Aufarbeitung der verfügbaren Beschreibungen zu ELDAT/ELDATsmart ergab, dass bezüglich der in den Holzverkaufsprozessen für die Zielstellung der Demonstration relevanten Meldungen, d.h. der Meldungen im Prozess, die relevante Maßinformationen enthalten, nur ein Teil in den vorhandenen Schnittstellenbeschreibungen definiert ist. Für verfügbare Beschreibungen seien Bereitstellungsanzeigen oder Messprotokolle genannt. Für die fehlenden Meldungsarten im Prozess, wie Kaufverträge oder Aufträge, wurden die entsprechenden Beschreibungen in Anlehnung an ELDAT/ELDATsmart vorgenommen. Aus den Beschreibungen von ELDAT/ELDATsmart wurden dabei jeweils nur zuordnungs- und auswertungsrelevante Dateninhalte für die Beschreibung der einzelnen Meldungen im Prozess übernommen.

Für alle Meldungen im betrachteten Holzverkaufsprozess wurden im Ergebnis Datenstrukturen definiert, die einerseits sogenannte Kopfdaten enthalten, die z.T. der späteren Zuordnung verschiedener Meldungen im Prozess dienen. Kopfdaten enthalten dabei relevante „Prozessinformation“ wie beispielsweise die Art der Meldung, Sender und Empfänger einer Meldung sowie einen Zeitstempel. Des Weiteren werden in der Datenstruktur einer Meldung sogenannte Prozess- und Maßinformationen vorgehalten. Dies sind zum einen „Produktinformation“ wie Holzart, Sortiment und Qualität, zum anderen Informationen zum eingesetzten Maßermittlungsverfahren und die eigentliche Maßinformation, wie Menge, Einheit und Positionsdaten.

Umsetzung der technischen Umgebung

Für die Umsetzung der technischen Umgebung für die Demonstration wurde durch das Fraunhofer IFF die Plattform Hyperledger Fabric ausgewählt, da diese den Aufbau individueller Blockchain Anwendungen erlaubt. Unter Zugrundelegung der theoretischen Vorarbeiten zur Prozessbeschreibung und den erforderlichen Daten- und Meldungsstrukturen wurde ein vereinfachtes Modell der Anwendung definiert und innerhalb der Programmierumgebung von Hyperledger Fabric umgesetzt. Dabei wurden unter anderem sogenannte Transaktionen (hier die maßrelevanten Meldungen) und die prozessbeteiligten Akteure zunächst datentechnisch angelegt. Im Rahmen der Umsetzung einer individuellen Blockchain-Anwendung werden in diesem Zusammenhang auch Konsensalgorithmen sowie die Zugangsberechtigungen zur Anwendung (Blockchain) und die Zugriffsberechtigungen auf Daten definiert und umgesetzt. Für Blockchain-Anwendungen ist die Definition grundsätzlich ein offener Prozess und das zugrundeliegende Regelwerk kann jeder grundsätzlich einsehen. Konsensalgorithmen, Zugangs- und Zugriffsberechtigungen wurden für das Demonstrationsbeispiel in nur stark vereinfachter Form umgesetzt. Dabei wurde insbesondere darauf Wert gelegt, dass je Akteur einerseits nur für ihn zutreffende Meldungstypen abgebildet werden und andererseits jeder einzelne Akteur nur auf Transaktions-, d.h. Meldungsdaten Sichtrechte erhält, die entweder von ihm in die Blockchain eingegeben werden bzw. für den entsprechenden Akteur bestimmt sind. Die Umsetzung komplexer Konsensalgorithmen (z.B. Prüfung

der Unversehrtheit einer Meldung) war für die Demonstration nicht erforderlich und daher konnte hierauf verzichtet werden.

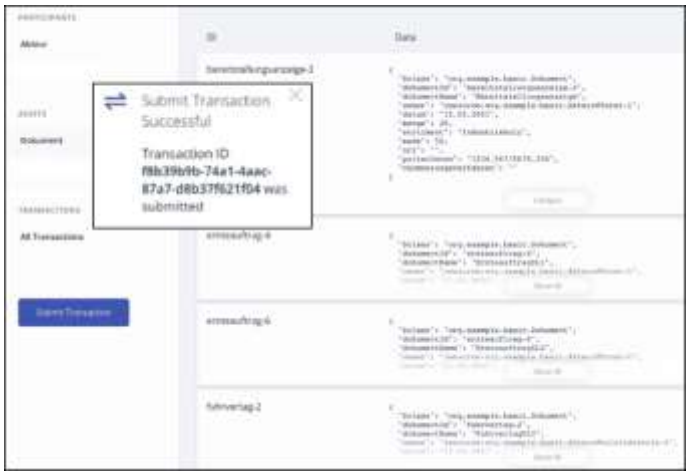


Abbildung 44: Definition von Meldungen (Transaktionen) in der Programmierumgebung Hyperledger Fabric

Die Definition der entsprechenden Datenblöcke, d.h. der unterschiedlichen Meldungen, die im Prozess Auskunft über gehandelte Mengen geben und direkt in Verbindung mit einer Maßermittlung stehen, erfolgte auf Basis der Prozessbeschreibungen zu den Verkäufen Frei Waldstraße nach Waldmaß sowie der Vorarbeiten zur datentechnischen Umsetzung der Datenfelder in Anlehnung an ELDAT/ELDATsmart (vgl. Abbildung 45).

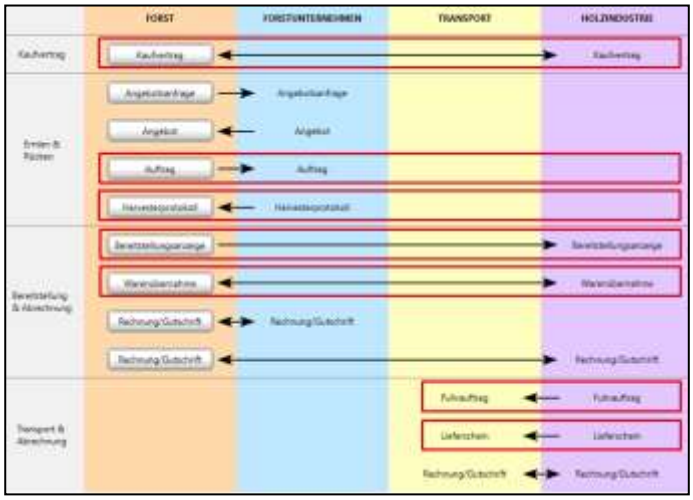


Abbildung 45: Arten von Meldungen je Akteur im Prozess des Holzverkaufes Frei Waldstraße nach Waldmaß

Um die Erfassung der einzelnen Meldungen mit ihren unterschiedlichen Bezugsgrößen, Einheiten, Maßermittlungsverfahren über Eingabemasken zu erlauben, wurde ein sogenanntes Frontend für die Demonstration aufgebaut (vgl. Abbildung 46). Über diese (einfachen) Eingabemasken können im demonstrierten Szenario Meldungsdaten durch unterschiedliche Akteure erfasst werden. In der Regel werden bei entsprechenden Anwendungen jedoch zusätzlich Schnittstellen implementiert, die die Übertragung aus anderen betriebsinternen Systemen zulassen und gewährleisten, dass keine manuelle Datenerfassung erforderlich ist.

Abbildung 46: Eingabemasken zur Erfassung von Meldungsdaten durch prozessbeteiligte Akteure.

In einem nächsten Schritt des Aufbaus der Blockchain-Anwendung wurden die sogenannten Backend – Komponenten, d.h. alle Verarbeitungskomponenten, die im Hintergrund der Anwendung erforderlich sind, aufgebaut.

Diese Komponenten umfassen einerseits Programmteile, die der Ermittlung und Zuordnung zusammenhängender Meldungen eines einzelnen Holzverkaufsprozesses aus dem Datenstrom aller Meldungen (der Blockchain) erlauben. Anderseits sind dies im Demonstrationsbeispiel Algorithmen, die eine Auslagerung *anonymisierter* maßrelevanter Informationen aus der Blockchain in einen Datenpool gewährleisten, der zur Analyse und Datenauswertung gemäß der Zielstellung dient.

Für die Ermittlung und Zuordnung zusammenhängender Meldungen, die im zeitlichen Verlauf in einer Blockchain der Holzverkaufsprozesse eingehen, wurde durch das Fraunhofer IFF ein rekursives Zuordnungsverfahren entwickelt und implementiert. Bei diesem Verfahren werden zu jedem Kaufvertrag von Holz unter Nutzung der „Kopfdaten“ der Einzelmeldungen jeweils nach vollständigem Abschluss eines entsprechenden Holzverkaufsprozesses alle zugehörigen Meldungen zunächst identifiziert, dann einander zugeordnet und entsprechend gruppiert. „Vollständiger Abschluss eines Holzverkaufsprozesses“ bedeutet hierbei, dass anhand der Meldungen erkennbar ist, dass die im Kaufvertrag vereinbarte Gesamtmenge im Werk eingegangen ist. Im Rahmen des rekursiven Zuordnungsverfahrens wird also die gesamte Meldungskette der maßrelevanten Informationen, d.h. die eigentliche Blockchain der Holzverkaufsprozesse durchsucht und zusammengehörige Meldungen werden einander und jeweils einem Kaufvertrag zugeordnet.

Nach Akteur*in filtern: ungefiltert

42 der 42 eingegangenen Meldungen angezeigt

Hash-Wert	Zeitstempel	Meldungsart	Akteur Nr.1	Akteur Nr.2
0000 KV76	24.01.2019 19:51 Uhr	Kaufvertrag	Forst FB Entenhausen	Holzindustrie Horst-Holz GmbH
KV76 AT24	10.02.2019 10:27 Uhr	Ernte- und Rückeauftrag	Forst FB Entenhausen	Forstunternehmen Frieda GmbH
AT24 HP43	28.02.2019 15:55 Uhr	Harvesterprotokoll	Forst FB Entenhausen	Forstunternehmen Frieda GmbH
HP43 BA47	13.03.2019 19:20 Uhr	Bereitstellungsanzeige	Forst FB Entenhausen	Holzindustrie Horst-Holz GmbH
BA47 WU53	06.04.2019 08:00 Uhr	Wareneinnahme	Forst FB Entenhausen	Holzindustrie Horst-Holz GmbH
WU53 [illegible]	28.04.2019 10:47 Uhr	Rechnung zwischen Forst & Holzindustrie	Forst FB Entenhausen	Forstunternehmen Frieda GmbH
[illegible] KV63	18.05.2019 09:33 Uhr	Kaufvertrag	Forst FB Erpelsburg	Holzindustrie Hermann-Holz GmbH
KV63 [illegible]	03.06.2019 08:27 Uhr	Rechnung zwischen Forst & Holzindustrie	Forst FB Entenhausen	Holzindustrie Horst-Holz GmbH
[illegible] AT84	20.06.2019 10:19 Uhr	Ernte- und Rückeauftrag	Forst FB Erpelsburg	Forstunternehmen Frieda GmbH

Abbildung 47: Visuelle Darstellung der Meldungen in der Blockchain mit Kennzeichnung zusammengehöriger Maßinformationen (im Hintergrund hell hervorgehoben)

Im Anschluss an die Identifizierung und Gruppierung zusammengehörender Meldungen in der Blockchain filtern entsprechende Algorithmen die Meldungen und lagern die enthaltenen maßrelevanten Daten anonymisiert, d.h. ohne die eingangs beschriebenen Kopfdaten zum Zweck weitergehender Datenanalysen und -auswertungen in einen externen Datenspeicher aus.

Aufbau der Datenbasis für die Demonstration

Nach Abschluss der Arbeiten zum technischen Aufbau der Demonstrationsumgebung waren weitere datentechnische Grundlagen für die Demonstration geänderter Holzeinkaufsprozesse durch digitalen Datenaustausch mittels Blockchain-Technologien zu schaffen. Diese umfassten einerseits die Erhebung von umfangreichen Realdaten zu verschiedenen Maßen im Holzbereitstellungsprozess durch die HNEE und andererseits die Anreicherung dieses Datenbestandes durch simulative Erzeugung ergänzender Daten auf Basis dieser Realdaten.

Die Datenerhebung durch die HNEE umfasste die Ermittlung aller wesentlichen Maßinformationen aus abgeschlossenen Prozessen zu Kaufverträgen, die in einem Forstbetrieb von drei verschiedenen Käufern vorlagen. Die Daten wurden dabei in anonymisierter Form erhoben und enthielten Daten wie eine Vertrags-Identifikationsnummer, eine Kunden- Identifikationsnummer, verschiedene Mengen- und Sortimentsangaben.

Darüber hinaus wurden weitergehende Informationen zu den ausgewählten Kaufverträgen ermittelt. Diese umfassten Einschlagsdaten aus Harvestermeldungen sowie Polterdaten aus Bereitstellungsanzeigen, die mit dem Dralle sScale-System (vgl. Abbildung 48) erstellt wurden und bespielhafte Planungsdaten des Landesforstes Brandenburg im 1.Quartal 2021.

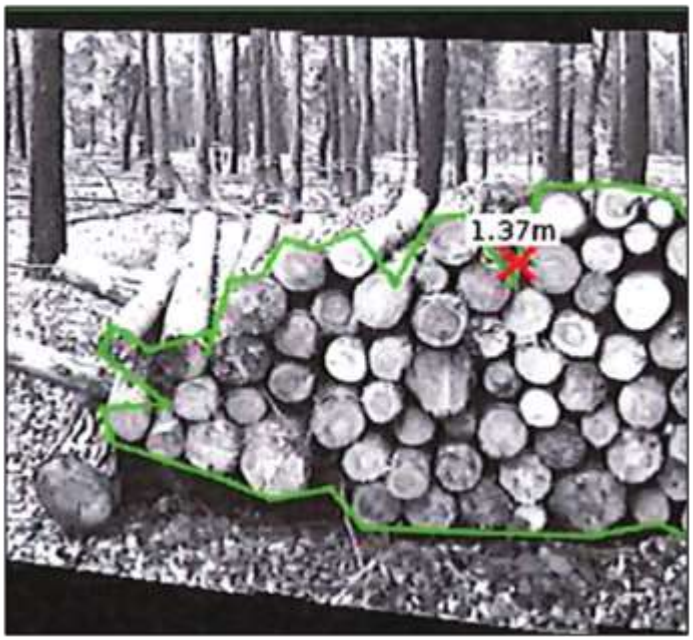


Abbildung 48: Raummaßermittlung mit Dralle sScale für ein Kiefern-LAK-Polter (Ausschnitt), Quelle: HNEE

Die erhobenen Realdaten dienten dazu, Rückschlüsse auf typische Holzmengen, Sortimente und Maßeinheiten in verschiedenen Meldungen ableiten zu können und diese als Grundlage für die Erzeugung einer für die geplanten Demonstrationen geeigneten Datenmenge zu nutzen. Zur Veranschaulichung der Holzmengen je Meldungstyp können folgende Beispiele dienen:

1. Einschlagsmeldungen
1. Kiefer: LAS 5,0 m: 10,44 Fm, LAS 3,65 m: 15,61 Fm, LAK 2,40 m: 22,11 Fm, IS 3,00 m: 31,94 Fm
2. Buche: IS 3,00 m: 23,26 Fm
3. Polterdaten, Bereitstellungsanzeigen (Raummaßermittlung mit Dralle sScale)
4. Kiefer: LAK 2,40 m: 33,27 Rm, IS 3,00 m: 58,44 Rm
5. Buche: IS 3,00 m: 50,32 Rm
6. Einschlagsplanung/Kaufverträge
7. Planungsdaten Brandenburg, Landesforst, 1.Quartal 2021, 3,08 ha
8. Planmenge: 280 Efm mit Sortimenten Kiefer: LAS (3,65 m und 5 m), LAK (2,40 m), IS (3 m) und Buche: IS (3 m)

Auf Basis der durch die HNEE ermittelten Realdaten zu Meldungen im Prozess erfolgte eine Ergänzung der Datenbasis für die Demonstration durch Simulation. Hierfür wurden durch das Fraunhofer IFF Algorithmen zur automatisierten Erzeugung „künstlicher“ Prozessmeldungen umgesetzt. Das eigens für diesen Zweck erstellte Programm (vgl. Abbildung 49) ermöglicht den Aufbau komplexer, vollständiger Meldungsketten zur Abbildung in der Demonstration. Für mehrere Holzverkaufsprozesse wurden dabei auf Grundlage der Realdatenbeispiele, die Aufschluss über typische Ausprägungen der Daten zu Holzmenge, Maßeinheit und Messverfahren in den verschiedenen Meldungen (Kaufvertrag, Bereitstellungsanzeigen, Transportaufträge etc.) sowie zur potenziellen Anzahl der Einzelmeldungen zu einem Holzverkauf gaben, die „künstlichen“ Prozessmeldungen zu verschiedenartigen Kaufverträgen automatisiert erzeugt.

Bei dieser simulationsgestützten Erzeugung korrelierender Meldungen für die einzelnen Holzverkaufsprozesse wurden der Berechnung der Einzelmengen je Meldung, die entlang des Prozesses in unterschiedlichen Einheiten erfasst werden, die Umrechnungsfaktoren aus der RVR zugrunde gelegt. So wurden beispielsweise die in einer *Einschlagsmeldung* (Basis Harvesterprotokoll) enthaltenen Mengenangaben in Fm o.R. bei der Erzeugung der Daten für mehrere im Prozess nachgelagerte *Meldungen zu Bereitstellungsanzeigen (Polterdaten)*, die in der Einheit Rm m.R. mittels Sektionsraummaßverfahren ermittelt werden, mit dem Faktor 1,667 umgerechnet und auf verschiedene Polter verteilt. Im Schritt der Umrechnung der Mengen von Fm o.R. in Rm m.R. mit dem Faktor 1,667 wurde dabei jeweils eine zufällige Abweichung normalverteilt induziert[6].


```
{
    "Kaufvertrag":{
        "Zeitstempel":"08.01.2021-12:00",
        "Meldungsvariante":"Kaufvertrag",
        "Vertragsnummer":"KV0028",
        "Akteur1":"FB Entenhausen",
        "Sender":"FB Entenhausen",
        "Akteur2":"Horst-Holz GmbH",
        "Wert1":753,
        "MaßPlanOderMessgröße1":"Plangröße",
        "EinheitenAngabe1":"FestmeterOR",
        "Holzsorte1":"Säge_Schneide_Bauholz",
        "Holzart1":"Omorikafichte",
        "Produktqualität1":"Ohne_Qualitätsausscheidung",
        "Wert2":497,
        "MaßPlanOderMessgröße2":"Plangröße",
        "EinheitenAngabe2":"FestmeterOR",
        "Holzsorte2":"Energieholz",
        "Holzart2":"Sitkafichte",
        "Produktqualität2":"Qualität_B",
    }
}
```


Abbildung 49: Auszug aus dem Programm zur Erzeugung „künstlicher“ Prozessmeldungen mittels Simulation

Weitere Abweichungen oder Ungenauigkeiten wurden bei der automatisierten Erzeugung der erweiterten Datenbasis für die Demonstration zunächst nicht indiziert, d.h. in den Maßinformationen der Meldungen wurden die in der Praxis auftretenden messverfahrensspezifischen Ungenauigkeiten oder auch möglicherweise fehlerhafte Meldungen oder Messungen zunächst ausgeschlossen.

Demonstration: Aufbau der Blockchain (Meldungskette), Datenanalyse und Auswertung

Der so erzeugte Datenbestand von mehreren tausend Einzelmeldungen, die jeweils unterschiedliche Maßinformationen aus unterschiedlichen Prozessschritten enthalten, wurde über eine Schnittstelle direkt in die in die vorbereitete Blockchain-Anwendung übertragen. Die einzelnen Meldungen bzw. Transaktionen, die anhand des jeweils enthaltenen Zeitstempels unterschiedliche Positionen in der entstehenden Meldungskette haben, bilden damit die im Rahmen der Demonstration erzeugte Blockchain.

Im zweiten Schritt der Demonstration wird das rekursive Zuordnungsverfahren zur Ermittlung zusammengehörender Meldungen im Prozess und damit der korrelierenden Maße je Holzverkauf unter Nutzung der „Kopfdaten“ der Einzelmeldungen angewendet. Die simulierten Meldungsketten konnten dabei erfolgreich in der Blockchain identifiziert und die enthaltenen Maßinformationen für die Analyse und

6 Zugrunde gelegt wurde hierbei die Standardabweichung der foto-optischen Messung 0,04 Rm m.R./ Fm o.R um den Umrechnungsfaktor, die in [10] ermittelt wurde.

Auswertung anonymisiert in den externen Datenbestand ausgelagert werden. Damit konnte zunächst der Nachweis erbracht werden, dass eine Zuordnung aller (Einzel-)Meldungen zum gemeinsamen (Holzverkaufs-)Prozess anhand eindeutiger Kennzahlen (Auftragsnummern, Kaufvertragsnummern...) möglich ist.

Zur weiteren Demonstration der durch eine umfangreiche Erhebung von Maßinformationen mittels durchgehendem digitalen Datenaustausch im Holzbereitstellungsprozess entstehenden Möglichkeiten wurden unter Verwendung von Algorithmen der statistischen Datenanalyse (Basis: Programmiersprache Python) Untersuchungen bezüglich der im Prozess verwendeten Faktoren durchgeführt. Beispielhaft zeigt Abbildung 50 ausgewählte Ergebnisse der Untersuchungen zur Ermittlung des Verhältnisses zwischen Menge in Fm o.R. (Einzelstamm) zum Polterraummaß Rm m.R. (ermittelt mit dem Dralle-Verfahren) bei 3 m Einzelstücklänge.

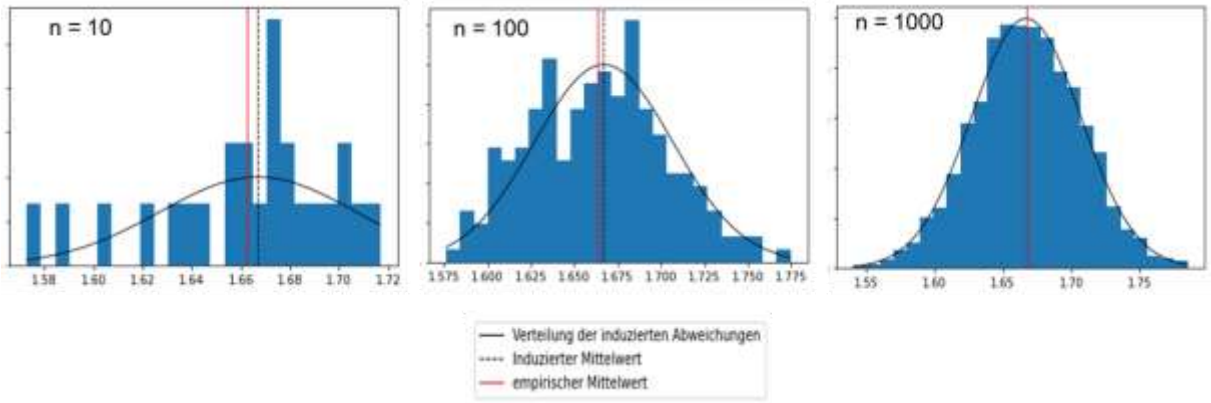


Abbildung 50: Auszug aus der statistischen Datenauswertung: Ermittelte Abweichungen des empirischen Mittelwertes vom induzierten Mittelwert bei unterschiedlichen Stichprobenumfängen

Ausgehend von der in die simulierten Meldungen induzierten Abweichung in den Daten der Maßinformationen (1 Fm o.R. = 1,667 Rm m.R. plus/minus Maßungenauigkeit) konnte gezeigt werden, dass insbesondere durch Analyse großer Datenmengen die Ermittlung der tatsächlichen Verteilung von Mengenverhältnissen möglich und das Mengenverhältnis zwischen Maßen verschiedener Messtechniken und Maßeinheiten ermittelbar ist. Dies weist nach, dass anhand der Auswertungen großer Mengen von Maßinformationen nicht nur eine Möglichkeit der Verifizierung oder Falsifizierung von praktisch genutzten (Umrechnungs-)Faktoren, sondern perspektivisch auch die Ermittlung systematischer Fehler für einzelne Maßermittlungsverfahren besteht.

Ableitung von Anwendungspotenzialen aus der Demonstration

Die Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE) und das Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung Magdeburg (IFF) führten auf dieser Basis am 14.12.2021 einen Workshop zum Thema „Blockchain in der Holzbereitstellungskette“ mit Teilnehmenden unter anderem aus den Landesforstbetrieben Brandenburg und Sachsen-Anhalt, Dralle A/S, SDP Digitale Produkte, EGGER Holzwerkstoffe, Arbeitsgemeinschaft Rohholz, Deutscher Forstwirtschaftsrat und HI Templin durch. Ziel dieses Workshops war es, die Ergebnisse der Demonstration geänderter Prozesse am Beispiel des

Szenarios „Digitaler Datenaustausch mit Blockchain-Technologie“ vorzustellen, mit Vertretern der Forst- und Holzwirtschaft zu diskutieren und mögliche Anwendungspotenziale für die Praxis abzuleiten.

Als Einstieg in den Workshops wurden Hintergrund und Ziele der Arbeiten im Projekt zusammengefasst, der im Projektverlauf an die gewonnenen Erkenntnisse angepasste Fokus von Arbeitspaket 5 des HoBeOpt-Projekts sowie die erzielten Ergebnisse vorgestellt. Im Folgenden war der Workshop in drei inhaltliche Themenblöcke gegliedert. Die wichtigsten Ergebnisse dieser drei Themenblöcke sind wie folgt:

Themenblock 1: Innerbetriebliche Potenziale und Anwendungsfelder: Von den Teilnehmenden wurde wiederholt auf die großen und komplexen Datenmengen verwiesen, die entlang der gesamten Holzbereitstellungskette entstehen. Als Beispiele hierfür wurden entstehende Daten der Holzvermessung einschließlich der Umrechnungen von Holzvolumina, Daten für die Erstellung von Zertifizierungs- und Herkunftsnachweisen, Logistikdaten sowie auch Daten für die Dokumentation der Holzverwendung genannt. Dabei wurde darauf verwiesen, dass sich etwaige (Vermessungs-)Fehler, die im Verlauf des Prozesses auftreten können, bislang schwer bis gar nicht zurückverfolgen lassen. Die Teilnehmenden bekräftigten, dass die im demonstrierten Szenario betrachteten und im Workshop vorgestellten Blockchain-Ansätze Abhilfe schaffen könnten. Die gesteigerte Transparenz durch Blockchain wurde anerkannt und als vertrauenssteigernd bewertet.

Themenblock 2: Überbetriebliche Chancen und Herausforderungen: Im Rahmen der Diskussionen zu diesem Themenblock wurde insbesondere die technische Implementierung einer Blockchain als große Herausforderung herausgearbeitet. Die Branche wurde von den Teilnehmenden als wenig „digital-affin“ beschrieben, was zur Folge hat, dass der Aufbau und die Vermittlung von entsprechendem Know-how eine zwingend notwendige Grundvoraussetzung für die Umsetzung entsprechender Prozesse und die Implementierung von neuen Ansätzen sind. Die Anwendung und Bedienung Blockchain-basierter Lösungen sollten im Sinne einer (End)-Nutzerakzeptanz möglichst einfach gehalten werden (bspw. mit App und ausgelagerter, externer technischer Betreuung). Der im Rahmen der Diskussion eingebrachte Vorschlag, eine „Pilotplattform“ zur Demonstration aufzubauen, wurde diskutiert und begrüßt. Die große Chance der Blockchain wird im Ergebnis in den mit einer Realisierung verbundenen Positiveffekten in Bezug auf die Nachweispflichten der Marktteilnehmenden gesehen. Darüber hinaus könnten Aspekte der Außendarstellung und öffentlichen Wahrnehmung der Leistungen des Cluster Forst-Holz, die für viele Betriebe zunehmend in den Fokus rücken, positiv beeinflusst werden. Aber auch Risiken für eine Umsetzung wurden benannt. Diese gehen insbesondere aus dem aktuell vorhandenen unterschiedlichen Maß an Digitalisierung hervor. Wenngleich der Wunsch nach Digitalisierung der Betriebe der Forstwirtschaft bereits akut vorhanden ist, bilden diese ein sehr heterogenes Akteursfeld und gesamtheitliche Umsetzungen kommen nur zögerlich voran. Dies könnte zur Folge haben, dass es für nicht teilnehmende Betriebe zu einem Kundenverlust durch Markteintrittsbeschränkungen kommen kann. Daher wurde darauf verwiesen, dass die Sichtbarkeit der monetären Effekte derzeit noch zu gering ist und ökonomische Vorteile im Weiteren deutlicher herausgearbeitet werden müssen.

Themenblock 3: Diskussion weiterführender Arbeiten: Im abschließenden Themenblock des Workshops wurden zunächst (1) weitere Ideen und (2) zusätzliche Nutzungsmöglichkeiten der Blockchain diskutiert und im Anschluss (3) das potenzielle Interesse der Teilnehmenden für weiterführende praxisnahe Forschungsarbeiten erfragt.

(1) Im Zuge der Diskussionen zu weiteren Ideen für die Optimierung der Prozesse der Branche wurde ELDAT als mögliche Basis für die Blockchain-Technologie vorgeschlagen. Die Debatte um neue Ideen zur Forcierung der Digitalisierung in der Branche brachte beispielsweise den Wunsch hervor, die Warenströme der Branche in geeigneter Form zu visualisieren bzw. eine grafische Aufbereitung der Stoffflüsse zu erzeugen, da mit solchen Anwendungen die Transparenz erhöht, regionale Nachweise leichter erbracht und CO2-Fußabdrücke nachvollziehbarer dargestellt werden könnten.

(2) Die Diskussionen der Teilnehmenden über zusätzliche Nutzungsmöglichkeiten führte im Ergebnis zu einer über die Forst-Holz-Bereitstellung hinausgehenden Vision, nach der die Blockchain-Technologie auch als Basis zur Nachverfolgung von CO2-Ausgleichsmaßnahmen verwendet werden könnte (bspw. könnten die beim Kauf von Flugreisen oder Kosmetika erworbenen Ausgleichsmaßnahmen als Stoffströme visualisiert und spielerisch vermittelt werden).

(3) Die Teilnehmenden aus der Praxis erklärten sich bereit, sich über weitere Workshops oder Interviews an weiterführenden, öffentlich geförderten Forschungsarbeiten zu beteiligen. Zudem wurde die Bereitschaft bekundet, sich bei Themen mit praktischem Bezug (Datenaustausch, Maßermittlungsprozess, Implementierung der Blockchain, Digitalisierung der Branche) auch als (Anwendungs-)Partner einzubringen.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die im Rahmen der Umsetzung des Demonstrationsbeispiels für geänderte Prozesse im Holzeinkauf bzw. -verkauf „Digitaler Datenaustausch mit Blockchain-Technologie“ (Szenario 4) gewonnenen Erkenntnisse wurden einerseits im Kreis der Projektpartner, andererseits mit Praktikern der assoziierten Projektpartner diskutiert. Hierzu wurden die Ergebnisse im Rahmen eines in Zusammenarbeit zwischen der HNEE und des IFF durchgeführten Workshops mit dem Ziel, Anwendungspotenziale aus dem Szenario Blockchain und der Demonstration abzuleiten, vorgestellt und mit Vertretern der Forst- und Holzwirtschaft diskutiert. Die erkannten Möglichkeiten, bestehenden Herausforderungen und Weiterentwicklungspotenziale werden im Folgenden zusammengefasst.

Die durch einen durchgehenden digitalen (einheitlichen, standardisierten) Datenaustausch entstehende umfassende und breite Datengrundlage zu Maßen in Holzeinkaufs- und Verkaufsprozessen, einschließlich der Holzbereitstellung, bietet grundlegend neue Möglichkeiten für **Verbesserungen in der Maßermittlung** sowie zur **Erhöhung der Maßgenauigkeiten** und potenziell auch zur **Verbesserung des Vertrauens in die Maße**.

Verbesserungsmöglichkeiten können dabei einerseits durch die perspektivische Anpassung der aktuell auf Erfahrungswerten oder Untersuchungen mit begrenztem Stichprobenumfang basierenden Faktoren gesehen werden. Die Schaffung einer sehr großen Datenbasis, sog. BigData-Analysen und Methoden der Mustererkennung und KI bergen dabei das Potenzial, z.B. Abzugs- und Umrechnungsfaktoren unter Berücksichtigung einer Vielzahl von (bereits bekannten oder auch noch unbekannten) Einflussfaktoren zu evaluieren, zu bewerten oder auch neu zu definieren. Darüber hinaus können systematische Fehler für die eingesetzten Maßermittlungsverfahren ermittelt und bewertet sowie optimierte Vorgehensweisen bei der Approximation in den Maßermittlungen umgesetzt werden, um die Genauigkeit bei der Maßermittlung zu

erhöhen bzw. die verbleibende Unsicherheit im ermittelten Maß zu reduzieren. Diese Ansätze können zur Verbesserung der Vergleichbarkeit verschiedener Maße und potenziell auch zur Erhöhung des Vertrauens in die Faktoren und Maße im Prozess beitragen.

Bezogen auf den Holzbereitstellungsprozess können darüber hinaus Verfahren aufgebaut werden, die in den digitalen Datenströmen potenzielle Ausreißer, d.h. Maße außerhalb eines ermittelten Toleranzbereichs, automatisiert und frühzeitig innerhalb des Logistikprozesses detektieren und entsprechende Warnmeldungen für die Prozessbeteiligten erzeugen können.

Unbenommen dieser Potenziale, die sich durch einen durchgehenden digitalen Datenaustausch ergeben, muss, mit Blick auf den aktuellen Stand der Umsetzung in der Branche, darauf hingewiesen werden, dass an der **Schaffung der erforderlichen praktischen Voraussetzungen**, wie u.a. einer zuverlässigen, einheitlichen und professionellen Datenerfassung und -übertragung zwischen den Partnern, weiterzuarbeiten ist. Dies ist (nicht nur, aber auch) für die Umsetzung von Anwendungsszenarien der Blockchain im Holzeinkaufs- und Holzverkaufsprozessen eine wesentliche Grundvoraussetzung.

Bezogen auf die Eignung der Blockchain-Technologie bzw. ihrer technischen Möglichkeiten als Lösungsansatz für die Fragestellungen im Projekt kann im Ergebnis der Arbeiten (noch) keine abschließende Aussage getroffen werden. Festgestellt werden kann zunächst, dass unter der Voraussetzung der Einbindung und Mitwirkung aller (prozessbeteiligten) Akteure entlang der Bereitstellungskette am digitalen Prozess und deren Akzeptanz eines gemeinsamen Regelwerks für die Blockchain-Anwendung der Aufbau einer ausreichend großen Datenbasis möglich (und nötig) ist und somit die Grundlage für die erforderlichen Datenanalysen, z.B. der Abzugs- und Umrechnungsfaktoren oder zur Bewertung systematischer Abweichungen geschaffen werden kann.

Darüber hinaus bieten Anwendungen, die auf der Blockchain-Technologie basieren, die Voraussetzungen für die Abwicklung und Automatisierung einer Vielzahl weiterer Prozesse, die von Relevanz in der Zusammenarbeit der Akteure in der Branche (z.B. Abrechnung, Mengenübersichten, Logistik, Zertifizierung etc.) sind. Die Anwendung „Holzvermessung“ selbst ist im Gesamtsystem branchenbezogener Anwendungen nur ein kleiner Bestandteil. Insbesondere dann, wenn es gelingt, betriebsübergreifende und betriebsinterne (z.B. Naturalbuchführung) Anwendungen im elektronischen Datenaustausch zu verbinden und die möglichen Vorteile der Blockchain-Anwendung(en) dabei allen Akteuren zugutekommen, können bislang ungenutzte Potenziale gehoben werden.

Da sich die Entwicklung von Blockchain-Anwendungen im betrieblichen und industriellen Umfeld jedoch allgemein noch in der (frühen) Phase befindet, in der getestete Anwendungen zur Marktreife geführt werden, werden die kommenden Jahre erst genauer zeigen, in welchen Bereichen sich Blockchain-Lösungen dauerhaft durchsetzen werden. So lässt sich für den Bereich Forst und Holz insgesamt (noch) keine sichere Prognose abgeben. Die Branche zeigt sich seit geraumer Zeit jedoch grundsätzlich interessiert und beschäftigt sich mit dem Thema. Dies zeigen insbesondere Aktivitäten im Bereich der Standardisierung und erste Pilotierungen in der Zertifizierung.

Einer der Gründe für die bestehenden Unsicherheiten zur Zukunft der Blockchain-Technologie in Anwendungen der Holzbereitstellung und --logistik liegt darin, dass die Technologie auch mit Herausforderungen und deutlichen Nachteilen (Aufwand, Energieverbrauch) verbunden ist. Für die Forst-

und Holzwirtschaft ist daher auch die Frage zu stellen, ob zur Lösung der aktuellen Herausforderungen (z.B. bei der Maßermittlung) die Blockchain-Technologie in ihrer gesamten Komplexität benötigt wird. Dies wird im Einzelfall nicht zwingend nötig sein, insbesondere dann, wenn ähnliche Effekte mit einem Teil der Technologien oder gar alternativen (IT-)Mitteln erreichbar sind. Für die jeweiligen Anwendungsfälle müssen daher Aufwand und Nutzen gut gegeneinander abgewogen werden. Bei dieser Abwägung sollte die Anzahl weiterer nutzenstiftender Anwendungsfälle, die jeweils in Kombination miteinander umsetzbar sind, dringend berücksichtigt werden. Möglicherweise braucht es darüber hinaus innovative Vorreiter in der Branche, die zur Einführung der Technologie bereit sind und die mit eigenen Anwendungen die zur Verbreitung notwendigen Good-Practice-Beispiele aufzeigen.

Ausblick

Im Ergebnis der Arbeiten zur Untersuchung der Potenziale des digitalen Datenaustausches mittels Blockchain-Technologie als Ansatz für geänderte Prozesse im Holzeinkauf und Holzverkauf kann ein grundsätzlich positives Fazit gezogen werden. Mittels vereinfachter Ansätze konnte der grundsätzliche Nachweis erbracht werden, dass mit innovativen Ansätzen eines digitalen Datenaustausches bestehenden Herausforderungen und Akzeptanzproblemen bzgl. der Maßermittlung im Prozess begegnet werden kann.

Offen geblieben sind einerseits technologische Fragestellungen hinsichtlich der Blockchain-Technologie. Weiterführende Arbeiten, die sich der Frage zur Notwendigkeit dieser Technologie für die Forst- und Holzwirtschaft widmen und dabei vergleichende Betrachtungen zu alternativen Ansätzen anstellen, sind zu empfehlen, um betriebliche Entscheidungen bei der Umsetzung künftiger Anwendungen zu unterstützen. Insbesondere stoßen die Möglichkeiten, die eine solche Technologie für die Rückverfolgbarkeit von Holzströmen bietet, auf sehr großes Interesse bei den Praxisakteuren, da sich die Verordnungen über Lieferketten künftig verschärfen werden. Die für die Nachverfolgbarkeit notwendige digitale Erfassung und Speicherung von Daten könnte den Digitalisierungsprozess der Forst-Holz-Kette beschleunigen und somit die Implementierung eines solchen Systems antreiben.

Andererseits konnten im Rahmen der Umsetzung des betrachteten Szenarios und in der Demonstration bislang nur auf Basis statistischer Analysen zu Umrechnungsfaktoren entstehende Effekte demonstriert werden. Darüber hinaus sind für praktische Anwendungen im Holzverkaufs- und -bereitstellungsprozess jedoch Beispiele relevant, bei denen Fehler im Prozess oder bei der Maßermittlung identifiziert und deren Ursachen ermittelt werden können. Zur erweiterten Untersuchung und Demonstration dieser Effekte, die zur weiteren Erhöhung der Akzeptanz von Maßen im Prozess beitragen können, werden ebenfalls weitere Untersuchungen angeregt. Diese sollten aufbauend auf den Vorarbeiten Untersuchungen umfassen, bei denen gezielte Abweichungen (Bsp. Rindenverluste, Baumartenmix) und Fehler im Prozess in das Modell induziert werden. Darauf aufbauend sollten Machbarkeitsprüfungen zur Detektion der Abweichungen sowie zu Möglichkeiten für Rückschlüsse auf Ursachen mittels Datenanalysen oder Mustererkennung durchgeführt und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

Literatur zu AP 5

[1] von Bodelschwingh, Ekkehard: Analyse der Rundholzlogistik in der Deutschen Forst- und Holzwirtschaft – Ansätze für ein übergreifendes Supply Chain Management. München: Technische Universität München, Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewendete Informatik, Dissertation, 31.11.2005.

[2] Baumann, Tina: Analyse logistischer Prozesse und deren Optimierungspotentiale entlang der Holzbereitstellungskette vom Wald zum Werk unterstützt durch spezielle Verfahren der Prozessmodellierung. Freiburg im Breisgau: Albert-Ludwigs-Universität, Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, Dissertation, 2008.

[3] Hug, Joachim: Optimierung von Geschäftsprozessen in der Forstwirtschaft durch den Einsatz von Informationstechnologie am Beispiel der Holzbereitstellung auf Revierebene. Freiburg im Breisgau: Albert-Ludwigs-Universität, Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, Dissertation, 2004.

[4] Bauer, Jürgen Walter: Verbesserung der Logistik in der Wertschöpfungskette zwischen Kleinprivatwald und Holzwirtschaft mittels Methoden des Business Process Reengineering. München: Technische Universität München, Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaften und Angewendete Informatik, Dissertation, 14.07.2006.

[5] Statistik für Bachelor- und Masterstudenten: Eine Einführung für Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler, Walter Zucchini, Andreas Schlegel, Oleg Nenadic, Stefan Sperlich, Springer-Verlag, 2009, Seite 197

[6] F. P. Leon, *Messtechnik: Systemtheorie für Ingenieure und Informatiker*, Seite 16. [Place of publication not identified]: Morgan Kaufmann, 2016.

[7] Ethereum Foundation 2021a; Aleph Zero Foundation Blog 2021; Cardano Foundation 2021; Popov et al. 2020, S. 33–39; Schacht und Lanquillon 2019, S. 81; Bogensperger et al. 2018, S. 44; The Linux Foundation o.J.e, S. 7–14; R3 o.J.

[8] D. Schmelz 2020: Einfluss von Messtoleranzen und -verfahren in sensorbasierten Systemen zur automatisierten Überwachung von Rohstoffbeständen in der Holzindustrie, Masterarbeit, 2020.

[9] J. P. Dietz 1967: Ermittlung des Trockengehaltes von Industrierohholz, Holz als Roh-und Werkstoff, Jg. 25, Nr. 7, S. 255–265, 1967, doi: 10.1007/BF02616078.

[10] B. Heinzmann: Untersuchungen zur Volumenbestimmung von Industrieschichtholz der Holzart Fichte mithilfe elektronischer und einzelstammweiser 3D-Vermessung. PhD Thesis, Universität Sopron, 2017

Arbeitspaket 6: Öffentlichkeitsarbeit

Zielsetzung: Ziel dieses Arbeitspaketes war es, die Ergebnisse des Projektes in die Praxis zur Information, verstärkten Anwendung der Maße und Steigerung der Akzeptanz, zu verbreiten.

Einleitung, Material, Methodik und Ergebnisse: Die projektbegleitende Öffentlichkeitsarbeit umfasst zum einen den Internetauftritt, außerdem Beiträge in den Printmedien (Fachzeitschriften, Praxismagazine, …) und Veranstaltungsbeiträge sowie eine gezielte Information der an den Vermessungsfragen interessierten Ständigen Ausschüsse (Werkseingangsvermessung und RVR).

Die Projektseite (https://kwf2020.kwf-online.de/portfolio/hobeopt/) wurde bis Projektende aktuell gehalten.

Das Fraunhofer IFF richtete ebenso wie die HNEE eine projektbezogene Homepage zum Projekt innerhalb der eigenen Internetauftritte ein. Die projektbezogene Seite des Fraunhofer IFF ist unter https://www.holzlogistik.iff.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/hobeopt.html erreichbar. Die projektbezogene Seite der HNEE ist unter https://hnee.de/hobeopt erreichbar. Auf der Homepage der AGR finden sich die Informationen zum Projekt unter https://www.ag-rohholz.de/themen/projekt-hobeopt

Präsentationen und Vorstellungen

2019 wurde das Projekt auf der LIGNA präsentiert. Die KWF-Tagung wurde coronabedingt 2020, 2021 und 2022 abgesagt. Der digitale Kongress, der als Präsensveranstaltung auf der KWF-Tagung geplant war, wurde digital durchgeführt und das Projekt HoBeOpt vorgestellt.

Außerdem wurde auf der Verwaltungsratssitzung 2021 des KWF e.V. und der Mitgliederversammlung des KWF e.V. über das Projekt berichtet.

Im Jahre 2021 wurde sowohl im Februar als auch im Oktober das Projekt HoBeOpt auf den Meetings des StA RVR vorgestellt.

Das Fraunhofer IFF präsentierte Ergebnisse aus dem Projekt, speziell zu den Arbeiten im AP 5 im Jahr 2021 im Rahmen der Forstwissenschaftliche Tagung (Online-Veranstaltung) sowie im Rahmen des Digitalen Kongress zur 18. KWF-Tagung 2021 einem breiten Fachpublikum.

Die HNEE präsentierte der forstlichen Community das im TAP 4.1. entwickelte Simulationsmodell sowie Projektergebnisse zu den durchgeführten Analysen im TAP 4.2. und TAP 4.3 im Jahr 2020 und 2021 im Rahmen der Forstwissenschaftliche Tagung, auf dem Fachkongress FORMEC und dem COFEC (53th International Symposium on Forestry Mechanization und 43th Council on Forest Engineering), im Rahmen des ersten online Fachkongresses zu Wäldern (1st International Electronic Conference on Forests – IECF) sowie im 8. spanischen forstwissenschaftlichen Kongress (Congreso Forestal Español).

Publikationen:

Berendt, F.; Bajalan, I.; Wenig, C.; Hinds, C.; Blasko, L.; Cremer, T. (2023) Estimation of Scots pine bark biomass delivered to the wood industry in Northern Germany. Central European Forestry Journal 69:89-97. https://doi.org/10.2478/forj-2022-0019

Berendt, F.; Pegel, E.; Cremer, T. (2021) Bark proportion of Scots pine industrial wood *European Journal of Wood and Wood Products* 79:749-752. https://doi.org/10.1007/s00107-021-01657-7

Berendt, F.; Wolfgramm, F.; Cremer, T. (2021) Reliability of photo-optical measurements of log stack gross volume Silva Fennica 55:10555. https://doi.org/10.14214/sf.10555

Berendt, F.; de Miguel-Díez, F.; Wallor, E.; Blasko, L.; Cremer, T. (2021) Comparison of different approaches to estimate bark volume of industrial wood at disc and log scale Scientific Reports 11:15630. https://doi.org/10.1038/s41598-021-95188-z

Berendt, F., Wolfgramm, F. und Cremer, T. (2021): Reliability of photo-optical measurements of log stack gross volume. *Silva Fennica*. https://doi.org/10.14214/sf.10555

De Miguel-Díez F., Purfürst T., Acuna M., Tolosana-Esteban E., Cremer T. (2023): Estimation of conversion factors for wood stacks in landings and their influencing parameters: a comprehensive literature review for America and Europe. Silva Fennica vol. 57 no. 1 article id 22018. https://doi.org/10.14214/sf.22018

De Miguel-Díez F, Guigue P, Pettenkofer T, Tolosana-Esteban E, Purfürst T, Cremer T. 2022. Development and evaluation of a novel 3D simulation software for modelling wood stacks. PLOS one. doi:10.1371/journal.pone.0264414.

De Miguel-Díez F, Pettenkofer T, Wallor E, Tolosana-Esteban E, Purfürst T, Cremer T. 2022. Influence of log and stack parameters on the conversion factors for Norway Spruce wood stacks using a 3D simulation model. International Journal of Forest Engineering. doi:10.1080/14942119.2022.2038023.

De Miguel-Díez F, Reder S, Wallor E, Bahr H, Blasko L, Mund J-P, Cremer T. 2022. Further application of using a personal laser scanner and simultaneous localization and mapping technology to estimate the log's volume and its comparison with traditional methods, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 109, 102779, ISSN 1569-8432, https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102779.

De Miguel-Díez, F.; Tolosana-Esteban, E.; Purfürst, T.; Cremer, T. (2021) Analysis of the Influence That Parameters Crookedness and Taper Have on Stack Volume by Using a 3D-Simulation Model of Wood Stacks. *Forests.* 2021; 12(2):238. https://doi.org/10.3390/f12020238

Jensen, L.; Hauck, A.; Dietz, H. (2020) „Zur Verkaufsmaßermittlung kaum zu empfehlen“ *Holzzentralblatt*. 25.09.2020, Nummer 39, Seite 706

Jensen, L.; (2020) Fotooptische Holzvermessung. *Forst- Holz & Jagdkalender.* 2020; Poltervermessung: 326

Jensen, L.; (2021) Fotooptische Holzvermessung. *Forst- Holz & Jagdkalender* 2020; Poltervermessung: 326

Kaulen, A.; Jensen, L. Lastenheft zur Fotooptischen Holzvermessung A5-Broschuere_kwf_LH_fotooptische_Vermessung_V2_druck.pdf (kwf-online.de)

Kaulen A., Jensen L., Berendt, F.: Whitepaper -Berücksichtigung der Polterrückseite bei der Raummaßermittlung. 01.08.2022. 20220727_FTI_Whitepaper_Polterrueckseite_FTI_AK_FINAL.pdf (kwf-online.de)

Wilms, F., Duppel, N., Cremer, T., Berendt, F. (2021) Bark thickness and heights oft he bark transition area of Scots pine Forests 12:1386. https://doi.org/10.3390/f12101386

Die Ergebnisse aus den Forschungsarbeiten wurden in nationalen und internationalen Konferenzen einem breiten Publikum vorgestellt:

Berendt, F.; Cremer, T. (2021): Stack volume accuracy of broadleaved tree species. Proceedings of the joint 43rd annual meeting of council on Forest Engineering (COFE) & the 53rd International Symposium on Forest Mechanization (FORMEC), Corvallis, USA

Berendt, F.; Cremer, T. (2021): Raummaß von Industrieholzpoltern: Genauigkeit und Reproduzierbarkeit von manuellen und foto-optischen Poltervermessungen. Proceedings der Forstwissenschaftlichen Tagung in Freising/ München, 13.-15. September 2021

Cremer T, Berendt F, de Miguel-Díez F, Wolfgramm F, Blasko L. 2021. Accuracy of Photo-Optical Measurement of Wood Piles. Environmental Sciences Proceedings. 3:90. doi:10.3390/IECF2020-08192.

Cremer, T., De Miguel-Díez; F., Berendt, F. und Blasko, L. (2021) Accuracy of innovative wood pile measurement methods. Konferencja „Innowacyjne metody pomiaru drewna w leśnictwie i przemyśle drzewnym", Poznan, Poland, 19. Oktober 2021

De Miguel-Díez, F., Tolosana-Esteban, E., Cremer, T. (2022) Modelo de simulación en 3D de pilas de madera para analizar los parámetros influyentes en el coeficiente de apilado. Actas del 8° Congreso Forestal Español in Lérida, Spain, 27 June – 1 July 2022

De Miguel-Díez, F., Pettenkofer, T., Purfürst, T., Tolosana Esteban, E, Cremer, T. (2021): Analysis of the Influence of Log Parameters on the Conversion Factors for Wood Stacks Using a Novel 3D Simulation Model. Proceedings of the joint 43rd annual meeting of council on Forest Engineering (COFE) & the 53rd International Symposium on Forest Mechanization (FORMEC), Corvallis, USA

De Miguel-Díez, F.; Cremer, T. (2021) Analyse der Einflussparameter auf die Umrechnungsfaktoren. Proceedings der Forstwissenschaftlichen Tagung, Freising/München

De Miguel-Díez, F., Reder, S., Wallor, E., Bahr, H., Mund, J.-P., & Cremer, T. (2021): Long Range and High-Speed Personal Laser Scanning (PLS) and Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)

Technology in Roundwood Measurement. https://doi.org/10.34726/wim.1929. In: Hollaus M, Pfeifer N, editors. Proceedings of the SilviLaser Conference 2021. SilviLaser 2021; September 28-30, 2021; Vienna, Austria. TU Wien, Hollaus M, Pfeifer N, translators. Vienna, Austria: TU Wien; p. 101–103. en; https://repositum.tuwien.at/handle/20.500.12708/19084.

De Miguel-Díez F, Tolosana-Esteban E, Cremer T. 2021: 3D-Simulation of wood stacks to analyze the influence of log properties on stack volume. Environmental Sciences Proceedings. 3:76

Engler, B., Cremer, T. und Purfürst, T. (2021): Stand und Perspektiven der fotooptischen Poltervermessung. Forstwissenschaftliche Tagung in Freising/ München, 13.-15. September 2021

Ehrhardt, Ina; Schmelz, Denny (2021): Mengenabweichungen im Holzbereitstellungsprozess - Ursachen, Folgen und (digitale?) Lösungsansätze. FOWITA Forstwissenschaftliche Tagung. Online, 15.09.2021. Online verfügbar unter www.fowita-konferenz.de, zuletzt geprüft am 23.11.2021.

Ehrhardt, Ina; Schmelz, Denny; Cremer, Tobias (2021): Blockchain in Holzverkaufsprozessen – Potenziale für die Holzlogistik? Digitaler Kongress zur 18. KWF-Tagung 2021. Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V. Online, 23.06.2021. Online verfügbar unter https://kwf-tagung.net/digitaler-kongress-dr-ina-ehrhardt/, zuletzt geprüft am 30.06.2021

6.1. Verwertung

a) Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen

Erfindungen und Schutzrechtsanmeldungen sind nicht zu verwerten. In Arbeitspaket 4 (Modellierung und Analyse der Eigenschaften von Holzpoltern) wurde eine die Simulationssoftware („HoPoSim“) entwickelt, welche durch Eingabe von Einflussfaktoren auf Holzdaten Polter und Einzelstämme simuliert. Über die Webseiten der Projektpartner HNEE und AGR steht die Software auch nach Projektende frei zum Download zur Verfügung.

b) Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Mit der Umsetzung der im Projekt gemeinsam mit der Branche erarbeiteten Lösungsansätze zur Steigerung der Effizienz der Holzlogistikprozesse wird mittel- bis langfristig für die Gesamtbranche ein hoher wirtschaftlicher Erfolg erwartet. Die Ergebnisse dienen der Rundholzlogistik und somit sowohl der Forstwirtschaft, als auch der Holzwirtschaft. Die Ergebnisse stehen den Protagonisten zur freien Verfügung. Wir schätzen die Verwertbarkeit der einzelnen Arbeiten im Projekt für die Wirtschaft als **hoch** ein und haben bereits im Projektverlauf z.B. über den fachlichen Beirat stets den Kontakt zu Partnern aus der Praxis gesucht, so etwa mit den Mitgliedern des Ständigen Ausschusses RVR.

Die Relevanz und direkte Verwertbarkeit der Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben wurden durch die enge Zusammenarbeit der Verbände und Forschungsinstitute mit den Partnern aus der Industrie sichergestellt. Die Integration einer Vielzahl interessierter und engagierter assoziierter Partner schafft die Basis für eine breite Akzeptanz der Lösungen in der Praxis. Durch die projektbegleitende Umsetzung und Implementierung der erarbeiteten Forschungs- und Entwicklungsergebnisse als wesentlichen integrierten Projektbestanteil wird sichergestellt, dass auch nach Abschluss des Projekts die erzielten Erfolge und Vorteile für alle Beteiligten signifikant erhalten bleiben.

Durch das erworbene Projektwissen werden die Forschungspartner in die Lage versetzt, zukunftsorientierte industrielle Partner und KMUs effektiv bei Problemlösungen, Technologiesprüngen und der Entwicklung und Einführung neuartiger Technologien, Produkte und Dienstleistungen zu unterstützen. Schließlich wurden im Projekt die praxisnahen Entscheidungshilfen – insbesondere in der Zusammenarbeit mit den assoziierten Projektpartnern – zur Branchenkommunikation und Sensibilisierung späterer Anwender erarbeitet.

c) Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete dienen weiteren wissenschaftlichen und technischen Projekten als Grundlage. Insbesondere der Praxistransfer ist durch die praxisgerechte Aufarbeitung der Ergebnisse und die Präsentation der Ergebnisse über verschiedenste Medien gut umgesetzt.

Durch den großen Funktionsumfang der Software "HoPoSim" ist eine Nutzung in anderen Forschungsprojekten denkbar und wünschenswert. Darüber hinaus lässt sie sich bei Bedarf weiterentwickeln und so an spezifische Fragestellungen anpassen. Die Software verfügt über eine Hilfeseite in deutscher Sprache, um Nutzern den Einstieg und den Gebrauch einfacher zu machen.

Die Forschungspartner werden im Rahmen des Vorhabens gemeinsam weiterführende wissenschaftliche Arbeiten durchführen. Da mit den am Vorhaben beteiligten Unternehmenspartnern konkrete Lösungsansätze als Antwort auf reale Handlungsbedarfe entwickelt wurden, ist von einer langfristigen auch wissenschaftlichen Nutzung und Weiterentwicklung der Erkenntnisse auszugehen.

Die erarbeiteten Ergebnisse wurden in Form von Berichten, Lastenheften, Publikationen und Modellen verfügbar gemacht. Dadurch ist die Möglichkeit der kontinuierlichen Weiterführung verwandter Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sichergestellt.

Die Ergebnisse des Projekts sollen neben der direkten Verwertung in Lehre und Forschung auch Entscheider des Cluster Forst & Holz auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Lage versetzen, notwendige Veränderungen von Prozessen branchenübergreifend einzuleiten.

Metadatenanalyse, allgemeine qualitative Bewertung der Maßermittlungsverfahren durch Bewertungsschema, Abbildung spezifischer Forst-Holz-Ketten in den Modellregionen und Akzeptanzanalyse stellen die Grundlage der Projektarbeiten und der Generierung einer umfassenden Erkenntnislage dar.

d) Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Von der Ausrichtung her stets praxisorientiert arbeitend, wurden und werden die Ergebnisse des Projekts durch die enge Zusammenarbeit mit Forschungsinstitutionen und Unternehmen in ganz Deutschland und international direkt in die Praxis übertragen, aber auch breiten Eingang in künftige Forschungsprojekte und Forschungskonsortien finden. Außerdem sollen die Projektergebnisse in die studentische Ausbildung und Bachelor- und Masterarbeiten einfließen. Darüber hinaus sind die Projektpartner in Fachkreisen und Communities aktiv. Ergebnisse bzw. Erfahrungen des Verbundprojekts können so Experten aus Wirtschaft und Wissenschaft vorgestellt und mit ihnen diskutiert werden.

Die Prüfung und praktische Anwendung der Messanweisungen zur Qualitätsermittlung wird zu einer wesentlichen Konsolidierung des Wissens über die automatisierte Bestimmung des

Qualitätsparameters Krümmung am Werkseingang beitragen. Entweder können die existierenden Messanweisungen mit hoher Solidität, Stabilität und geschaffener Transparenz angewendet werden oder Projekterkenntnisse führen zu zukünftiger Einbindung von Weiterentwicklungen der Messanweisungen für die Krümmung. Damit sind die Projektergebnisse geeignet, unmittelbar implementiert zu werden.

Mit der steten Weiterentwicklung der Werksvermessung hin zu mehr Effizienz, Generierung von Wertschöpfungspotenzialen und Transparenz für die Stakeholder werden die strategischen Rahmenbedingungen für die Gesamtbranche verbessert. Die grundsätzliche Stärkung der Forst- und Holzwirtschaft durch Verstetigung und Einführung von Prozessoptimierungen bedeuten stets auch Schaffung von Wettbewerbsverbesserungen gegenüber anderer materialbasierter Branchen. Das wiederum sorgt für günstigere Verbraucherpreise bzw. hohe Produktqualität. Beide Faktoren beeinflussen den inländischen Holzkonsum für höherwertige Verwendungen zum Beispiel im modernen Holzbau. Auf diese Weise stehen die Anstrengungen der Branche hin zu mehr Effizienz durch Einführung technischer Prozessoptimierungen wie hier durch die Weiterentwicklung der elektronischen Werksvermessung in unmittelbaren positiven Zusammenhang zu Auswirkungen auf die Umwelt. Beim Rohstoff Holz wird dies besonders deutlich, da hier eine regionale Ressource für regionale Märkte effizient genutzt werden kann. Die erhöhte Transparenz der Prozesse und hiebsnahe Maßermittlungen für das Rohholz werden das Vertrauen insbesondere kleinerer Forstbetriebe deutlich erhöhen und die Bereitschaft zur Nutzung verbessern. Benachteiligungen durch geringere Betriebsgrößen werden abgebaut. Effizienzsteigerungen und erhöhte Nutzungsbereitschaft aus Sicht der Waldbesitzer kommen der gesamten Branche forst- wie industrieseitig zugute.

6.2. Erkenntnisse von Dritten

Innerhalb des Berichtzeitraumes sind keine neuen Ergebnisse und Veröffentlichungen von dritter Seite bekannt geworden.

6.3. Veröffentlichungen

Die Veröffentlichungen sind in der detaillierten Beschreibung von Arbeitspaket 6 “Öffentlichkeitsarbeit” dargelegt und sind in den individuellen Anhängen der Verbundvorhaben nochmals detailliert aufgeführt.

Literaturverzeichnis:

zu AP 3:

Gjerdrum, P., et al. (2001). "Classification of crook types for unbarked Norway spruce sawlogs by means of a 3D log scanner." Holz als Roh- und Werkstoff **59**: 374-379.

Gorges, J., et al. (2021). "Curvature of Logs—Development of and Comparison between Different Calculation Approaches." Forests **12**(7): 857.

Kuhn, M., et al. (2020). "Package 'C50'."

zu AP 4:

Barret LI, Buell JH, Renshaw JF. 1941. Some converting factors for mixed oak cordwood in the Southern Appalachians. Journal of Forestry. 39:546–554.

Barros MV, Finger CAG, Schneider PR, Santini EJ. 2008. Fator de cubicação para toretes de Eucalyptus grandis e sua variação com o tempo de exposição ao ambiente. Ciência Florestal;18:109–119. (in Portuguese). https://www.scielo.br/scielo.php?pid=s1980-50982008000100109&script=sci_arttext&tlng=pt. doi:10.5902/19805098515.

Bäucker E, Kehrer-Liebmann J, Günther B, Bues CT. 2014. Unterschiedliche Festgehalte in Poltern verunsichern. Holz-Zentralblatt. 140:75–77. (in German).

Câmpu VR, Dumitrache R, Borz SA, Timofte AI. 2015. The impact of log length on the conversion factor of stacked wood to solid content. Wood Research. 60:503–518.

De Miguel-Díez F, Tolosana-Esteban E, Cremer T. 2021a. 3D-Simulation of wood stacks to analyze the influence of log properties on stack volume. Environmental Sciences Proceedings. 3:76. https://doi.org/10.3390/IECF2020-08063.

De Miguel-Díez F, Tolosana-Esteban E, Purfürst T, Cremer T. 2021b. Analysis of the influence that parameters crookedness and taper have on stack volume by using a 3D-simulation model of wood stacks. Forests. 12:238. https://doi.org/10.3390/f12020238.

De Miguel-Díez F, Pettenkofer T, Wallor E, Tolosana-Esteban E, Purfürst T, Cremer T. 2022a. Influence of log and stack parameters on the conversion factors for Norway Spruce wood stacks using a 3D simulation model, International Journal of Forest Engineering, 33:2, 119-128, DOI: 10.1080/14942119.2022.2038023.

De Miguel-Díez F, Guigue P, Pettenkofer T, Tolosana-Esteban E, Purfürst T, Cremer T. 2022b. Development and evaluation of a novel 3D simulation software for modelling wood stacks. PLoS ONE 17(3): e0264414. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264414.

Dos Santos Lisboa G, Nogueira Dias A, Valerio AF, Silvestre R. 2009. Comparação do fator de empilhamento sob diferentes condições para madeira de Eucalyptus grandis. Ambiência. 5:81–91. (in Portuguese with English abstract).

Graves HS. 1906. Forest mensuration. 1st ed. New York, USA: J. Wiley & Sons.

Hamilton GJ. 1988. Forest mensuration handbook: Forestry Commission Booklet No. 39. 3rd ed. London, UK: H.M.S.O. 280 p. 1 vol. ISBN: 0 11 710023 4.

Heinzmann B, Barbu MC. 2017. Effect of mid-diameter and log-parameters on the conversion factor of cubic measure to solid measure concerning industrial timber. Pro Ligno. 13:39–44.

Keepers CH. 1945. A new method of measuring the actual volume of wood in stacks. Journal of Forestry. 43:16–22.
Lowore JD, Abbot PG, Werren M. 1994. Stackwood volume estimations for miombo woodlands in Malawi. Commonwealth Forestry Review;73:193–197. https://www.jstor.org/stable/42608945.
Purser P. 1999. Timber Measurement Manual: Standard procedures for the measurement of round timber for sale proposes in Ireland. Dublin, Ireland: COFORD, The Council for Forest Research and Development. 82 p.
Reinhold M. 1951. Die Inhaltszahlen von Schichtnutzholz. Forstwissenschaftliches Centralblatt. 70:566–577. (in German).
Richter C. 2007. Holzmerkmale: Beschreibung der Merkmale, Ursachen, Vermeidung, Auswirkungen auf die Verwendung des Holzes, Technologische Anpassung. Leinfelden-Echterdingen, Germany: DRW-Verlag. (in German).
Rondeux J. 1999. La mesure des arbres et des peuplements forestiers. 2nd ed. Gembloux: Les presses agronomiques de Gembloux. (in French).
RVR. 2020. Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel in Deutschland (RVR). 3rd. Gülzow-Prüzen, Germany: Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). 62 p. (in German).
Schnur GL. 1932. Converting factors for some stacked cords. Journal of Forestry. 30:814–820.
SDC. 2014. Measurement of roundwood stacks: SDC´s instructions for timber measurement. Sundsvall, Sweden: SDC. 15 p. (vol. 2014).
Von Seckendorff-Gudent A. 1878. Untersuchungen über den Festgehalt der Raummasse und das Gewicht des Hölzes im frischgefällten Zustande. Mitteilungen der forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien. 1:1–43. (in German).
Vorreiter L. 1954. Mess- und Rechnungswerte für Rundhölzer. Forstwissenschaftliches Centralblatt. 73:179–184. (in German).
Witkowska J, Jodłowski K. 2018. Determining the conversion factors for selected lengths of medium-sized pine and spruce wood in the S2 group. Forest Research Papers. 79:69–76.
Zarate do Couto HT, Magalhães Bastos NL. 1988. Fator de empilhamento para plantações de Eucaliptus no Estado de São Paulo. Piracicaba, Brazil: IPEF Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais; [accessed 2021 Apr 5]. (in Portuguese). https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr38/cap03.pdf.
Zon RG. 1903. Factors influencing the volume of solid wood in the cord. Journal of Forestry. 1:126–133.
zu AP 4.3.:
Altherr E, Unfried P, Hradetzky V (1974) Statistische Rindenbeziehungen als Hilsmittel zur Ausformung und Aufmessung unentrindeten Stammholzes. Teil I: Kiefer, Buche, Hainbuche, Esche und Roterle, Freiburg im Breisgau.
Berendt F, Miguel-Diez F de, Wallor E, Blasko L, Cremer T (2021a) Comparison of different approaches to estimate bark volume of industrial wood at disc and log scale. Scientific reports 11 (1): 15630.
Berendt F, Pegel E, Blasko L, Cremer T (2021b) Bark proportion of Scots pine industrial wood. European Journal of Wood and Wood Products (Holz als Roh- und Werkstoff) 128 (6): 268.
DFWR, DHWR (2020) Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel in Deutschland (RVR), 3rd ed. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow-Prüzen, Germany.
Dietz P (1975) Dichte und Rindengehalt von Industrieholz. Holz als Roh-und Werkstoff 33 (4): 135–141.

Sedmíková M, Löwe R, Jankovský M, Natov P, Linda R, Dvořák J (2020) Estimation of Over- and Under-Bark Volume of Scots Pine Timber Produced by Harvesters. Forests 11 (6): 626.
Volz K-R (1970) Untersuchung über den prozentualen Gewichtsanteil der Rinde von kiefer-Industrieholz. Mitteilungen der Baden-Württembergischen Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt 21.
Wilms F, Duppel N, Cremer T, Berendt F (2021) Bark Thickness and Heights of the Bark Transition Area of Scots Pine. Forests 12 (10): 1386.

zu AP 5:

von Bodelschwingh, Ekkehard: Analyse der Rundholzlogistik in der Deutschen Forst- und Holzwirtschaft – Ansätze für ein übergreifendes Supply Chain Management. München: Technische Universität München, Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewendete Informatik, Dissertation, 31.11.2005.
Baumann, Tina: Analyse logistischer Prozesse und deren Optimierungspotentiale entlang der Holzbereitstellungskette vom Wald zum Werk unterstützt durch spezielle Verfahren der Prozessmodellierung. Freiburg im Breisgau: Albert-Ludwigs-Universität, Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, Dissertation, 2008.
Hug, Joachim: Optimierung von Geschäftsprozessen in der Forstwirtschaft durch den Einsatz von Informationstechnologie am Beispiel der Holzbereitstellung auf Revierebene. Freiburg im Breisgau: Albert-Ludwigs-Universität, Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, Dissertation, 2004.
Bauer, Jürgen Walter: Verbesserung der Logistik in der Wertschöpfungskette zwischen Kleinprivatwald und Holzwirtschaft mittels Methoden des Business Process Reengineering. München: Technische Universität München, Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaften und Angewendete Informatik, Dissertation, 14.07.2006.
Statistik für Bachelor- und Masterstudenten: Eine Einführung für Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler, Walter Zucchini, Andreas Schlegel, Oleg Nenadic, Stefan Sperlich, Springer-Verlag, 2009, Seite 197
F. P. Leon, *Messtechnik: Systemtheorie für Ingenieure und Informatiker*, Seite 16. [Place of publication not identified]: Morgan Kaufmann, 2016.
Ethereum Foundation 2021a; Aleph Zero Foundation Blog 2021; Cardano Foundation 2021; Popov et al. 2020, S. 33–39; Schacht und Lanquillon 2019, S. 81; Bogensperger et al. 2018, S. 44; The Linux Foundation o.J.e, S. 7–14; R3 o.J.
D. Schmelz 2020: Einfluss von Messtoleranzen und -verfahren in sensorbasierten Systemen zur automatisierten Überwachung von Rohstoffbeständen in der Holzindustrie, Masterarbeit, 2020.
[J. P. Dietz 1967: Ermittlung des Trockengehaltes von Industrierohholz, Holz als Roh- und Werkstoff, Jg. 25, Nr. 7, S. 255–265, 1967, doi: 10.1007/BF02616078.
B. Heinzmann: Untersuchungen zur Volumenbestimmung von Industrieschichtholz der Holzart Fichte mithilfe elektronischer und einzelstammweiser 3D-Vermessung. PhD Thesis, Universität Sopron, 2017