

TECHNISCHER BERICHT
 MESSUNG UND BEWERTUNG VON OPTIMIERUNGEN IN DER ROHHOLZLOGISTIK



Das Projekt wurde von der Wald- und Holzforschungsförderung Schweiz (WHFF-CH) unterstützt (REF-1011-85140).

Autoren: Lorenz Diefenbach, Mélanie Thomas

Kontakt: Martin Ziesak



INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	4
1 Abstract / Zusammenfassung	6
2. Ausgangslage	10
2.1 Technische Optimierungspotenziale	10
2.2 Organisatorische Optimierungspotenziale	10
2.3 Zielsetzungen	11
3. Material und Methoden	11
3.1 Material	11
3.1.1 Material Technik	11
3.1.1 Material kombinierter Verkehr	13
3.2 Methoden	15
3.2.1 Vorgehen	15
3.2.1 Literaturrecherche	15
3.2.2 Workshops	15
3.2.3 Praxistest Technik	16
3.2.3 Praxistest Kombiniertes Verkehr	19
3.2.4 Berechnung der Kostensätze	21
3.2.5 Protokollierung und Messung der praktischen Tests	22
3.2.6 Datenanalyse Technik	22
3.2.6 Datenanalyse Kombiniertes Verkehr	24
4. Resultate	26
4.1 Gemessene und protokollierte Be- & Entladungszeiten	26
4.1.1 Technik	26
4.1.2 Kombiniertes Verkehr	27
4.2 Gesamttransportkosten	27
4.2.1 Technik	27
4.2.2 Kombiniertes Verkehr	30
4.3 Einfluss des Holzpreises auf die Transportstrecke beim Strassenverkehr	32
4.3.1 Technik	32



6. Diskussion	34
6.1 Forschungsdesign	34
6.1.1 Datenqualität und Datenquantität	34
6.1.2 Praxistests	34
6.1.3 Datenerfassung	35
6.2 Resultate	35
6.2.1 Technik: Be- und Entladungsvorgang	35
6.2.2 Technik: Nutzlast	36
6.2.3 Technik: Transportdauer	36
6.2.4 Kombiniertes Verkehr: Be-, Um- und Entladevorgang	37
6.2.5 Kombiniertes Verkehr: Transportkosten	37
6.2.6 Internet Plattform	38
6.3 Optimierungspotenziale	38
7. Schlussfolgerung	41
8. Zusammenfassung	43
8. Literaturverzeichnis	46
9. Anhang	48
9.1 Factsheets	48
9.2 Kostensätze	55

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Bereitstellungskosten frei Werk in [EUR/m ³] (Quelle: JPMC, 2002)	10
Abbildung 2: Übersicht der räumlichen Ausdehnung der Praxistests Technik	17
Abbildung 3: Testablauf Technik I LKW mit Kran (links), LKW ohne Kran (rechts). Die gestrichelten Linien verweisen auf einen möglichen Prozessablauf (LKW's ohne Kran müssen nicht zwingend vom Werk herkommen).....	18
Abbildung 4: Testablauf Technik II Lkw mit Kran (links), Lkw ohne Kran (rechts). Die gestrichelten Linien verweisen auf einen möglichen Prozessablauf (LKW's ohne Kran müssen nicht zwingend vom Werk herkommen).....	18
Abbildung 5: Testabläufe kombinierter Verkehr	20
Abbildung 6: Testabläufe Strassenverkehr als Vergleich zum kombinierten Verkehr....	20
Abbildung 7: Übersicht der räumlichen Ausdehnung der Praxistests kombinierter Verkehr.....	21
Abbildung 8: Gemessene und protokollierte Be-Entladezeiten. Der Anfangsbuchstabe B bedeutet "beladen", der Anfangsbuchstabe E bedeutet "entladen"	26
Abbildung 9: Gesamttransportkosten in Abhängigkeit der Transportdistanz (N=23, R ² =0.718, Kostenfunktion: $y=301 + 2.5x$	28
Abbildung 10: Gesamttransportkosten in Abhängigkeit der Nutzlast.....	28
Abbildung 11: Mittlere Gesamttransportkosten pro Stunde in Abhängigkeit der Nutzlast	29
Abbildung 12: Max. Transportweg (hin oder zurück) in Abhängigkeit zweier Holzpreise und zweier Anteile (20% und 40%) der Transportkosten am Holzpreis. Das Vorzeichen T bezieht sich auch Tschopp Holzindustrie AG, das Vorzeichen S auf Schilliger Holz AG.	33

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Anzahl der LKW-spezifischen aufgezeichneten Transportvorgänge	11
Tabelle 2: Verwendete LKW-Modelle und deren Eigenschaften	12
Tabelle 3: Verwendete LKW-Modelle Bahnwaggons und deren Eigenschaften	14
Tabelle 4: Übersicht der Treffen mit den Akteuren der Arbeitsgruppe Technik, kombinierter Verkehr und Holzwarenplattform	16
Tabelle 5: Übersicht der untersuchten Varianten für den kombinierten Verkehr.....	19
Tabelle 6 Vereinfachte Darstellung der Berechnungsgrundlagen der Kostenansätze (ohne LSVA)	22



Tabelle 7: Auflistung der erfassten und berechneten Kriterien.....	24
Tabelle 8: Zusammenfassung der benötigten Zeiten für Be-, Um und Entladen beim Kombinierten Verkehr, mit jeweils den minimalen und maximalen benötigten Zeiten ..	27
Tabelle 9: Übersicht der LKW-spezifischen Kennzahlen.....	29
Tabelle 10: Übersicht der Kosten für den Bahntransport.....	30
Tabelle 11: Übersicht der Kosten je Variante vom kombinierten Verkehr sowie der Vergleichsvarianten Strassenverkehr. Bei den Zeitaufwänden stehen die Zeiten der Einzelfahrten in Klammern.	31
Tabelle 12: Abweichungen der Mittelwerte der gemessenen Werte mit den modellierten Werten. Das Vorzeichen + bedeutet, dass im Rahmen der praktischen Einsatztest im Mittel eine den Werten entsprechende zu hohe Kilometeranzahl erreicht wurde. Das Vorzeichen - bedeutet, dass die Transportwege unter dem effektiven Potential liegen.	33

Abbildung Titelblatt: Lkw von Tschopp Holzindustrie AG (Helfenstein, 2019)

1 ABSTRACT / ZUSAMMENFASSUNG

Der Transport vom Wald zum Holzverarbeiter macht einen beachtlichen Anteil der Holzbereitstellungskosten aus und hat in den letzten Jahren aus verschiedenen Gründen zugenommen. Für «Lignum Holzwirtschaft Zentralschweiz» (vormals und zur Zeit der Antragstellung «PROHOLZ Lignum Luzern») wurden durch die HAFL in Zusammenarbeit mit mehreren Praxispartnern (SWISS Krono AG, Perlen Papier AG, Schilliger Holz AG, Tschopp Holzindustrie AG, Florinett Holz AG, Latschbacher AG, Amstutz Holzenergie AG, RWG Fontannen) Optimierungspotentiale analysiert und Praxistests durchgeführt.

Anhand einer Literaturrecherche wurden technische und organisatorische Lösungsansätze zur Senkung der Transportkosten in der Rohholzlogistik identifiziert, beschrieben und im Hinblick auf ihre Einsatzmöglichkeiten in der Schweiz beurteilt. Im Rahmen eines Workshops mit potenziellen Praxispartnern wurden die 31 identifizierten Ansätze von den Experten priorisiert und 9 selektiert, die mit einer Ausarbeitung von Factsheets genauer beschrieben wurden. In einem zweiten Workshop wurde festgelegt, welche dieser Ansätze mit welchen Praxispartnern erprobt werden sollen, um sie auf ihre Einsatztauglichkeit zu prüfen und konkrete Einsparpotenziale zu ermitteln. Für die technischen Varianten wurde vorgängig ein Vergleich der Kosten unterschiedlicher LKW-Modelle vorgenommen. Für den kombinierten Verkehr wurden die Kosten verschiedener Transportkonzepte (Bahn-LKW, LKW) verglichen. Für die Detailplanung der Praxistests fanden bilaterale Treffen statt. Zusätzlich wurde mit einer Internet-basierenden Holzwarenplattform ein Thema in einem separaten Workshop eingehender diskutiert, welches im Antrag stark fokussiert war, in der Selektion durch die Teilnehmer aber nicht in die Umsetzungsphase aufgenommen wurde, wo andererseits aber dennoch ein gewisses Potenzial gesehen wird.

Für die Praxistests im Teil Technik wurden 6 verschiedene LKWs (je 3 der Schilliger Holz AG und Tschopp Holzindustrie AG) verwendet. Die LKWs unterschieden sich in ihrer Ausstattung (mit / ohne Kran, Anhänger aufladbar oder nicht) und somit auch in der maximal möglichen Nutzlast. Die Bewegungen der LKWs wurden mit einer frei verfügbaren SmartPhone App aufgezeichnet. Ergänzend dazu wurden die Teilarbeitsschritte der Transporte durch die Fahrer mit Messprotokollen dokumentiert. Insgesamt konnten Daten zu 23 Transporten erhoben werden.

Für den kombinierten Verkehr wurde für die Datenerfassung das gleiche Vorgehen gewählt. Sämtliche Transportvorgänge vom Wald zum Verladebahnhof oder Direkttransporte zum Werk der Schilliger Holz AG wurden der Vergleichbarkeit halber mit dem gleichen LKW durchgeführt. Bei kombiniertem Verkehr wurde vom Endbahnhof bis zum Werk von Schilliger ein firmeneigener LKW genutzt. Der Bahntransport erfolgte mit konventionellen Bahnwaggons für den Holztransport oder Standard-Waggons mit ACTS-Flats. Sämtliche Varianten konnten im Rahmen der Untersuchung nur einmal durchgeführt werden.

Wegen der geringen Anzahl Transporte pro Variante sind sowohl beim Teil Technik als auch beim kombinierten Transport nur qualitative, statistisch nicht gesicherte Aussagen möglich.

Die Resultate des Teils Technik zeigten, dass die mittlere Ausnutzung der Nutzlast der LKWs sehr hoch ist und wenig Optimierungspotential bietet. Die LKWs unterschieden sich bezüglich der Kosten pro Tonnenkilometer, Kosten pro Kilometer und Kosten pro Tonne teils erheblich. Weiter wiesen die von den Fahrern mit Messprotokollen erfassten Zeiten für die einzelnen Arbeitsschritte teils grosse Abweichungen zu den anhand der Applikation ermittelten Zeiten auf. Die Tests zeigten eine Tendenz für einen linearen Zusammenhang zwischen folgenden Faktoren: Gesamttransportkosten und Transportdistanz; Gesamttransportkosten pro Tonnenkilometer und Nutzlast; Gesamttransportkosten pro Stunde und Nutzlast.

Eine Kostenreduktion lässt sich durch die Verwendung von LKWs mit einer höheren Nutzlast, die Minimierung der Transportdistanzen und die Erhöhung der Anzahl LKWs pro Transport erreichen. Weiteres Optimierungspotential würde sich durch die Minimierung der Be- und Entladezeiten durch geeignete Disposition und effiziente Abladetechniken realisieren lassen.

Die Untersuchungen beim kombinierten Verkehr wiesen eine hohe Variabilität auf. Am günstigsten schneidet die Variante Strassentransport mit Rückfracht ab, weil ein Teil der Kosten dem Rückfrachtprodukt zugeteilt werden kann. Lässt sich keine Rückfracht organisieren, ist die Variante kombinierter Verkehr je nach verwendeten Waggons / Flats selbst bei einer Umladung von der Rhätischen Bahn (RhB) auf die SBB noch konkurrenzfähig, solange die Waggons voll ausgelastet werden können. Besonders die Distanzen zwischen Wald und Bahnhof sowie Wald und Werk beeinflussen, welche Variante am kostengünstigsten ist.

Optimierungspotential besteht in der Verwendung effizienterer Systeme zur Ladungssicherung der Bahnwaggons, dem Verladen der Flats auf die LKWs und der Reduktion der Wartezeiten bei den Holzabnehmern. Welche Transportvariante beim kombinierten Verkehr am kostengünstigsten ist, ist stark von den Ausgangsbedingungen (Distanz Wald – Bahnhof resp. Bahnhof – Werk) abhängig.

Das Thema Holzwarenplattform zur Optimierung der Auslastung / Rückfrachtoptimierung stiess bei den Praxispartnern nur auf verhaltenes Interesse. Die Idee zielt darauf ab, einen bestimmten Anteil der zu transportierenden Rohholzmenge über eine halboffene digitale Plattform dem günstigsten Transportunternehmer als Auftrag zu vergeben. Dadurch würden sich die Rückfrachttransporte optimieren lassen und die Professionalisierung der Transportbranche würde gefördert. Technisch wäre eine solche Lösung relativ einfach realisierbar (bspw. mit der net.logistik von Latschbacher), allerdings funktioniert sie nur, wenn eine sinnvolle Mindestmenge (Festmeter, Polter, Aufträge usw.) auf die Plattform gestellt wird. Volkswirtschaftlich wäre es vermutlich sinnvoll, um mit übergreifenden Lösungen die Kosten und die Umweltbelastung zu senken.

Die Praxistests bestätigen zudem, dass für signifikante und aussagekräftigere Resultate eine Erhöhung der Anzahl Wiederholungen pro LKW-Modell erforderlich ist. Dies umzusetzen würde eine automatische und vollständige Datenerfassung voraussetzen, damit der Aufwand für die Datenauswertung reduziert, gleichzeitig aber auch die Datenqualität gewährleistet werden kann. Dazu wäre zu prüfen, ob durch den Einsatz von einem Telematiksystem für LKWs die erforderlichen Daten abgegriffen werden können



oder ob eine Kombination mit zusätzlichen Sensoren notwendig ist, um die Arbeitsphasen trennen zu können. Zusätzlich betrachtet werden sollten Verfahrensvariationen, die weiteres Optimierungspotential bieten. Dies sind beispielsweise der Einsatz eines Stackers zur Entladung oder beim kombinierten Verkehr die Verwendung von ACTS-Flats bereits im Wald.

Die Daten, die durch die Ausstattung der LKWs mit einem Telematiksystem bzw. mit geeigneter Sensorik dann im Idealfall eine automatische Arbeitsphasentrennung ermöglichen, können als Grundlage für die Entwicklung eines Decision Support Tools verwendet werden. Dieses könnte helfen, die Transportvarianten zu vergleichen und in Abhängigkeit von den Distanzen zwischen Wald, Bahnhof und Kunde die kostengünstigste Lösung vorschlagen.

Schlagwörter: Rohholzlogistik, kombinierter Verkehr, Optimierung



1. EINLEITUNG

Die Schweizerischen Holzbereitstellungskosten haben in den letzten Jahren aus mehreren Gründen gegenüber dem Ausland zugenommen. Ein Blick auf die Holzwertschöpfungskette zeigt auf, dass insbesondere die Logistik bzw. die Rohholzlogistik verglichen mit den Nachbarländern an Wettbewerbsfähigkeit eingebüsst hat. Eine im Jahr 2017 in der Schweiz durchgeführte Studie ergab, dass die Marktpreise der heimischen Rohholzlogistik 20% bis 50% über dem Niveau der Nachbarländer liegt (Gautschi et al., 2017).

Zum einen gilt das Schweizerische forstliche Strassennetz aufgrund der topografischen Bedingungen als anspruchsvoll, zum anderen entspricht insbesondere der Ausbaustandard und die Infrastruktur des Strassennetzes häufig nicht den Anforderungen, an eine effiziente Rohholzlogistik. Ein weiterer kostenintensiver Faktor betrifft das Organisatorische, dazu zählt etwa eine mangelnde Auslastung der Maschinen, eine nicht ideale Abstimmung der verschiedenen Prozesse innerhalb der Rohholzlogistik, kleinstrukturierte Unternehmen und nicht automatisierte Dispositionsprozesse.

Ausgehend von diesen Hintergrundinformationen bestehen die primären Ziele der vorliegenden Studie darin, (I) die Potenziale einer Senkung der Bereitstellungskosten zu analysieren und (II) den Handlungsbedarf mit den involvierten Akteuren zu erörtern und daraus Empfehlungen für eine wettbewerbsfähigere Schweizer Rohholzlogistik zu formulieren.

Um diese Ziele zu erreichen wurden verschiedene Methoden angewendet. Einerseits baut diese Studie auf einer aufwändigen Literaturrecherche und mehreren Workshops sowie bilateralen Treffen mit den im Projekt involvierten Akteuren auf. Andererseits konnten basierend auf den demokratisch erarbeiteten Vereinbarungen praktische Tests mit sechs verschiedenen LKW's durchgeführt und gemessen werden.

2. AUSGANGSLAGE

Seit geraumer Zeit ist die Schweizer Wald- und Holzwirtschaft bestrebt, die Bereitstellungskette Wald-Werk kosteneffizienter zu gestalten. Bereits im Jahr 2002 wurde in einer Studie, erarbeitet durch Jaakko Pöyry, darauf hingewiesen, dass die Kosten für Transporte einen erheblichen Anteil an den gesamten Bereitstellungskosten ausmachen und die Transportkosten in der Schweiz aufgrund von leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgaben (LSVA), Beschränkungen des Gesamtgewichts und geringem Wettbewerb deutlich höher liegen als im Ausland (vgl. Abbildung 1).

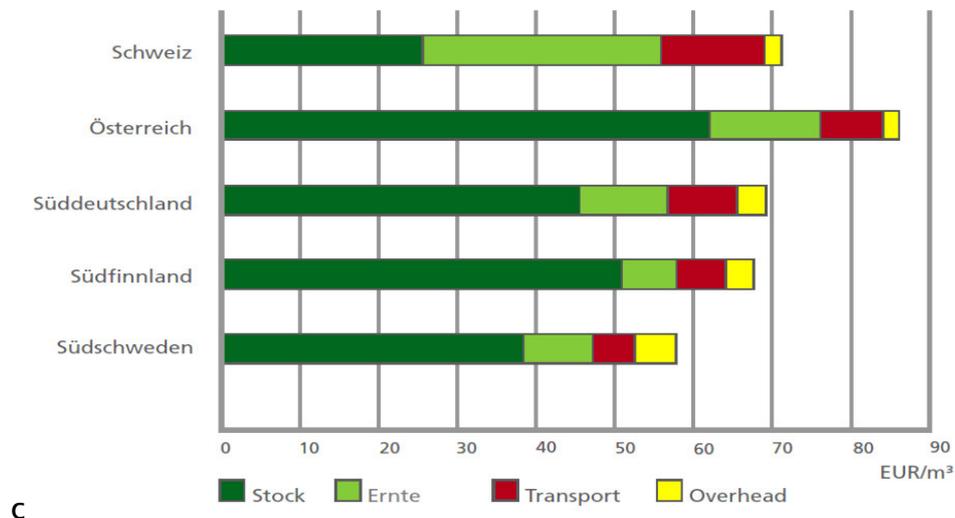


Abbildung 1: Bereitstellungskosten frei Werk in [EUR/m³] (Quelle: JPMC, 2002)

Eine zusätzliche veröffentlichte Studie von GEO PARTNER AG weist aus, dass die Marktpreise für LKW-Transporte in der Schweiz rund 20% bis 50% über dem Niveau der angrenzenden Länder liegen (Gautschi et al. 2017).

Davon ausgehend zählt die Optimierung des Rohholztransports zu den grösseren Herausforderungen im Gütertransport. Mögliche Optimierungspotenziale zur Senkung der Rohholztransportkosten sind gemäss der Studie von GEO PARTNER AG in den Bereichen Technik, Organisation und der Rechtsgrundlage zu erwarten. Letztere wird im Rahmen dieser Studie nicht berücksichtigt.

2.1 TECHNISCHE OPTIMIERUNGSPOTENZIALE

Unter technischen Optimierungspotenzialen werden sämtliche technischen Errungenschaften verstanden, die dazu beitragen, die Rohholztransportkosten zu reduzieren. Dazu zählen verschiedene LKW-Aufbauten, moderne Rohholztransportvorrichtungen, IT-Lösungen und infrastrukturelle Anpassungen für die Rohholzlogistik.

2.2 ORGANISATORISCHE OPTIMIERUNGSPOTENZIALE

Unter organisatorischen Optimierungspotenzialen werden sämtliche Vorgehensweisen verstanden, die darauf abzielen, mit Hilfe von organisatorischem Vorgehen die

Rohholzbereitstellungskosten zu reduzieren. Dazu zählt etwa die Bündelung von Rohholztransporten oder die gemeinsame Nutzung einer LKW Logistik Plattform.

2.3 ZIELSETZUNGEN

Konkret sollen folgende Teilziele erreicht werden:

- Technische und organisatorische Lösungsansätze zur Senkung der Transportkosten in der Schweiz sind identifiziert, beschrieben und im Hinblick auf ihre Einsatzmöglichkeiten in der Schweiz **beurteilt**.
Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem Transport von Sägerundholz, Industrieholz sowie Waldhackschnitzeln und dem Transport durch direkte sowie kombinierte Verkehrslösungen.
- Zwei bis drei der vielversprechendsten technischen Ansätze sind im Rahmen von Pilotprojekten mit der Praxis die Einsatztauglichkeit geprüft und **konkrete Einsparpotenziale** berechnet. Zudem sind die für ihren Einsatz notwendigen **Voraussetzungen** bekannt.

3. MATERIAL UND METHODEN

Die Arbeitsschritte und damit auch die Ergebnisse dieser Studie beruhen auf einer Vielzahl von Materialien und Methoden. Damit die Nachvollziehbarkeit gewährleistet werden kann, wird in den folgenden Unterkapiteln einzeln darauf eingegangen.

3.1 MATERIAL

3.1.1 Material Technik

Die für diese Studie erforderlichen Materialien setzten sich im Wesentlichen zusammen aus: sechs verschiedene LKW-Modelle (vgl. Tabelle 2), Smartphone Applikation «Runkeeper» (<https://runkeeper.com>, 2019), Mess- und Vermessungsprotokolle (vgl. Kap. 9). Die Bewegungen der LKW-Modelle wurden mit der Applikation «Runkeeper» aufgezeichnet. Dazu mussten die LKW-Fahrer die Applikation bei Transportbeginn starten und bei Transportende beenden und codiert abspeichern. Als Ergänzung dazu konnten die Transporte und insbesondere deren Teilarbeitsschritte mit Messprotokollen dokumentiert werden. Durch die LKW-spezifischen Vermessungsprotokolle der Projektpartner, sind die effektiven transportierten Holzmassen dokumentiert.

Insgesamt konnten durch die Applikation «Runkeeper» für die sechs verschiedenen LKW's jeweils folgende Anzahl der Rohholztransporte aufgezeichnet werden (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Anzahl der LKW-spezifischen aufgezeichneten Transportvorgänge

Messwerte	LKW1	LKW2	LKW3	Σ
Tschopp Holzindustrie AG	5	4	8	17
Schilliger Holz AG	2	0	4	6
Gesamtsumme				23

Tabelle 2: Verwendete LKW-Modelle und deren Eigenschaften

	Foto	Exakte Bezeichnung	Eigenschaften
Tschopp Holzindustrie AG		VOLVO FH 540 Euro 6 6x2	Nutzlast: 21.04t Mit Kran Anhänger nicht aufladbar
		VOLVO FH 540 Euro 6 6x2	Nutzlast: 22t Mit Kran Anhänger aufladbar
		VOLVO FH 540 Euro 6 6x2	Nutzlast: 24t Ohne Kran Anhänger aufladbar
Schilliger Holz AG		SCANIA Euro 5	Nutzlast: 27.5t Ohne Kran Anhänger aufladbar
		SCANIA Euro 5	Nutzlast: 28.15t Ohne Kran Anhänger nicht aufladbar (nur protokollierte Daten verfügbar)
		SCANIA Euro 6	Nutzlast: 24.2t Mit Kran Anhänger aufladbar

3.1.1 Material kombinierter Verkehr

Die Messungen der Transportvorgänge auf Strasse bei der Studie zum kombinierten Verkehr erfolgten ähnlich wie beim Teil Technik. Alle Transportvorgänge zum Wald und zum Ladebahnhof sowie die Lieferung per Strassenverkehr als Vergleich wurden mit demselben LKW der Florinett AG durchgeführt (vgl. Tabelle 3). Die Transporte zwischen Ankunftsbahnhof und dem Werk von Schilliger Holz AG wurden mit den LKW3 von Schilliger Holz AG durchgeführt (vgl. Teil Technik, Tabelle 2). Wie beim Teil Technik wurden die Bewegungen der LKW-Modelle mit der Applikation «Runkeeper» aufgezeichnet und deren Teilarbeitsschritte mit Messprotokollen dokumentiert.

Für den Bahntransport wurden je nach Transportvorgang konventionelle Bahnwaggons für den Holztransport oder Standard-Waggons mit ACTS-Flats verwendet. Die Bahnwaggons der SBB und RhB unterscheiden sich nicht nur in der Spurbreite, sondern auch in der Zuglänge und Nutzlast.

Die transportierten Holzmassen der einzelnen Bahnwaggons ergeben sich aus den Vermessungsprotokollen. Die transportierten Holzmengen der einzelnen Fahrten zwischen Wald und Ladebahnhof wurden durch den Fahrer geschätzt.

Die Kosten für die Bahnleistungen entsprechen den Preisvereinbarungen von Perlen Papier AG mit den jeweiligen Bahnunternehmen.

Tabelle 3: Verwendete LKW-Modelle Bahnwaggons und deren Eigenschaften

	Foto	Exakte Bezeichnung	Eigenschaften
LKW Florinett AG		VOLVO FH 540 Euro 6 6x2	Nutzlast: 23.2t Mit Kran Anhänger aufladbar
Bahnwaggons		Konventionelle Waggons RhB	Ladelänge 15.5m Nutzlast: 33t oder 42t je nach Baujahr
		Konventionelle Waggons SBB	Nutzlast: 60t
		Waggon RhB mit ACTS-Flat	Ladelänge 15.5m Nutzlast: 46t 1 ACTS-Flat pro Waggon
		Waggon SBB mit ACTS-Flats	Nutzlast: 60t 3 ACTS-Flat pro Waggon

3.2 METHODEN

3.2.1 Vorgehen

Die in dieser Studie enthaltenen Arbeitsschritte wurden in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern durchgeführt. Um die verschiedenen Arbeitsschritte möglichst zielführend zu erreichen, war der Gebrauch unterschiedlicher Methoden erforderlich. Die im Rahmen dieser Studie angewandten Methoden bestehen insbesondere aus:

1. Literaturrecherche und Erarbeitung von Factsheets für die Projektpartner
2. Durchführung von Workshops zur gemeinsamen Formulierung der Forschungsfragen
3. Bilaterale Treffen, um die praktischen Tests zu konkretisieren
4. Berechnung der Kostensätze basierend auf Angaben der Projektpartner und Literaturangaben
5. Protokollierung und GPS-basierte Messung der praktischen Tests
6. LKW spezifische Analyse der Kostensätze

Durch die Literaturrecherchen und die anschliessend durchgeführten Workshops konnten die Zielsetzungen gemeinsam konkretisiert und präzisiert werden. Mit Hilfe von bilateralen Treffen war es möglich, die Planung der Praxistests zu finalisieren.

Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die durchgeführten Workshops und bilateralen Treffen sowie über deren spezifische Ziele.

3.2.1 Literaturrecherche

Die Erarbeitung der Factsheets beruht auf Literaturrecherchen und Informationen aus dem internationalen Kontext. Die übergeordnete Aufgabe bestand darin, einen gemeinsamen Wissensstand zu erarbeiten, der als Diskussionsgrundlage die Konkretisierung der Forschungsfragen fördert. Zudem bestand die Aufgabe der Factsheets darin, das Optimierungspotenzial und die Wirksamkeit einzelner Massnahmen zu beurteilen. Im Kapitel 10 sind die Factsheets hinterlegt.

3.2.2 Workshops

Um die praktischen Tests zu definieren, konzipieren und vorzubereiten, fanden Workshops statt. In den Workshops ging es darum, gemeinsam getragene Zielformulierungen zu erarbeiten und erste Konkretisierungen bzgl. der praktischen Tests vorzunehmen. In den ersten beiden Workshops ging es insbesondere darum, die offen formulierten Zielformulierungen zu konkretisieren.

Erster Workshop vom 02.10.2018 mit den folgenden Teilnehmern:

- G. Mauro (SWISS KRONO AG), M. Moser (Perlen Papier AG), V. Stäheli (Schilliger Holz AG), E. Helfenstein (Tschopp Holzindustrie AG), A. Amstutz (Amstutz Holzindustrie AG), H.R. Hochuli (RWG Fontannen), M. Fehr (Iawa), R. Fritschi (Latschbacher AG), K. Pascual (SBB Cargo), M. Ziesak (HAFL), P. Dietsch (HAFL), M. Thomas (HAFL), L. Diefenbach (HAFL), A. Arnet (PROHOLZ Lignum Luzern)

Zweiter Workshop vom 27.11.2018 mit den folgenden Teilnehmern:

- G. Mauro (SWISS KRONO AG), M. Moser (Perlen Papier AG), V. Stäheli (Schilliger Holz AG), R. Birrer (Tschopp Holzindustrie AG), A. Amstutz (Amstutz Holzindustrie AG),

H.R. Hochuli (RWG Fontannen), M. Fehr (Iawa), R. Fritschi (Latschbacher AG), D. Hildebrand (SBB Cargo), R. Köchli (SBB Cargo), M. Ziesak (HAFL), M. Thomas (HAFL), L. Diefenbach (HAFL), A. Arnet (PROHOLZ Lignum Luzern)

Durch weitere Workshops in den verkleinerten Arbeitsgruppen «Technik», «kombinierter Verkehr» und «Holzwarenplattform» sowie durch bilaterale Treffen, konnten die Ideen aus den Workshops weiterentwickelt und konkretisiert werden. Im Wesentlichen ging es darum, die exakten Durchführungstermine und die Verantwortlichkeiten verbindlich zu regeln. Zudem wurden die LKW-Fahrer bzgl. der Protokollierung und der Anwendung der GPS-basierten Applikation instruiert.

Tabelle 4: Übersicht der Treffen mit den Akteuren der Arbeitsgruppe Technik, kombinierter Verkehr und Holzwarenplattform

Datum	Ort	Zielsetzung	Anwesende Akteure
15.01.2019	Perlen Papier AG	Vorbereitung Praxistest Technik & kombinierter Verkehr	M. Moser (Perlen Papier AG), R. Schilliger (Schilliger AG), R. Birrer (Tschopp Holzindustrie AG), M. Thomas (HAFL), L. Diefenbach (HAFL), A. Arnet (PROHOLZ Lignum Luzern)
05.02.2019	Schilliger AG	Konkretisierung Praxistest Technik	R. Schilliger (Schilliger AG), L. Diefenbach (HAFL)
12.02.2019	SBB AG, Altstetten ZH	Konkretisierung Praxistests Kombiniertes Verkehr	M. Moser (Perlen Papier AG), D. Del Simone (RhB AG), O. Schwob (SBB Cargo AG), D. Zumkehr (ACTS AG), A. und A. Florinett (Florinett AG), M. Thomas (HAFL), L. Diefenbach (HAFL)
13.02.2019	HAFL	Vorbesprechung Holzwarenplattform	R. Fritschi (Latschbacher AG), M. Ziesak (HAFL), L. Diefenbach (HAFL)
15.02.2019	Tschopp Holzindustrie AG	Konkretisierung Praxistest Technik	R. Birrer (Tschopp Holzindustrie AG), E. Helfenstein (Tschopp Holzindustrie AG), L. Diefenbach (HAFL)
09.04.2019	Perlen Papier AG	Besprechung Holzwarenplattform	R. Birrer (Tschopp Holzindustrie AG), J. Bislin (Perlen Papier AG), R. Fritschi (Latschbacher AG), L. Gerig (Wald Seetal-Habsburg), M. Moser (Perlen Papier AG), A. Müller (Müller Transporte AG), M. Ziesak (HAFL), L. Diefenbach (HAFL)
23.04.2019	Tschopp Holzindustrie AG	Orientierung und Schulung der Fahrer	D. Tschopp (Tschopp Holzindustrie AG), R. Birrer (Tschopp Holzindustrie AG), E. Helfenstein (Tschopp Holzindustrie AG), J. Brechbühl (Tschopp Holzindustrie AG), D. Duss (Tschopp Holzindustrie AG), S. Stadelmann (Tschopp Holzindustrie AG), L. Diefenbach (HAFL)
21.05.2019	Schilliger AG	Orientierung und Schulung der Fahrer	R. Schilliger (Schilliger AG), D. Zahner (Schilliger AG), L. Diefenbach (HAFL)
20. und 21.05.2019	Florinett AG	Orientierung und Schulung der Fahrer sowie Testfahrt	A. und A. Florinett (Florinett AG), M. Thomas (HAFL)

3.2.3 Praxistest Technik

Die praktischen Tests von Tschopp Holzindustrie AG konnten anschliessend wie zuvor vereinbart umgesetzt werden. Jene von Schilliger AG mussten angepasst werden, d.h. ein Praxistest mit gleichzeitigem Einsatz von drei LKW's konnte nicht realisiert werden. In den nächsten beiden Abbildungen sind die durchgeführten Tests grafisch ersichtlich. Die

geografische Ausdehnung der Praxistests reicht von der Nordwestschweiz bis in die Südostschweiz.



Quelle: swisstopo
 Erstellungsdatum: 20.11.2019
 Autor: Lorenz Diefenbach

Legende

- TschoppHolzindustrieAG
- Schilliger Holz AG



Abbildung 2: Übersicht der räumlichen Ausdehnung der Praxistests Technik

Der Ablauf der beiden angedachten Testabläufe ist untenstehend schematisch dargestellt.

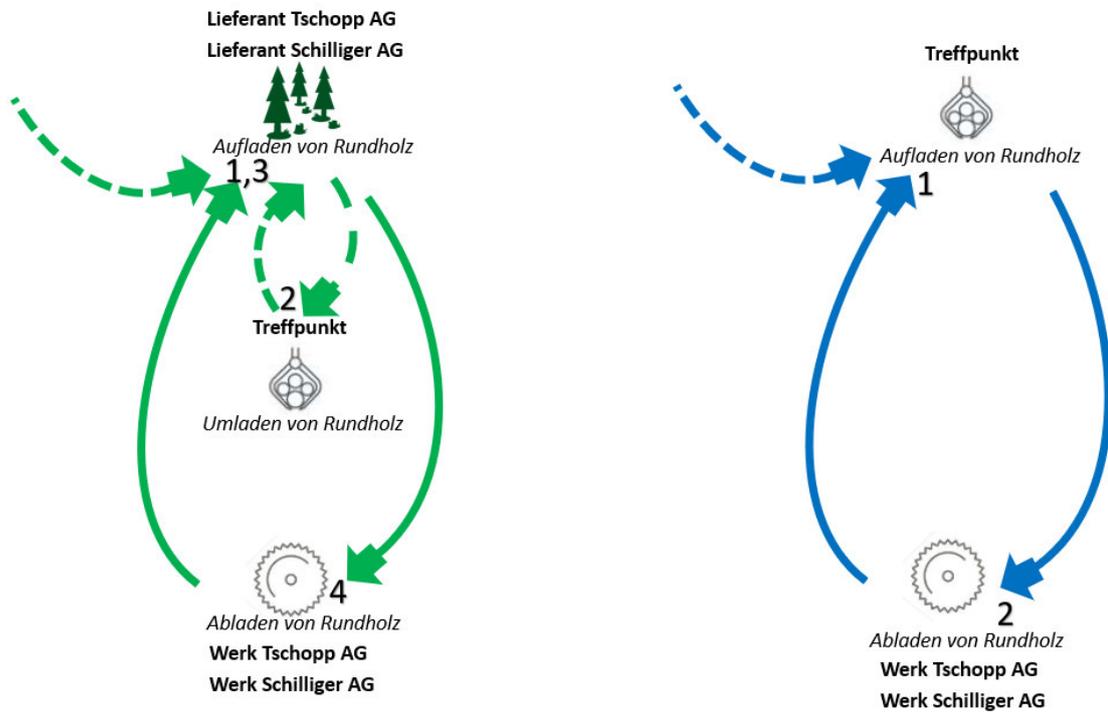


Abbildung 3: Testablauf Technik I LKW mit Kran (links), LKW ohne Kran (rechts). Die gestrichelten Linien verweisen auf einen möglichen Prozessablauf (LKW's ohne Kran müssen nicht zwingend vom Werk herkommen)

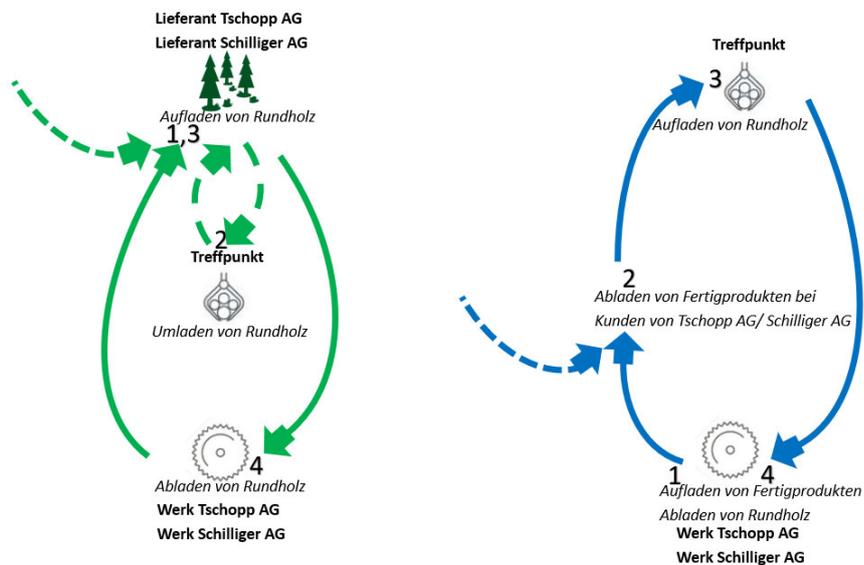


Abbildung 4: Testablauf Technik II Lkw mit Kran (links), Lkw ohne Kran (rechts). Die gestrichelten Linien verweisen auf einen möglichen Prozessablauf (LKW's ohne Kran müssen nicht zwingend vom Werk herkommen).

3.2.3 Praxistest Kombiniertes Verkehr

Verschiedene Varianten von kombiniertem Verkehr wurden analysiert und mit dem Strassenverkehr verglichen (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Übersicht der untersuchten Varianten für den kombinierten Verkehr

Variante	Bezeichnung	Holzabnehmer	Bemerkungen
B1a	«Kombinierter Verkehr mit konventionellen Bahnwagen von Chur bis Perlen»	Perlen Papier AG	Fahrt Wald-Ladebahnhof: 2 Fahrten LKW mit Anhänger Distanz Werk/Bahnhof - Wald: ~50 km
B1b	«Kombinierter Verkehr mit konventionellen Bahnwagen von Bergün bis Perlen»	Schilliger Holz AG	Wald-Ladebahnhof: 4 Fahrten LKW ohne Anhänger Distanz Werk/Bahnhof - Wald: ~5 km Ankunftsbahnhof-Werk: 2 Fahrten LKW mit Anhänger
B1c	«Kombinierter Verkehr mit konventionellen Bahnwagen von Bergün bis Landquart»	Schilliger Holz AG	Wald-Ladebahnhof: 4 Fahrten LKW ohne Anhänger Distanz Werk/Bahnhof - Wald: ~5 km Ankunftsbahnhof-Werk: 2 Fahrten LKW mit Anhänger
B2	«Kombinierter Verkehr mit ACTS Rundholzflats von Surava bis Perlen»	Perlen Papier AG	Fahrt Wald-Ladebahnhof: 2 Fahrten LKW mit Anhänger Distanz Werk/Bahnhof - Wald: ~15 km
B2	«Kombinierter Verkehr mit ACTS Rundholzflats von Rothenbrunnen bis Perlen»	Perlen Papier AG	Fahrt Wald-Ladebahnhof: 2 Fahrten LKW mit Anhänger Distanz Werk/Bahnhof - Wald: ~15 km
S1	«Strassenverkehr, Fahrt ohne Rückfracht»	Schilliger Holz AG	Fahrt Wald-Werk: 1 Fahrt LKW mit Anhänger Distanz Werk - Wald: ~30 km
S4	«Strassenverkehr, Fahrt mit Rückfracht»	Schilliger Holz AG	Fahrt Wald-Werk: 1 Fahrt LKW mit Anhänger Distanz Werk - Wald: ~30 km

Es wurde versucht, die Varianten unter ähnlichen Rahmenbedingungen durchzuführen, jedoch mussten aufgrund der hohen Holz mengen verschiedene Bestände in die Studien einbezogen werden. Je nach Standort kann auch der nächstgelegene Bahnhof variieren. Zudem lagen nicht alle Holzpolter an einer Waldstrasse, welche mit Anhänger befahrbar ist.

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen den genaueren Prozess und die verschiedenen Umladungen je nach Variante. Abbildung 7 zeigt die räumliche Ausdehnung der Testläufe. Es gilt zu bemerken, dass bei der Variante B2, die ACTS-Flat im ersten Ladebahnhof mit Holz mithilfe des LKW-Krans aufgeladen und als Ganzes mithilfe eines Portalkranes in Landquart von RhB-Wagons auf SBB-Wagon umgeladen wurden. Bei der Variante S4 befand sich der Rückfrachtlieferant im Raum Luzern (leichter Umweg) und der Kunde in Graubünden (auf dem Weg).

Eine Variante «Strassenverkehr, parallele Fahrt, von zwei Gliederzügen, wobei nur einer davon einen Kran hat» sowie eine Variante «Strassenverkehr, Einkauf einfache Fahrt von Graubünden nach Luzern» wurden ebenfalls angedacht, konnten aber aus organisatorischen Gründen nicht durchgeführt werden. Auch eine Rückfracht per Bahn konnte im Rahmen der Studie nicht umgesetzt werden.

B1: Konventionelle Bahnwaggons

B2: ACTS-Flats Bahnwaggons

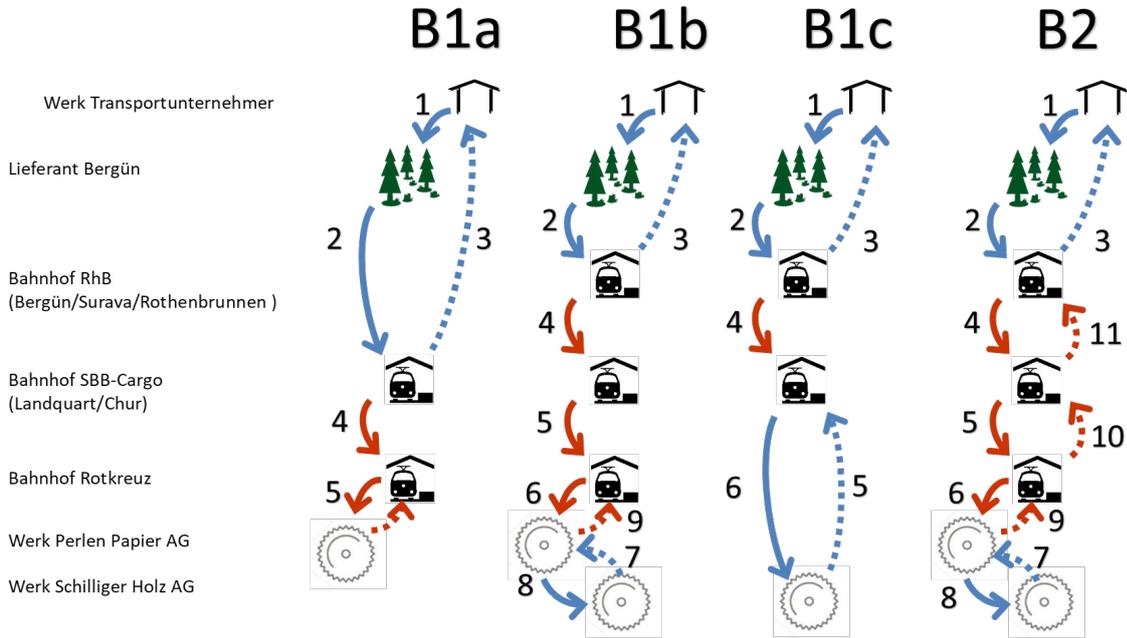


Abbildung 5: Testabläufe kombinierter Verkehr

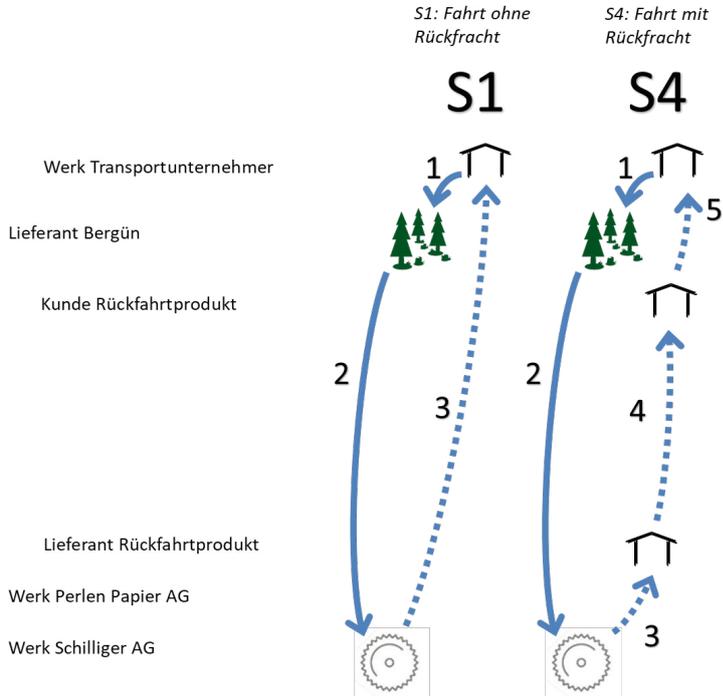


Abbildung 6: Testabläufe Strassenverkehr als Vergleich zum kombinierten Verkehr

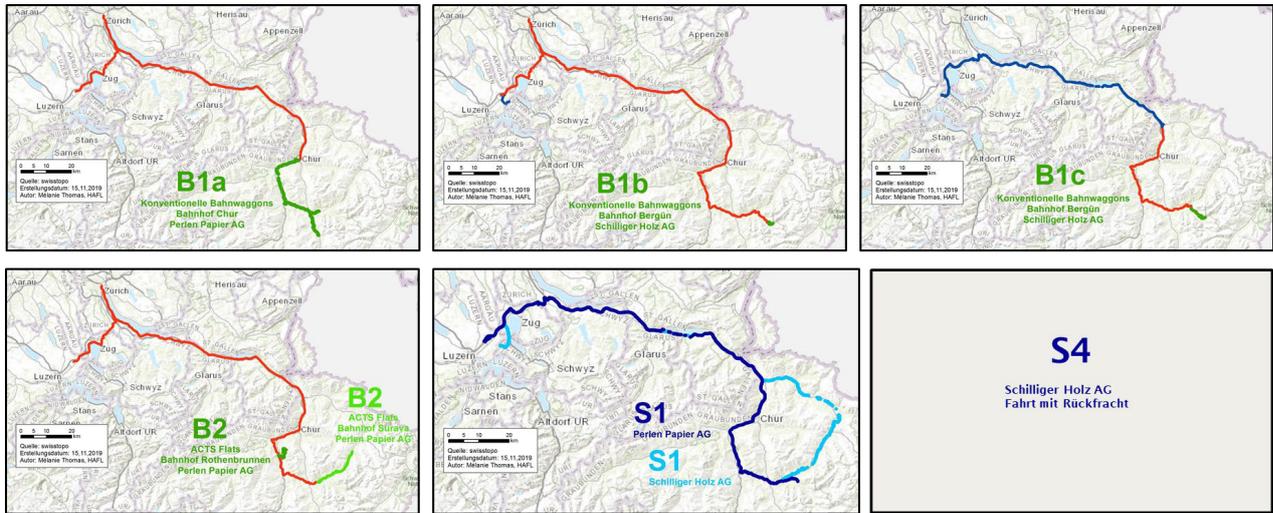


Abbildung 7: Übersicht der räumlichen Ausdehnung der Praxistests kombinierter Verkehr

3.2.4 Berechnung der Kostensätze

Die Kostensätze ergeben sich aus den Stundenansätzen der sieben verschiedenen LKW's, und aus den Stundenansätzen der LKW-Fahrer. Die Berechnungen der Stundensätze beruhen auf Angaben von Tschopp Holzindustrie AG, Schilliger Holz AG Florinett AG sowie den Literaturangaben aus Gautschi et al. 2017. Für die Vergleichbarkeit wurden gewisse Parameter standardisiert. Es wurde jedoch Rechnung getragen, dass der LKW von Florinett AG mit härteren Bedingungen konfrontiert ist, da er mehrheitlich auf Bergstrassen fährt.

In der folgenden Tabelle sind die Kostenansätze für jeden LKW ersichtlich. Eine ausführlichere Dokumentation ist zudem im Anhang im Kapitel 10.2 abgebildet.

Tabelle 6 Vereinfachte Darstellung der Berechnungsgrundlagen der Kostenansätze (ohne LSVA)

	Einheit	Tschopp AG			Schilliger AG			Florinett AG
		LKW1	LKW2	LKW3	LKW1	LKW2	LKW3	LKW1
ABSCHREIBUNG UND ZINSKOSTEN								
Anschaffungspreis	CHF	315'000	340'000	260'000	230'000	180'000	220'000	340'000
SONSTIGE FIXKOSTEN								
Versicherungen	CHF	2'889	2'889	2'889	2'889	2'889	2'889	2'889
Verkehrssteuer (ohne LSVA)	CHF	3'000	3'000	3'000	3'000	3'000	3'000	3'000
Sonstige Fixkosten	CHF	5'889	5'889	5'889	5'889	5'889	5'889	5'889
VARIABLE BETRIEBSKOSTEN								
Jährl. Betriebsstunden	Std.	2'000	2'000	2'000	2'000	2'000	2'000	2'000
Variable Betriebskosten	CHF	89'960	86'600	69'800	69'800	69'800	79'880	91'000
VERWALTUNG, RISIKO und GEWINN								
Verwaltung	CHF	20'000	20'000	20'000	20'000	20'000	20'000	20'000
PERSONALKOSTEN								
Kostensatz Fahrer	CHF/Std.	55	55	55	55	55	55	55
Personalkosten Fahrer	CHF/Jahr	110'000	110'000	110'000	110'000	110'000	110'000	110'000
Gesamtkosten LKW + Fahrer	CHF/Jahr	271'699	271'225	243'538	239'833	233'658	249'283	277'6213
	CHF/Std.	136	136	122	120	117	125	139

3.2.5 Protokollierung und Messung der praktischen Tests

Um die Daten der praktischen Einsatztests zu erfassen, haben die LKW-Fahrer die Arbeitsschritte inkl. den dazu erforderlichen Zeitangaben erfasst. Zusätzlich haben die LKW-Fahrer die Applikation «Runkeeper» angewendet, um die Bewegungen der LKW's mittels GPS aufzuzeichnen. Durch die Vermessungsprotokolle der Holzabnehmer konnten die LKW bzw. Waggon spezifische transportierte Rohholzmenge mitberücksichtigt werden.

3.2.6 Datenanalyse Technik

Das Ziel der Datenanalyse besteht darin, nutzbare Kennzahlen zu erarbeiten, um die verschiedenen LKW-Modelle vergleichen zu können. Dazu eignen sich insbesondere die folgenden Kennzahlen:

- [CHF/tkm]
- [CHF/t]
- [CHF/km]
- [CHF/h]



Um die Transportkennzahlen aus den Rohdaten ableiten zu können, mussten in einem ersten Schritt die aus der Applikation «Runkeeper» erfassten GPS-Messwerte in ArcGIS importiert und anschliessend in Excel transferiert werden, um dort die eigentlichen Auswertungen durchzuführen. Analog dazu, sind die durch die LKW-Fahrer erfassten Daten in Excel eingetragen worden. Die Auswertung erfolgte demnach nach den mit der Applikation gemessenen und den durch die LKW-Fahrer erfassten Werten.

Es hat sich dabei gezeigt, dass die letzten Abladezeiten eines Eisatztages nicht immer aufgezeichnet wurden und dementsprechend fünf Mal die protokollierten Abladezeiten für die Analyse berücksichtigt worden sind.

Um den Analyseprozess zu vereinfachen und eine adäquate Datengenauigkeit zu berücksichtigen, sind die gemessenen und die erfassten Daten der einzelnen Arbeitsprozesse auf ganze Minuten gerundet worden. Für die Umrechnung von Festmetern in Masse wurde durchgehend eine Holzdichte von 850 [kg/Fm] angenommen. Um die Be- und Entladungszeiten des LKW's mit Kran und jenem ohne Kran korrekt zu berücksichtigen, wurde die gesamthaft transportierte Rohholzmasse proportional anhand der gemessenen Zeitdauer des LKW's mit Kran aufgeteilt.

Die Auslieferung von Fertigprodukten ist im Rahmen dieser Untersuchung nicht berücksichtigt worden, da insgesamt nur 3 Transporte von Fertigprodukten transparent aufgezeichnet sind und sich demzufolge keine Erkenntnisse ableiten lassen. Mit Hilfe der Datenanalyse wurden die praktischen Tests hinsichtlich mehrerer Kennzahlen ausgewertet. Dazu sind sämtliche 26 Kriterien mit den Kostensätzen verknüpft worden. In der untenstehenden Tabelle sind die Kriterien exemplarisch ersichtlich. Die Auswertung erfolgte jeweils nach den Mittelwerten.

Tabelle 7: Auflistung der erfassten und berechneten Kriterien

Nr.	Beschreibung der Kriterien
1	Zeitaufwand für ein Transportzyklus [min]
2	Pausen/Unvorhergesehenes [min]
3	Tatsächliche Fahrzeit [min]
4	Zeitaufwand für die Beladung [min]
5	Zeitaufwand für die Entladung [min]
6	LKW spezifischer Zeitaufwand Beladung [min]
7	Km-Leistung [km] (aus dem Protokoll oder der Messung)
8	Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h] excl. Be-Entladung
9	Transportierte Rundholzmasse Dichte = 850kg/m ³ (geschätzte Menge, da keine Vermessungsprotokolle)
10	LSVA-Gebühren (Annahme; es wird jeweils nur die halbe Strecke mit dem Gesamtgewicht berücksichtigt. Für die andere Hälfte wird das Leergewicht berücksichtigt)
11	Minutenansatz (Lkw + Fahrer, excl. LSVA) [CHF/min]
12	Nutzlast [t] inkl. 1 t Überladung
13	CHF/Beladung
14	CHF/Entladung
15	Summe Be-Entladung
16	Summe Be-Entladung [min/t]
17	Summe inkl. LSVA
18	CHF/h inkl. LSVA
19	CHF/t (Transportzyklus)
20	CHF/km inkl. LSVA
21	CHF/tkm inkl. LSVA
22	CHF/t Be-Entladen
23	Mittelwert CHF/tkm (gemessen)
24	Mittelwert CHF/t Be-Entladen (gemessen)
25	Mittelwert CHF/tkm (protokolliert)
26	Mittelwert CHF/t Be-Entladen (protokolliert)

3.2.6 Datenanalyse Kombiniertes Verkehr

Das Ziel der Datenanalyse besteht darin, nutzbare Kennzahlen zu erarbeiten, um die verschiedenen Varianten vergleichen zu können. Für den Teil kombiniertes Verkehr wurde die Kennzahl CHF/Fm o.R. gewählt.

Um die Transportkennzahlen aus den Rohdaten ableiten zu können, mussten wie beim Teil Technik in einem ersten Schritt die aus der Applikation «Runkeeper» erfassten GPS-Messwerte in ArcGIS importiert und anschliessend in Excel transferiert werden, um dort die eigentlichen Auswertungen durchzuführen. Analog dazu wurden die durch die LKW-Fahrer erfassten Daten in Excel eingetragen. Die Auswertung erfolgte demnach nach den mit der Applikation gemessenen Werten und den durch die LKW-Fahrer

Bei der Werkvermessung von Schilliger Holz AG wird das Holz in Rinde gemessen und für die Abrechnung wird pauschal und sortimentsunabhängig 10% als Rindenabzug vom Volumen abgezogen. Für die Auswertung wurden die Festmeter ohne Rinde zurück auf Festmetern mit Rinde umgerechnet (1 Fm o.R. = 0.9 Fm m.R.). Für die Umrechnung von atro Tonnen (Holz von Perlen Papier AG) zu Festmetern mit Rinde wurde der Umrechnungsfaktor aus den Schweizer Handelsgebräuchen für Rohholz verwendet (1t



atro m.R. = 2.25 Fm m.R.). Dieser Wert entspricht auch den Erfahrungen der Projektpartner.

Bei der Variante B1a wurden sechs zusätzlich Festmeter aus einem anderen Holzschlag für den Bahntransport hinzugefügt. Diese wurden für die Kostenbelastung pro Festmeter des Abladen in Bahnhof und des Bahntransport mitberücksichtigt.

Für die Fahrt mit Rückfracht wurden die Kosten bis zum Werk zum Produkt Rundholz zugeteilt. Die Kosten vom Werk bis zum Rückfrachtlieferant resp. Kunde wurden dem Rückfrachtprodukt zugeteilt.

4. RESULTATE

Die Resultate bestehen im Allgemeinen aus drei Teilen: Factsheets, Resultate aus den praktischen Einsatztests und den formulierten Optimierungsansätzen.

4.1 GEMESSENE UND PROTOKOLLIERTE BE- & ENTLADUNGSZEITEN

4.1.1 Technik

Die Analyse der gemessenen und protokollierten Be- und Entladungszeiten von Tschopp Holzindustrie AG haben ergeben, dass ein erheblicher Unterschied zwischen den gemessenen und den protokollierten Werten besteht. Insbesondere das Kriterium «Beladen» wird nach den protokollierten Werten häufig unterschätzt (vgl. Abbildung 8). Aus diesem Grund wurden bis auf wenige Ausnahmen stets die gemessenen Daten anstelle der protokollierten für die Erarbeitung der Resultate berücksichtigt.

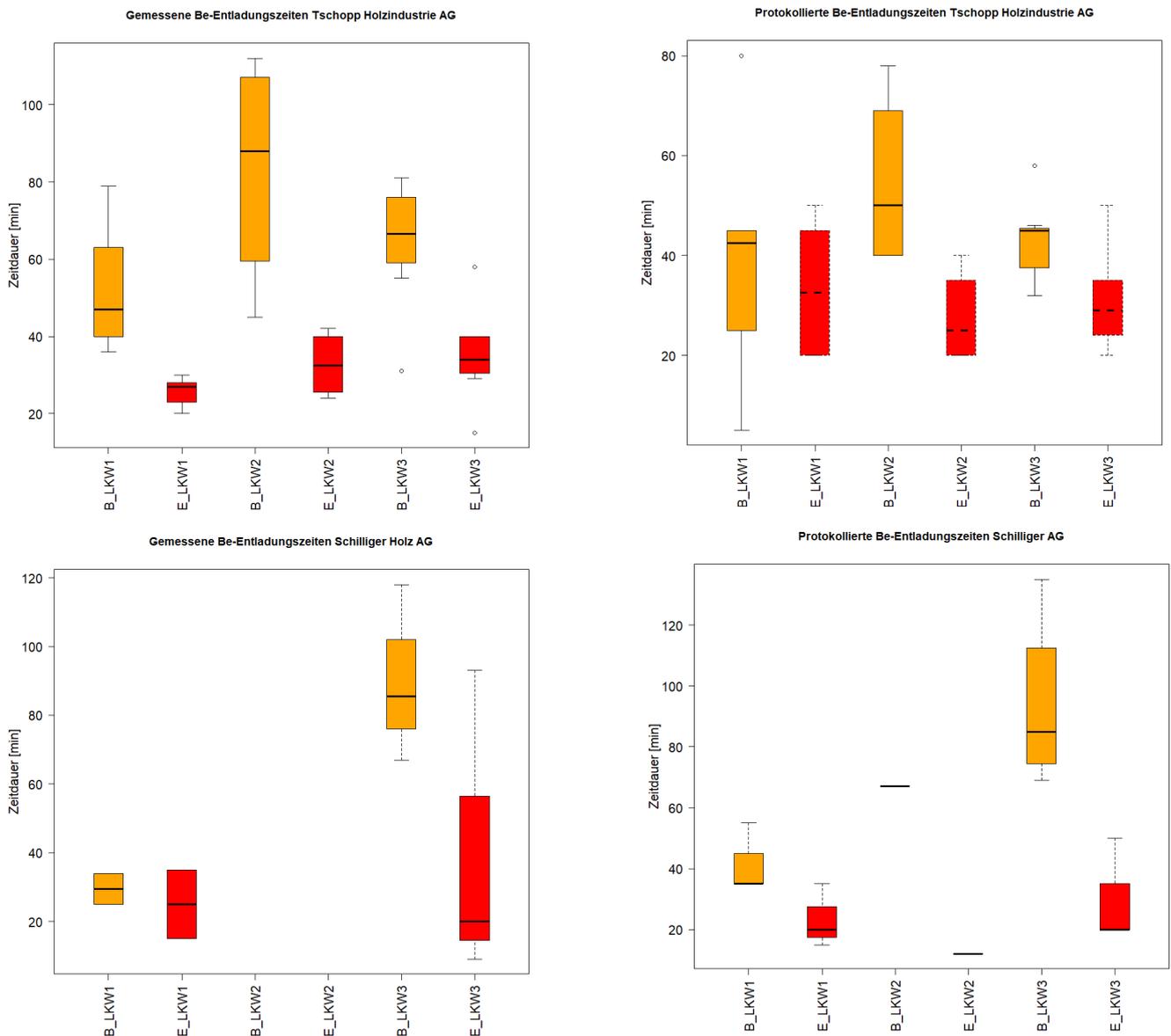


Abbildung 8: Gemessene und protokollierte Be-Entladezeiten. Der Anfangsbuchstabe B bedeutet "beladen", der Anfangsbuchstabe E bedeutet "entladen"

4.1.2 Kombiniertes Verkehr

Die Analyse der gemessenen und protokollierten Be-, Um- und Entladezeiten von Florinett AG haben keinen erheblichen Unterschied zwischen den gemessenen und den protokollierten Werten ergeben. Es wurden daher vorwiegend die protokollierten Werte verwendet, da der Fahrer noch zwischen den vorbereitenden Tätigkeiten, das effektive Be-, Um- oder Entladen und den abschliessenden Tätigkeiten unterschieden hat. Nur bei Diskrepanzen von mehr als zwei Minuten zum GPS wurden die Zeitangaben entsprechend korrigiert.

Die Ladezeiten variieren zwischen den Testläufen stark (vgl. Tabelle 8). Wie erwartet ist die Ladezeit eines LKWs mit Anhänger länger als ohne Anhänger. Wenn der Anhänger für die Leerfahrt aufgeladen wurde, entstehen auch bei den vorbereitenden bzw. abschliessenden Tätigkeiten zusätzliche Zeiten für das Ab- bzw. Aufladen des Anhängers. Beim Beladen eines Bahnwaggon muss der Fahrer, sobald der Waggon vollständig beladen ist, die Ladung binden, was zu zusätzlichen Zeiten bei den abschliessenden Tätigkeiten von einzelnen Fahrten zum Bahnhof führte. Die Streuung der Ladezeiten ist auch an externe Parameter gebunden, welche im Rahmen dieser Studie nicht erhoben wurden.

Tabelle 8: Zusammenfassung der benötigten Zeiten für Be-, Um und Entladen beim Kombinierten Verkehr, mit jeweils den minimalen und maximalen benötigten Zeiten

	Vorbereitende Tätigkeiten	Effektives Laden	Abschliessende Tätigkeiten
Aufladen im Wald	Normalfall: 1 bis 2 min Wenn Anhänger abladen: 6 bis 8 min Ausreisser: 14 min	Ohne Anhänger: 4 bis 15 min Mit Anhänger: 15 bis 27 min	1 bis 10 min
Umladen im Bahnhof	Ohne Anhänger: 1 bis 2 min Mit Anhänger: 2 bis 10 min	Ohne Anhänger: 8 bis 19 min Mit Anhänger: 17 bis 24 min	Ohne Anhänger: 1 bis 13 min Mit Anhänger: 10 bis 21 min Wenn Anhänger aufladen: 8 bis 25 min
Entladen beim Holzabnehmer	6 bis 14 min	6 bis 11 min	6 bis 10 min

4.2 GESAMTTTRANSPORTKOSTEN

4.2.1 Technik

Der Vergleich der Gesamttransportkosten der sechs getesteten LKW's - also die Kosten ausgehend von dem LKW inkl. der LSVA sowie dem Fahrer - hat gezeigt, dass die Gesamttransportkosten in Abhängigkeit der Transportdistanz einem linearen Trend folgen (vgl. Abbildung 9). Das bedeutet in diesem Fall, dass die Transportkosten mit zunehmender Transportdistanz gleichmässig ansteigen und eine Reduktion der Transportkosten durch eine kürzere Transportdistanz erzielt werden kann. Es muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass im Falle einer Erhöhung der Messwerte dieser Zusammenhang u.U. deutlich differenzierter ausfallen könnte.

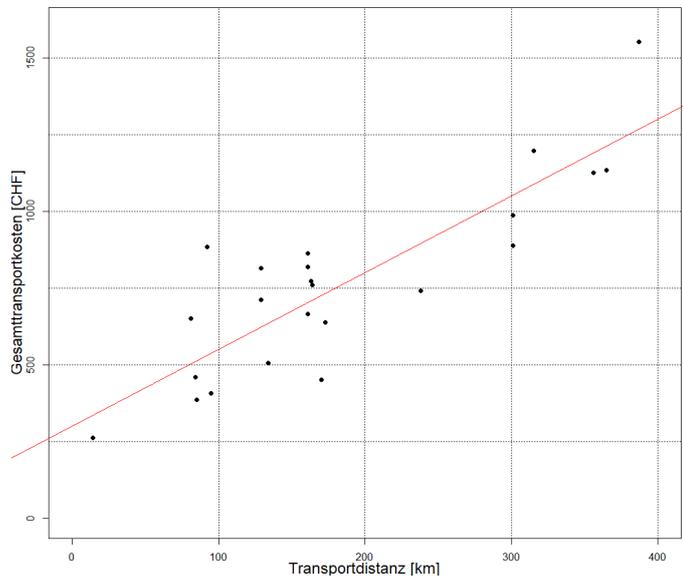


Abbildung 9: Gesamttransportkosten in Abhängigkeit der Transportdistanz (N=23, $R^2=0.718$, Kostenfunktion: $y=301 + 2.5x$)

Eine Gegenüberstellung von den Gesamttransportkosten und den verschiedenen Nutzlasten (inkl. 1t Überladung) zeigt auf, dass sich höhere Nutzlasten bis auf eine Ausnahme positiv auf die Kostenwirksamkeit von LKW's auswirken (vgl. Abbildung 10). Dieses Muster basiert auf der Auswertung der 23 erfassten Transportvorgänge.

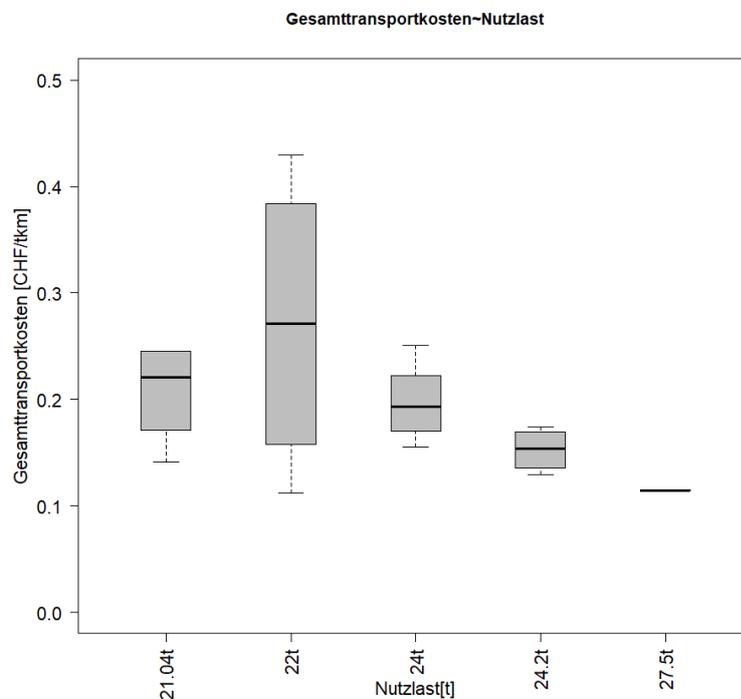


Abbildung 10: Gesamttransportkosten in Abhängigkeit der Nutzlast

Die Analyse der Mittelwerte von den Gesamttransportkosten pro Stunde in Abhängigkeit der Nutzlast der verschiedenen LKW's zeigt auf, dass sich höhere Nutzlasten tendenziell auch positiv auf die Kostenwirksamkeit der Transporte auswirken (vgl. Abbildung 11).

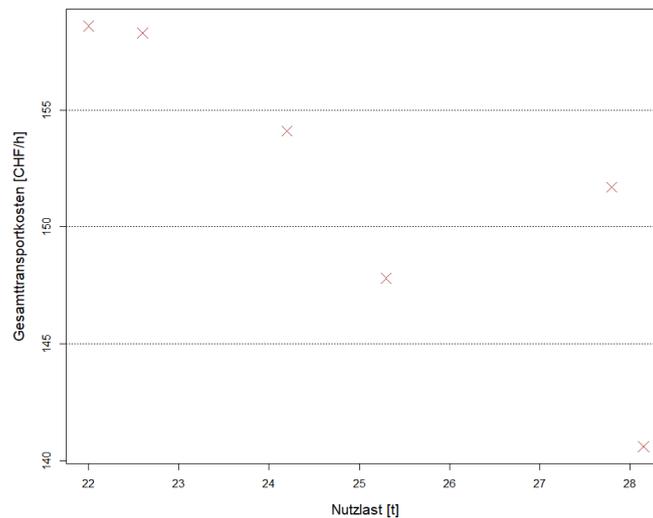


Abbildung 11: Mittlere Gesamttransportkosten pro Stunde in Abhängigkeit der Nutzlast

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der praktischen Einsatztests nach den verschiedenen Kennzahlen auf Ebene der einzelnen LKW's ersichtlich. Es fällt auf, dass je nach Kriterium, die Differenzen zwischen den verschiedenen LKW's deutlich ausfallen

Tabelle 9: Übersicht der LKW-spezifischen Kennzahlen

Kennzahlen	Schilliger AG			Tschopp AG		
	LKW1	LKW2	LKW3	LKW1	LKW2	LKW3
Nutzlast [t]	26.50	27.15	24.200	21.04	22.00	24.00
Kosten pro Masse [CHF/t]	36.40	49.40	41.00	29.51	29.82	26.73
Kosten pro Strecke [CHF/km]	2.74	3.5	2.82	7.14	6.266	4.89
Kosten pro Tonnenkilometer [CHF/tkm]	0.11	0.13	0.120	0.25	0.18	0.18
Kosten pro Stunde [CHF/h]	151.68	140.59	154.08	147.13	156.68	137.33
Kosten von Be-Entladen [CHF/t]	4.10	6.12	6.90	6.11	6.650	5.70
Auslastung Nutzlast [%]	94.55	99.46	99.43	95.48	103.06	98.08

4.2.2 Kombiniertes Verkehr

Tabelle 10 zeigt die Kosten für den Bahntransport, welche sich aus den Praxistests ergaben. Diese entsprechen den Rechnungen der Bahnunternehmen an die im Projekt beteiligten Akteure. Dazu kommen bei Holz für Perlen Papier AG 150 CHF/Waggon für das Entladen im Werk. Die LSWA Steuer für den LKW der Norm Euro 6 von Florinett AG betragen 2.28 Rp./t*km und die maximale Rückerstattung von 25% wird jeden Monat erreicht.

Tabelle 10: Übersicht der Kosten für den Bahntransport

Strecke	Einheit	Kosten
Strecke Bergün - Rotkreuz, ACTS	CHF/t lutro	33.15
Strecke Chur - Rotkreuz, konv. +Wiegegebühr	CHF/Wg. CHF/Wg.	695 +50
Strecke Bergün - Rotkreuz, konv.	CHF/t lutro	25.38
Strecke Bergün - Landquart, konv.	CHF/t lutro	14.29
Strecke Rotkreuz - Perlen	CHF/Wg.	50

Der Vergleich der Gesamttransportkosten der getesteten Varianten hat gezeigt, dass je nach Aufstellung der kombinierte Verkehr günstiger kommen kann als der Strassenverkehr (vgl. Tabelle 11). Auch wenn mit konventionellen Waggons eine Umladung in Landquart notwendig ist, ist die Variante B1b «konventionelle Waggons ab Bergün» konkurrenzfähig.

Schilliger Holz AG verfügt über keinen Bahnanschluss. Es entsteht ca. 6 CHF/Fm zusätzliche Kosten im Vergleich zu Perlen Papier AG. Dieser Wert ist sehr vorsichtig zu interpretieren, da er auf nur einer Bahnlieferung beruht. Jedoch bleibt der kombinierte Verkehr je nach Distanzen zwischen Wald, Ladebahnhof und Werk auch für Holzabnehmer ohne Bahnanschluss konkurrenzfähig.

Für die Variante B1c «konventionelle Waggons Bergün-Landquart» fehlte die Erhebung der Fahrten der LKW von Schilliger Holz AG, um das Holz in Landquart abzuholen. Die Kosten wurden mithilfe der Regression aus dem Teil Technik (vgl. Abbildung 9) geschätzt. Gemäss Google Maps sind 247 km hin und zurück, was zu 918.5 CHF pro LKW bzw. 31.64 CHF/Fm o.R. führt (zwei LKW nötig für die 58.1 Fm o.R.).

Am günstigsten schneidet die Variante Strassenverkehr mit Rückfracht ab, da ein Teil der Kosten dem Rückfrachtprodukt zugeteilt werden kann.



Tabelle 11: Übersicht der Kosten je Variante vom kombinierten Verkehr sowie der Vergleichsvarianten Strassenverkehr. Bei den Zeitaufwänden stehen die Zeiten der Einzelfahrten in Klammern.

	B1a: konventionelle Waggons ab Chur		B1b: konv. Waggons ab Bergün		B1c: konv. Waggons Bergün-Landquart		B2: ACTS-Flats ab Surava		B2: ACTS-Flats ab Rothenbrunnen		S1: Strassenverkehr ohne Rückfracht		S4: Strassenverkehr mit Rückfracht	
Holzabnehmer	Perlen Papier AG		Schilliger Holz AG		Schilliger Holz AG		Perlen Papier AG		Perlen Papier AG		Schilliger Holz AG		Schilliger Holz AG	
Liefermenge	40.4 Fm m.R.		60.2 Fm m.R.		58.1 Fm m.R.		59.2 Fm m.R.		60.9 Fm m.R.		30.5 Fm m.R.		26.4 Fm m.R.	
	Min.	CHF/Fm	Min.	CHF/Fm	Min.	CHF/Fm	Min.	CHF/Fm	Min.	CHF/Fm	Min.	CHF/Fm	Min.	CHF/Fm
Fahrt zum Wald	64 (15, 49)	3.67	34 (11, 9, 12, 2)	1.31	60 (25, 11, 11, 13)	2.39	34 (12, 22)	1.33	54 (29, 25)	2.05	46	3.49	46	4.03
Aufladen	66 (36, 30)	3.79	58 (13, 27, 12, 6)	2.23	59 (16, 13, 18, 12)	2.35	71 (37, 34)	2.78	70 (32, 38)	2.66	39	2.96	29	2.54
Fahrt zum Bahnhof bzw. Kunde	123 (55, 68)	7.06	45 (13, 16, 14, 2)	1.73	45 (11, 11, 11, 12)	1.8	51 (28, 23)	2.00	59 (31, 28)	2.24	147	11.15	149	13.05
Umladen bzw. entladen	86 (37, 49)	4.30	55 (13, 10, 10, 22)	2.12	75 (16, 20, 15, 24)	2.99	81 (38, 43)	3.17	79 (38, 41)	3.00	28	2.12	21	1.84
Rückfahrt											151	11.46		
LSVA-Steuern		2.51		0.80		0.38		0.62		0.55		7.01		4.63
Bahntransportkosten		20.38		22.73		11.81		28.78		27.84				
Fahrt Kunde-Bahnhof-Kunde			171 (88, 83)	5.92	<i>Nicht gemessen</i>	<i>31.64 (Schätzung)</i>								
Fahrt zum Lieferant Rückfracht (inkl. LSVA)													50	4.38
Rückfahrt Rückfracht (inkl. LSVA)													185	16.21
Total		41.70		36.27		53.37		38.68		38.35		38.19		25.84+16.21

4.3 EINFLUSS DES HOLZPREISES AUF DIE TRANSPORTSTRECKE BEIM STRASSENVERKEHR

4.3.1 Technik

Je nachdem, welcher Holzpreis beim Holzkauf vereinbart wurde, können unterschiedliche Transportstrecken kostenneutral bzw. mit konstanter Transportkostenquote zurückgelegt werden. Um zu verstehen, in welcher Grössenordnung sich die Transportstrecken bewegen sollen, um finanzielle Verluste zu vermeiden, wurden zwei Szenarien angenommen und daraus die maximale Transportdistanz bei konstanter Transportkostenquote modelliert:

- Szenario I: Der Holzpreis beträgt einmal 50 CHF/t (59 CHF/Fm) und einmal 100 CHF/t (118 CHF/Fm). Der Anteil der Transportkosten am Holzpreis beträgt 20 %.
- Szenario II: Der Holzpreis beträgt einmal 50 CHF/t (59 CHF/Fm) und einmal 100 CHF/t (118 CHF/Fm). Der Anteil der Transportkosten am Holzpreis beträgt 40 %.

Aus diesen Annahmen hat sich ergeben, dass die max. Transportwege (hin oder zurück) zwischen < 50 km und > 300 km liegen, je nach LKW-Modell (vgl. Abbildung 12). Die Unterschiede sind dabei gravierend und wirken sich beim selben Szenario und Holzpreis bis um den Faktor 3 aus. Davon ausgehend empfiehlt es sich, die Transportstrecken zu reduzieren und stets die Transportwege beim Holzkauf mitzuberücksichtigen. Um die Rohholzeinkäufer bei dem Kaufprozess zu unterstützen, könnten bspw. die LKW-spezifischen Eigenschaften in einem «Decision Tool» integriert sein. Damit liessen sich sämtliche die Transportkosten beeinflussenden Parametern abbilden und es könnte dem Rohholzeinkäufer die monetären Grundlagen berechnen, um davon ausgehend die Einkaufsprozesse zu optimieren.

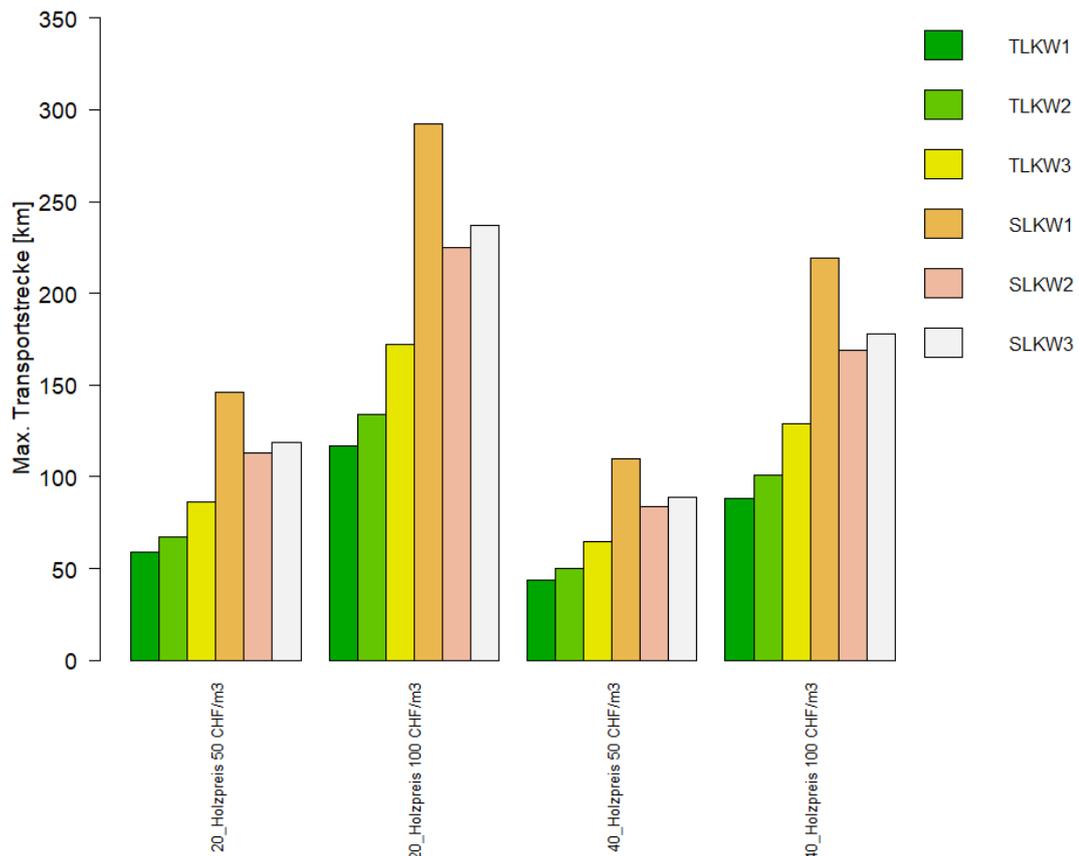


Abbildung 12: Max. Transportweg (hin oder zurück) in Abhängigkeit zweier Holzpreise und zweier Anteile (20% und 40%) der Transportkosten am Holzpreis. Das Vorzeichen T bezieht sich auch Tschopp Holzindustrie AG, das Vorzeichen S auf Schilliger Holz AG.

Ein Vergleich der Werte aus der Modellierung der Szenarien (50 CHF/t, Transportkostenanteil: 20% und 40%) mit den effektiven Transportwege ergibt folgende LKW-spezifische Abweichungen.

Tabelle 12: Abweichungen der Mittelwerte der gemessenen Werte mit den modellierten Werten. Das Vorzeichen + bedeutet, dass im Rahmen der praktischen Einsatztest im Mittel eine den Werten entsprechende zu hohe Kilometeranzahl erreicht wurde. Das Vorzeichen - bedeutet, dass die Transportwege unter dem effektiven Potential liegen.

	TLKW1	TLKW2	TLKW3	SLKW1	SLKW2	SLKW3
Szenario I_20%	+5 km	-4 km	-18 km	+18 km	+71 km	+ 52 km
Szenario II_40%	+20 km	+13km	+3 km	+54	+100	+ 82 km

6. DISKUSSION

6.1 FORSCHUNGSDESIGN

6.1.1 Datenqualität und Datenquantität

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit haben gezeigt, dass die Planung, Umsetzung und Analyse von praktischen Einsatztests mit mehreren Herausforderungen einhergehen. So konnten bspw. anstelle der ursprünglich 32 geplanten und vereinbarten praktischen Rohholztransporte für den Teil Technik lediglich 23 durchgeführt und gemessene Daten gewonnen werden, was einen erheblichen Einfluss auf die Aussagekraft der Daten hat. Diesen Umstand erschwert hat die Tatsache, dass die Protokollierung der Rohholztransporte lückenhaft war. So sind einzelne Erfassungsprotokolle nicht vollständig bis zu komplett unvollständig ausgefüllt worden. Dies führt ebenso zu einer Reduktion des Datensatzes und damit zu einer erschwerten Analyse, was sich letztlich in der Aussagekraft der Resultate bemerkbar macht. Zusammengefasst kann gesagt werden, dass für wissenschaftliche Analysen die Qualität und die Quantität der Rohdaten eminent wichtig ist, um daraus die korrekten Schlüsse ziehen zu können.

6.1.2 Praxistests

Die beobachteten Praxistests des Teils Technik fokussierten zum einen auf den Rohholztransport von zwei LKW's (einer davon mit Kran), die sich mehr oder weniger zeitgleich beim Holzpolter treffen. Analog dazu war die Situation vorgesehen, dass bei der Fahrt vom Werk zum Holzpolter unterwegs Fertigprodukte an Kunden ausgeliefert werden. Insgesamt wurden nur drei Mal Fertigprodukte geliefert und daraus lassen sich keine wissenschaftlichen Schlüsse ziehen. Für diesen Bereich wird aber ein grosser Handlungsspielraum gesehen, den es im Rahmen von einer grösser angelegten Studie systematisch zu überprüfen gilt.

Weiter konnte in diesem Praxistest ausschliesslich die einzelstammweise Be- und Entladung mit dem LKW-Kran beobachtet werden. In der Praxis gibt es jedoch eine Vielzahl an Alternativen (z.B. Reach stacker), deren Zeiteinsparpotential während des Be- & Entladeprozesses es zu überprüfen gilt.

Beim kombinierten Verkehr beziehen sich die Ergebnisse auf eine einzige Wiederholung pro Variante und daraus lassen sich keine wissenschaftlichen Schlüsse ziehen. Zudem müssen die Ergebnisse vorsichtig interpretiert werden, da unterschiedliche Rahmenbedingungen zwischen den Varianten vorhanden waren und diese beachtet werden müssen. Es sind unterschiedliche Anfahrtsdistanzen und Fahrbedingungen bis zum Holzpolter im Wald entstanden. Die Distanz zwischen Werk resp. Bahnhof und Wald variierte zwischen ca. 5 und 50 km. Bei der Varianten B1b und B1c konnten die Holzpolter nur ohne Anhänger erreicht werden. Bei der Varianten B1a, B2 (von Rothenbrunnen) sowie bei den Varianten S1 und S4 wurde der Anhänger für die Leerfahrten aufgeladen.

Eine Variante «Strassenverkehr, parallele Fahrt, von zwei Gliederzügen, wobei nur einer davon einen Kran hat» sowie eine Variante «Strassenverkehr, Einkauf einfache Fahrt von Graubünden nach Luzern» werden ebenfalls angedacht aber konnten aus organisatorischen Gründen nicht durchgeführt werden. Auch eine Rückfracht per Bahn konnte im Rahmen der Studie nicht umgesetzt werden.

6.1.3 Datenerfassung

Die Erkenntnisse dieser Studie haben gezeigt, dass die manuelle Datenerfassung aufgrund der folgenden Aspekte als ungeeignet erscheint: z.T. Ungenauigkeit der Datenerfassung, Anfälligkeit auf Datenlücken und zusätzlicher Arbeitsaufwand für die LKW-Fahrer.

Die halbautomatisierte Datenerfassung durch die Applikation «Runkeeper» weist durch das manuelle Starten und Speichern des Transportvorganges ebenso einen Nachteil auf. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass im Rahmen der praktischen Tests des Teils Technik festgestellt werden konnte, dass der letzte Entladevorgang teilweise nicht mehr aufgezeichnet wird. Es ist anzunehmen, dass der entsprechende Aufzeichnungsvorgang bereits vor dem Entladen beendet wurde. Die Gegenüberstellung der manuellen Datenerfassung mit der halbautomatisierten Datenerfassung im Teil Technik hat ferner gezeigt, dass protokollierte Messwerte meist deutlich mehr Zeit für die Prozesse Be- und Entladen aufweisen als die gemessenen. Der Grund dieser Diskrepanz ist unbekannt, als Vermutung kann die Zeitmessung gegenüber der Zeitschätzung aufgeführt werden. Im Teil des kombinierten Verkehrs konnten keine grossen Diskrepanzen festgestellt werden.

Im Teil kombinierter Verkehr wurde die Fahrt der zwei LKW von Schilliger Holz AG zum Bahnhof Landquart weder protokolliert noch mit der Applikation «Runkeeper» aufgenommen.

Unter anderem aus den genannten Gründen wäre bei einer allfälligen Weiterführung einer ähnlichen Studie zwingend darauf zu achten, dass die Datenerfassung autonom abläuft und für die gesamte Transportzeit nachvollziehbar ist, ob der LKW sich bewegt oder ob er steht. Falls der LKW steht müsste der Grund (Pause, Stau, Beladen, Entladen) bekannt sein. Grundsätzlich sollte es möglich sein, die Informationen Be- und Entladen durch die Kranbewegung abzugreifen. Durch die Verknüpfung mit den Werkvermessungsprotokollen könnten die effektiven Be- und Entladezeiten entsprechend der transportierten Rohholzmenge berechnet werden.

6.2 RESULTATE

Vorab muss angemerkt werden, dass sich die Resultate aus dieser Studie auf einzelne in der Schweiz tätige Unternehmen beziehen. Diese Unternehmen sind national gesehen grosse Player und die gewonnenen Erkenntnisse könnten bei kleineren Unternehmen durchaus unterschiedlich ausfallen.

6.2.1 Technik: Be- und Entladungsvorgang

Die Analyse der Be- und Entladungszeiten hat gezeigt, dass die mittlere gemessene und mengenbereinigte Beladungszeit von Schilliger Holz AG bei 62 min liegt. Die mittlere Entladungszeit ist mit 24 min deutlich geringer. Für Tschopp Holzindustrie AG konnte eine mittlere gemessene und mengenbereinigte Beladungszeit von gar 67min und eine mittlere Entladungszeit von 31 min festgestellt werden. Bemerkenswert sind die grossen Streuungen der Messungen. So konnten Beladungszeiten von nahezu 2 Stunden festgestellt werden und Entladungszeiten von 49 min. Die Häufung einzelner Ausreisser trägt in der Summe dazu bei, dass die Gesamttransportkosten deutlich erhöht werden. Um die Häufung solcher Ausreisser zu reduzieren, bedarf es einer optimaleren Disposition. Dass Optimierungspotenzial gegeben ist, beweist die Studie von Herrn von

Bodenschwingh (2004, 2006). Die Mittelwerte der Zeitstudie für ein Beladungsvorgang betragen 28 min. In einer weiteren Studie eines Transportunternehmers konnte für den Beladungsvorgang ein Mittelwert von 53min festgestellt werden (Helmecke Transporte 2001).

Die Entladung im Werk mit dem LKW Kran dauert gemäss Fischer (2001) bei einer Entlademenge von 25 Fm zwischen 17 und 20 Minuten. Hingegen dauert die Entladung von 25 Fm mit dem Stacker lediglich 6min. Neben der Reduktion von Wartezeiten wird in der Entladung mittels Stacker (z.B. von Svetruck) ein erhebliches Optimierungspotenzial gesehen. Nach Helmecke Transporte (2001) beträgt der Zeitbedarf für die Entladung von 25 Fm durchschnittlich 45 min.

Ein direkter Vergleich dieser Zahlen ist aufgrund der Tatsache, dass nicht alle Testdetails bekannt sind, nur bedingt sinnvoll. Allerdings sehen die Autoren - insbesondere für den Prozess Holzabladung im Werk - ein erhebliches Optimierungspotenzial. So können bspw. bei einer Zeiteinsparung von 10 min für die einzelne Entladung von 25 Fm pro LKW am Tag 20-30 min (bei zwei bis drei Touren / Tag) eingespart werden. Monetär ausgedrückt wären das 70 - 80 CHF pro Tag und LKW. Denkbare Massnahmen zielen darauf ab, Zeiteinsparungen durch eine verbesserte Anlieferungsplanung zu erreichen. Ein konkretes Instrument könnte eine verbesserte Disposition sein oder auch der Ausbau der Abladeplätze. Auch gilt es Massnahmen bzgl. der Optimierung des Abladeprozesses zu prüfen. Denn aktuell wird das Rohholz meist einzelstammweise mit dem LKW Kran abgeladen und der Vorgang ist damit sehr zeitintensiv. Dagegen werden aus der Literatur erhebliche Zeiteinsparungen durch den Stacker genannt, den man bspw. im Rahmen von wenigen Miettagen testen könnte.

Etwas komplexer ist die Beladesituation im Wald. Die zwei bedeutsamsten Einflussgrössen sind aber: Holzpoltergrösse und Platzverhältnisse. Häufig verfügen die Holzpolter über eine nicht ausreichende Holzmenge oder die Platzverhältnisse an den Holzpoltern erschweren eine effiziente Beladung. Um dem entgegenzuwirken, wäre der Ausbau der Beladungspunkte wünschenswert, sodass für mind. zwei LKW's ausreichend Platz gegeben ist, um eine effiziente Beladung zu ermöglichen.

6.2.2 Technik: Nutzlast

Die Resultate haben hervorgebracht, dass sich eine möglichst hohe Nutzlast positiv auf die Transportkosten auswirkt und darin ein Optimierungspotenzial besteht (vgl. Abbildung 10). Die sechs getesteten LKW's weisen eine Nutzlastdifferenz von über 6 t aus, und unter anderem aus diesem Grund variieren auch die berechneten Mittelwerte zwischen 0.430 CHF/tkm und 0.153 CHF/tkm. An dieser Stelle muss aber auch darauf hingewiesen werden, dass einzelne LKW's neben dem Rohholztransport noch weitere Aufgaben zu erfüllen haben, wie z.B. der Transport von Fertigprodukten. Gerade für das Mittelland kann aber davon ausgegangen werden, dass sich die Erhöhung der Nutzlast durch technische Massnahmen wie Gewichtseinsparungen deutlich positiv auf die Gesamttransportkosten auswirkt. Dagegen ist es im Berggebiet bedeutsamer, einen Kompromiss zwischen Nutzlast und Robustheit zu finden.

6.2.3 Technik: Transportdauer

Durch die Resultate konnte festgestellt werden, dass sich kürzere Transportstrecken bzw. weniger lang dauernde Transporte positiv auf die Gesamttransportkosten auswirken.

Werden hingegen nur die Kosten pro Tonnenkilometer betrachtet, so konnte festgestellt werden, dass die Transportkosten mit zunehmender Distanz logarithmisch abnehmen. Aus diesen Beobachtungen geht hervor, dass die Anzahl der Transporte pro Arbeitstag erhöht werden soll, bei gleichzeitiger Reduktion der Transportstrecke. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Auslastung der LKW's. So sind in den Kostensätzen 2'000 Jahresstunden berücksichtigt worden. Eine Erhöhung der Jahresstunden würde die Transportkosten reduzieren.

Schliesslich geht aus Abbildung 12 hervor, dass realisierbare Transportdistanzen stets abhängig vom aktuellen Holzpreis sind, sofern eine vorgegebene Transportkostenquote im Gesamtpreis eingehalten werden soll.

6.2.4 Kombiniertes Verkehr: Be-, Um- und Entladevorgang

Es konnten starke Variationen der benötigten Zeiten für die Be-, Um- und Entladung im Wald, im Bahnhof und im Werk festgestellt werden. Die Streuung ist sowohl bei den vorbereitenden Tätigkeiten, dem eigentlichen Beladevorgang und den abschliessenden Tätigkeiten zu beobachten. Während der Testfahrt konnten folgende Gründe für die Variationen erkannt werden: Entfernen von Steinen auf der Waldstrasse nach einem Gewitter; Platzverhältnisse beim Holzpolter; Unterschied mit oder ohne Anhänger sowie Anhänger angehängt oder aufgeladen; Sichern der Ladung, wenn ein Waggon vollständig beladen ist. Diese Liste ist nicht abschliessend, da es nicht im Fokus der Studie lag.

Das Aufladen des Anhängers bei Leerfahrten reduziert die angerechnete Tonnage bei der LSVA-Steuer von 40t auf 28t, was bei der Norm Euro 6 eine Reduktion der LSVA-Steuer von 91.2 auf 63.84 Rp./km führt. Zudem werden auch die Verbrauchskosten leicht geringer. Im Gegenzug muss vor dem Laden, bzw. nach dem Abladen der Anhänger ab- bzw. aufgeladen werden. Da die spezifische Zeit für das Ab- bzw. Aufladen des Anhängers in der Studie nicht gemessen wurde, kann es nicht ausgewertet werden, ab welcher Distanz das Aufladen des Anhängers sich lohnt.

6.2.5 Kombiniertes Verkehr: Transportkosten

Von allen untersuchten Varianten war die Variante Strassenverkehr mit Rückfracht am günstigsten, da ein Teil der Kosten dem Rückfrachtprodukt zugeteilt werden kann. Nichtsdestotrotz sollten die anderen Varianten betrachtet werden, da in der Praxis bspw. die Florinett AG nur bei ca. einem Drittel der Fahrten mit Grossdistanzen eine Rückfracht organisieren kann.

Die Praxistests zeigten, dass der kombinierte Verkehr eine interessante Option darstellt. Welche Variante vom kombinierten Verkehr am günstigsten ist oder ob Strassenverkehr kostengünstiger ist, hängt von der Einzelsituation ab. Insbesondere sind die Distanzen zwischen Wald und Bahnhof sowie zwischen Wald und Werk relevant. Über keinen eigenen Bahnanschluss zu verfügen ist kein Ausschlusskriterien für den kombinierten Verkehr.

Auch wenn mit konventionellen Waggonen eine Umladung in Landquart notwendig ist, ist die Variante B1b «konventionelle Waggonen ab Bergün» konkurrenzfähig. Sie schliesst, abgesehen von der Variante mit Rückfracht, sogar mit den geringsten Kosten ab. Dies, obwohl das Holz am Zielbahnhof wieder auf einen LKW umgeladen werden musste, da Schilliger Holz AG über keinen Bahnanschluss verfügt.

Die Variante «konventionelle Waggon ab Chur» war in dieser Situation aus zwei Gründen weniger attraktiv. Erstens war die Fahrstrecke per LKW bis zum Bahnhof länger. Zweitens war der Waggon nicht ausgelastet. Grund dafür ist, dass eine dritte Fahrt mit nicht ausgelastetem LKW notwendig gewesen wäre, um den Waggon vollständig zu beladen.

6.2.6 Internet Plattform

Auf der Basis der Rückmeldungen aus den zwei ersten Workshops, sowie aus einem separaten Workshop mit der Firma Latschbacher konnte die Entwicklung einer Internet Plattform als Bedürfnis evaluiert werden. Ziel der Plattform wäre, die Vergabe von Aufträgen an Transportunternehmer zu vereinfachen und Rückfrachten zu optimieren.

Die Entwicklung einer Internet Plattform wurde als technisch leicht realisierbar eingestuft. Es könnte z.B. auf Basis von net.logistik aufgebaut werden. Da betriebsübergreifende Lösungen gefördert werden ist eine Plattform gesamtwirtschaftlich vermutlich sinnvoll. Es könnten nicht nur Kosten, sondern auch die Umweltbelastung gesenkt werden. Jedoch war das Brancheninteresse eher verhalten. Falls eine Lösung in dieser Richtung angestrebt wird, so ist bereits zum Start eine gewisse Mindestmenge (fm, Polter, Aufträge usw.) nötig, damit das Konzept funktionieren kann.

6.3 OPTIMIERUNGSPOTENZIALE

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass mehrere Optimierungspotenziale in Frage kommen, um die Transportkosten in der Schweiz zu reduzieren. Im Folgenden sind die bedeutsamsten nach drei Kategorien gruppiert aufgelistet. Zusätzlich soll aufgezeigt werden, wie eine erfolgreiche Implementierung der Massnahmen gelingen kann.

6.3.1 Technische Optimierungspotenziale

Nutzlast erhöhen: Die Analyse der Daten der praktischen Einsatztests haben gezeigt, dass die Gesamttransportkosten pro Tonnenkilometer je nach LKW um den Faktor 3 voneinander abweichen. Davon ausgehend sind LKW's mit einer möglichst hohen Nutzlast zu bevorzugen. Dies kann durch eine angepasste Beschaffungsstrategie gesteuert werden.

EURO-Norm: Der Unterschied der LSVA-Abgabesteuer zwischen der EURO Norm V und der EURO Norm VI beträgt 0.41 Rappen / Tonnenkilometer. Für einen einzelnen LKW kann dies (je nach Auslastung und gefahrenen Kilometern) jährliche Zusatzkosten im Bereich von schätzungsweise 5'000 – 10'000 CHF ausmachen. Nicht der aktuellsten EURO Norm entsprechende LKW's können umgerüstet werden. Bei der Beschaffungsstrategie für neue LKW's sollte darauf geachtet werden, dass diese die neuste EURO Norm erfüllen.

Abladeprozess im Werk: In dieser Studie konnten die exakten Abladeprozesse nicht vertieft untersucht werden. Aufgrund der gemessenen Abladezeiten konnte allerdings festgestellt werden, dass die Abladezeiten eher hoch ausgefallen sind. Grundsätzlich sind mindestens zwei Optimierungspotenziale denkbar. Zum einen könnte die einzelstammweise Entladung ersetzt werden, indem mehrere Stämme gleichzeitig entladen werden (bspw. mit dem Stacker). Tests zur Praxistauglichkeit wären durchzuführen. Zum anderen wäre die Erhöhung der Abladeplätze im Werk oder die Einrichtung von temporären Abladeplätzen zu prüfen, um Wartezeiten zu reduzieren.

Dispositionsprozess: Nach aktuellem Wissensstand wird die Disposition manuell, durch einen oder mehrere Mitarbeiter erarbeitet. Dieses Arbeitssystem hat den Vorteil, dass es flexibel angepasst werden kann. Als Nachteil können spontan Situationen entstehen, bei denen es zu Wartezeiten im Wald und im Werk kommt. Ein Grund dafür ist die nach ökonomischen Gesichtspunkten nicht optimierte Routenplanung der LKW-Flotte.

Nutzlast Bahnwaggons: Mit dem neuen 70ft Smart GigaWood Waggons von Innofreight Solutions GmbH kann die Zuladung um bis zu 50% gesteigert werden. Die Nutzung solcher Waggons verlangt eine optimale Organisation, um die notwendige Holzmenge in den kurzen Zeitfenstern für die Beladung zu bündeln.

Ladungssicherung auf Bahnwaggons: Nach vollständiger Beladung eines Bahnwaggons muss der Fahrer die Ladung sichern. Der Zusatzaufwand betrug bis zu 10 - 12 Minuten. Der Anbau einer schnellen Niederbindung wie beim LKW würde diese Aufgabe vereinfachen. Ein Beispiel eines solchen Systems ist das von der Firma Forstlogistik.ch entwickelte Tirez20.

Vollständiger kombinierter Verkehr, Flats auch auf LKW: Aktuell werden die Flats von den Bahnwaggons nicht auf den LKW umgeladen, sondern die LKW beladen die Flats mit ihrem Kran im Bahnhof. Für die Praxistests war kein Bahnhof im Einzugsgebiet mit einem Kran ausgestattet. In einer weiteren Studie könnte eine derartige Investition evaluiert werden. Dadurch könnte die zum Umladen im Bahnhof benötigte Zeit reduziert werden, da das Holz nicht mehr stammweise mit dem LKW-Kran umgeladen werden muss. Zudem wird für den kombinierten Verkehr eine Zusatzrückvergütung von 33 CHF pro Umladevorgang bezahlt. Auch für die Schilliger Holz AG würde ein Containerkran eine erhöhte Flexibilität bieten.

Ladungsrestriktionen auf RhB-Netz: Aktuell können aufgrund einer beschränkten Höhe von gewissen Tunnels sowie wegen Kurven mit engem Radius die RhB-Waggons nicht ausgelastet werden. Die RhB ist bestrebt, die problematischen Strecken auszubauen.

6.3.2 Organisatorische Optimierungspotenziale

Reduktion der Transportdistanz: Meistens gibt es einen positiven Zusammenhang zwischen der Transportdistanz und der -zeit. Das bedeutet, mit zunehmender Transportdistanz steigt in der Regel auch die Transportzeit. Die Kosten pro Tonnenkilometer steigen bei konstanter Transportmasse mit zunehmender Transportdistanz. Dadurch ergibt sich ein Kostenvorteil für kürzere Transportstrecken. Allerdings variiert die maximale kostenneutrale Transportdistanz, denn sie ist vom Wert des transportierten Holzes, bzw. dem Holzpreis abhängig.

Holzwarenplattform: Die in den Workshops diskutierte Idee der Holzwarenplattform zielt darauf ab, einen bestimmten Anteil der zu transportierenden Rohholzmenge über eine halboffene digitale Plattform dem günstigsten Transportunternehmer als Auftrag zu vergeben. Dadurch liessen sich Leerfahrtanteile reduzieren und die Professionalisierung der Transportbranche würde gefördert werden.

Anzahl der LKW's pro Rohholztransport: Durch das Mitführen von einem Ladekran auf dem LKW wird die Nutzlast reduziert und die Transportkosten erhöht. Häufig verbreitet in der Schweizer Rohholzlogistik ist die Situation, dass ein LKW mit Kran sich selbst belädt

oder einen Partner LKW. Wenn ein LKW neben sich selbst noch zwei weitere LKW's beladen könnte, würde sich die Nutzlast pro LKW um rund 700 kg erhöhen.

Decision Support Tool: die Praxistests haben gezeigt, dass vor allem die Distanzen zwischen Wald und Holzabnehmer beeinflussen, welche Transportvariante am günstigsten ist. Da die Distanzen im Voraus bekannt sind, kann eine Vorkalkulation zur Wahl der optimalen Transportvariante führen. Um Transportvarianten in Abhängigkeit von Distanzen zwischen Wald, Bahnhof und Kunde zu vergleichen, könnte ein Excel-basiertes Decision Support Tool entwickelt werden.

Bildung einer Koordinationsstelle für kombinierten Verkehr: In der Praxis ist die Hürde einen Transport mit kombiniertem Verkehr zu organisieren für viele Akteure noch hoch. Akteure ohne Bahnanschluss verfügen oft nicht über Kontakte mit Bahnunternehmen und der Prozess ist ihnen zum Teil noch unklar. Die Bildung einer Koordinationsstelle mit etablierten Erfahrungen, Beziehungen und ggf. sogar Preisabmachungen mit den Bahnunternehmen könnte den kombinierten Verkehr fördern.

Holzbündelung: Die Variante «Kombinierter Verkehr mit konventionellen Bahnwaggons von Chur bis Perlen», welche ausschliesslich das SBB-Netz nutzt, erschien weniger attraktiv als die Varianten, welche eine Umladung zwischen RhB- und SBB-Waggons benötigten. Grund war u.a. eine ungenügende Auslastung des SBB-Waggons. Um den Waggon auszulasten, wäre eine ergänzende Fahrt mit nicht vollständig beladenem LKW notwendig gewesen. Zudem muss ein Waggon innerhalb von 24 Stunden beladen werden. Um die 60 Tonnen einfacher zu erreichen und um sowohl die LKW's als auch die Bahnwaggon auszulasten würde sich eine überbetriebliche Holzbündelung anbieten.

Rückfracht bei Strassenverkehr: Die Organisation einer Rückfracht führt zu einer erheblichen Reduktion der Kostenbelastung auf dem Rundholz, da ein Teil der Kosten auf das Rückfrachtprodukt zugeteilt wird. Jedoch können die Praxispartner nur bei maximal einen Drittel der Fahrten eine Rückfracht organisieren. Eine vermehrte überbetriebliche Koordination, z.B. durch eine Warenplattform, könnte das Verhältnis der Rückfrachten verbessern.

Rückfracht bei Bahnverkehr: Auch beim Bahnverkehr würde die Organisation einer Rückfracht zu einer geringeren Kostenbelastung führen, da auch die Leerfahrt der Waggons zum Ladebahnhof von den Bahnunternehmen in Rechnung gestellt wird.

Vollständiger kombinierter Verkehr, Flats auch auf LKW: Aktuell werden die Flats von den Bahnwaggons nicht auf den LKW umgeladen, sondern die LKW beladen die Flats mit ihrem Kran im Bahnhof. Eine Schwierigkeit bei der Umladung von Flats auf LKW's bildet die unterschiedliche Nutzlast. Die Flats können auf LKW's nicht vollständig aufgeladen werden (max. 44t). Es könnte jedoch eine Kombination über mehrere Fahrten geprüft werden: 2x Fahrten mit nicht vollständig geladenen Flats und 1x Fahrt mit normalem Anhängerzug und Umladung der Stämme im Bahnhof, um die Flats vollständig aufzuladen.

Vollständiger kombinierter Verkehr, Flats auch im Wald: In einem nächsten Schritt könnten die Flats vom LKW im Wald deponiert und direkt vom Forwarder bzw. Gebirgsharvester oder Baggerprozessor beladen werden. Die Projektpartner äusserten

jedoch, dass nicht genügend ebene Flächen im Wald vorhanden sind. Container-Lösungen sollten in einer weiteren Studie untersucht werden.

6.3.3 Projektmanagement

Projektkommunikation: Eine funktionierende Kommunikation während der Projektlaufzeit ist für einen reibungslosen Projektablauf enorm wichtig. Die Erfahrungen aus diesem Projekt haben gezeigt, dass die Projektkommunikation teilweise erschwert war und damit der Projektablauf beeinträchtigt wurde. Diesen Umstand gilt es durch eine verbindliche Planung aller Projektpartner zu verhindern.

Projektrelevanz: Mit den aktuell sinkenden Holzpreisen gerät die Schweizer Wald- und Holzwirtschaft zunehmend unter Druck und damit auch die Schweizer Rohholzlogistik. Gerade deshalb ist es von zentraler Bedeutung, dass innovative Ansätze auf deren Kosteneinsparpotential überprüft werden. Ebenso ist es wichtig zu verstehen, dass die beiden in dieser Studie berücksichtigten Partner national betrachtet grosse Player in der Rohholzlogistik sind und damit auch Verantwortung für eine Weiterentwicklung in diesem Segment tragen. Durch eine freie Marktwirtschaft werden diese Prozesse am effektivsten gefördert.

Autonome Datenerfassung: Um statistisch signifikante Resultate zu erzielen, ist die Wissenschaft auf einen ausreichend grossen Datensatz angewiesen. Die Erfahrungen aus dieser Studie haben gezeigt, dass weder die manuelle, noch die halbautomatische Datenerfassung zielführend war. Aus diesem Grund soll in einer allfälligen weiteren Studie die Datenerfassung autonom gestaltet werden. Wichtig dabei ist, dass für jeden erfassten Datenpunkt folgende Angaben bekannt sind: steht (Pause/Stau) oder fährt der LKW; findet ein Be- oder Entladevorgang statt; Koordinaten; Gesamtgewicht; Anhänger vorhanden oder nicht. Mit Sensoren an Rädern und Kran sowie einem GPS sollte es möglich sein, alle Informationen automatisch zu erheben. Dies würde geographische Auswertungen erlauben. Die Bildung einer grösseren Datenbank würde auch eine optimale Datengrundlage für ein Decision Support Tool darstellen.

Berücksichtigung von Fertigprodukten: Der Einfluss von Fertigprodukten auf die Gesamttransportkosten hängt auf der Erlösseite von den finanziellen Einnahmen der Dienstleistung und auf der Aufwandseite von dem zusätzlichen Zeitaufwand bzw. der zusätzlichen Transportstrecke ab. In dieser Studie konnte der Einfluss der Fertigprodukte aufgrund der geringen Datenverfügbarkeit nicht berücksichtigt werden. Es ist aber bekannt, dass die Gesamtkosten der LKW's zwischen 140 CHF/h und 160 CHF/h liegen und die Preise pro Kilometer bei 2.5 CHF liegen. Damit geht hervor, dass durch die Auslieferung von Fertigprodukten durchaus ein Potential zur Kostenreduktion gegeben ist.

7. SCHLUSSFOLGERUNG

In dem praxisbezogenen Forschungsprojekt «Messungen und Bewertungen von Optimierungen in der Rohholzlogistik» konnten im Teil Technik gemeinsam mit den Projektpartnern Tschopp Holzindustrie AG und Schilliger Holz AG insgesamt 23 Rohholztransporte mit der GPS-Applikation gemessen und analysiert werden. Im Teil kombinierter Verkehr mit den Projektpartnern Perlen Papier AG, Schilliger Holz AG und Florinett AG konnten insgesamt fünf Transportvarianten von kombiniertem Verkehr mit

zwei Strassentransportvarianten analysiert und verglichen werden. Die qualitative Analyse hat im Wesentlichen folgende Erkenntnisse ergeben:

- Für die Be- und Entladung des Rohholzes wird ein erhebliches Kosteneinsparpotential gesehen. Insbesondere für den Prozess der Entladung können Kosteneinsparungen mit geringerem Aufwand erzielt werden.
- Eine höhere Nutzlast wirkt sich positiv auf die Gesamttransportkosten aus.
- Die Transportdauer und damit die Transportstrecke hat einen wesentlichen Einfluss auf die Gesamtkosten und soll das Verhalten des Holzpreises mitberücksichtigen.
- Der Zusammenschluss von mehr als zwei LKW's kann weiteres Einsparungspotenzial zur Folge haben.
- Rückfrachten führen zu einer erheblichen Reduktion der Kostenbelastung, weil nicht sämtliche Kosten dem Rundholz belastet werden.
- Der kombinierte Verkehr kann je nach Distanzen günstiger sein als der Strassenverkehr, auch wenn eine Umladung zwischen Schmal- und Breitspurbahnnetz notwendig ist oder wenn der Holzabnehmer über keinen Bahnanschluss verfügt.
- Der kombinierte Verkehr hat Potential, durch weitere Optimierungen gegenüber dem Strassenverkehr noch konkurrenzfähiger zu werden.
- Die Rohholzlogistik und die darin anfallenden Aufgaben sind in ein komplexes System eingebunden. Um Entscheidungen zu erleichtern, kann intelligente und an die entsprechenden Bedürfnisse angepasste Software hilfreich sein.
- Die Entwicklung eines «Decision Tool» könnte dazu beitragen, die Transportkosten vorab zu berechnen und die Wahl des optimalen Transports zu unterstützen.
- Wichtige Voraussetzungen für eine erfolgreiche Weiterentwicklung sind: freie marktwirtschaftliche Bedingungen, Motivation und Wissenstransfer.
- Eine frühzeitige strategische Ausrichtung der Branche mit klaren Positionen kann das Image verbessern und zu einer Reduktion des CO₂-Ausstosses beitragen.

Die oben genannten Punkte tragen dazu bei, die Schweizer Rohholzlogistik wettbewerbsfähiger zu gestalten. In Anbetracht der zunehmenden Konkurrenz aus dem Ausland wird die Überprüfung und Einführung der genannten Punkte empfohlen.

8. ZUSAMMENFASSUNG

Der Transport vom Wald zum Holzverarbeiter macht einen beachtlichen Anteil der Holzbereitstellungskosten aus und hat in den letzten Jahren aus verschiedenen Gründen zugenommen. Für «Lignum Holzwirtschaft Zentralschweiz» (vormals und zur Zeit der Antragstellung «PROHOLZ Lignum Luzern») wurden durch die HAFL in Zusammenarbeit mit mehreren Praxispartnern (SWISS Krono AG, Perlen Papier AG, Schilliger Holz AG, Tschopp Holzindustrie AG, Florinett Holz AG, Latschbacher AG, Amstutz Holzenergie AG, RWG Fontannen) Optimierungspotentiale analysiert und Praxistests durchgeführt.

Anhand einer Literaturrecherche wurden technische und organisatorische Lösungsansätze zur Senkung der Transportkosten in der Rohholzlogistik identifiziert, beschrieben und im Hinblick auf ihre Einsatzmöglichkeiten in der Schweiz beurteilt. Im Rahmen eines Workshops mit potenziellen Praxispartnern wurden die 31 identifizierten Ansätze von den Experten priorisiert und 9 selektiert, die mit einer Ausarbeitung von Factsheets genauer beschrieben wurden. In einem zweiten Workshop wurde festgelegt, welche dieser Ansätze mit welchen Praxispartnern erprobt werden sollen, um sie auf ihre Einsatztauglichkeit zu prüfen und konkrete Einsparpotenziale zu ermitteln. Für die technischen Varianten wurde vorgängig ein Vergleich der Kosten unterschiedlicher LKW-Modelle vorgenommen. Für den kombinierten Verkehr wurden die Kosten verschiedener Transportkonzepte (Bahn-LKW, LKW) verglichen. Für die Detailplanung der Praxistests fanden bilaterale Treffen statt. Zusätzlich wurde mit einer Internet-basierenden Holzwarenplattform ein Thema in einem separaten Workshop eingehender diskutiert, welches im Antrag stark fokussiert war, in der Selektion durch die Teilnehmer aber nicht in die Umsetzungsphase aufgenommen wurde, wo andererseits aber dennoch ein gewisses Potenzial gesehen wird.

Für die Praxistests im Teil Technik wurden 6 verschiedene LKWs (je 3 der Schilliger Holz AG und Tschopp Holzindustrie AG) verwendet. Die LKWs unterschieden sich in ihrer Ausstattung (mit / ohne Kran, Anhänger aufladbar oder nicht) und somit auch in der maximal möglichen Nutzlast. Die Bewegungen der LKWs wurden mit einer frei verfügbaren Smartphone App aufgezeichnet. Ergänzend dazu wurden die Teilarbeitsschritte der Transporte durch die Fahrer mit Messprotokollen dokumentiert. Insgesamt konnten Daten zu 23 Transporten erhoben werden.

Für den kombinierten Verkehr wurde für die Datenerfassung das gleiche Vorgehen gewählt. Sämtliche Transportvorgänge vom Wald zum Verladebahnhof oder Direkttransporte zum Werk der Schilliger Holz AG wurden der Vergleichbarkeit halber mit dem gleichen LKW durchgeführt. Bei kombiniertem Verkehr wurde vom Endbahnhof bis zum Werk von Schilliger ein firmeneigener LKW genutzt. Der Bahntransport erfolgte mit konventionellen Bahnwaggons für den Holztransport oder Standard-Waggons mit ACTS-Flats. Sämtliche Varianten konnten im Rahmen der Untersuchung nur einmal durchgeführt werden.

Wegen der geringen Anzahl Transporte pro Variante sind sowohl beim Teil Technik als auch beim kombinierten Transport nur qualitative, statistisch nicht gesicherte Aussagen möglich.

Die Resultate des Teils Technik zeigten, dass die mittlere Ausnutzung der Nutzlast der LKWs sehr hoch ist und wenig Optimierungspotential bietet. Die LKWs unterschieden sich bezüglich der Kosten pro Tonnenkilometer, Kosten pro Kilometer und Kosten pro Tonne teils erheblich. Weiter wiesen die von den Fahrern mit Messprotokollen erfassten Zeiten für die einzelnen Arbeitsschritte teils grosse Abweichungen zu den anhand der Applikation ermittelten Zeiten auf. Die Tests zeigten eine Tendenz für einen linearen Zusammenhang zwischen folgenden Faktoren: Gesamttransportkosten und Transportdistanz; Gesamttransportkosten pro Tonnenkilometer und Nutzlast; Gesamttransportkosten pro Stunde und Nutzlast.

Eine Kostenreduktion lässt sich durch die Verwendung von LKWs mit einer höheren Nutzlast, die Minimierung der Transportdistanzen und die Erhöhung der Anzahl LKWs pro Transport erreichen. Weiteres Optimierungspotential würde sich durch die Minimierung der Be- und Entladezeiten durch geeignete Disposition und effiziente Abladetechniken realisieren lassen.

Die Untersuchungen beim kombinierten Verkehr wiesen eine hohe Variabilität auf. Am günstigsten schneidet die Variante Strassentransport mit Rückfracht ab, weil ein Teil der Kosten dem Rückfrachtprodukt zugeteilt werden kann. Lässt sich keine Rückfracht organisieren, ist die Variante kombinierter Verkehr je nach verwendeten Waggons / Flats selbst bei einer Umladung von der Rhätischen Bahn (RhB) auf die SBB noch konkurrenzfähig, solange die Waggons voll ausgelastet werden können. Besonders die Distanzen zwischen Wald und Bahnhof sowie Wald und Werk beeinflussen, welche Variante am kostengünstigsten ist.

Optimierungspotential besteht in der Verwendung effizienterer Systeme zur Ladungssicherung der Bahnwaggons, dem Verladen der Flats auf die LKWs und der Reduktion der Wartezeiten bei den Holzabnehmern. Welche Transportvariante beim kombinierten Verkehr am kostengünstigsten ist, ist stark von den Ausgangsbedingungen (Distanz Wald – Bahnhof resp. Bahnhof – Werk) abhängig.

Das Thema Holzwarenplattform zur Optimierung der Auslastung / Rückfrachtoptimierung stiess bei den Praxispartnern nur auf verhaltenes Interesse. Die Idee zielt darauf ab, einen bestimmten Anteil der zu transportierenden Rohholzmenge über eine halboffene digitale Plattform dem günstigsten Transportunternehmer als Auftrag zu vergeben. Dadurch würden sich die Rückfrachttransporte optimieren lassen und die Professionalisierung der Transportbranche würde gefördert. Technisch wäre eine solche Lösung relativ einfach realisierbar (bspw. mit der net.logistik von Latschbacher), allerdings funktioniert sie nur, wenn eine sinnvolle Mindestmenge (Festmeter, Polter, Aufträge usw.) auf die Plattform gestellt wird. Volkswirtschaftlich wäre es vermutlich sinnvoll, um mit übergreifenden Lösungen die Kosten und die Umweltbelastung zu senken.

Die Praxistests bestätigen zudem, dass für signifikante und aussagekräftigere Resultate eine Erhöhung der Anzahl Wiederholungen pro LKW-Modell erforderlich ist. Dies



umzusetzen würde eine automatische und vollständige Datenerfassung voraussetzen, damit der Aufwand für die Datenauswertung reduziert, gleichzeitig aber auch die Datenqualität gewährleistet werden kann. Dazu wäre zu prüfen, ob durch den Einsatz von einem Telematiksystem für LKWs die erforderlichen Daten abgegriffen werden können oder ob eine Kombination mit zusätzlichen Sensoren notwendig ist, um die Arbeitsphasen trennen zu können. Zusätzlich betrachtet werden sollten Verfahrensvariationen, die weiteres Optimierungspotential bieten. Dies sind beispielsweise der Einsatz eines Stackers zur Entladung oder beim kombinierten Verkehr die Verwendung von ACTS-Flats bereits im Wald.

Die Daten, die durch die Ausstattung der LKWs mit einem Telematiksystem bzw. mit geeigneter Sensorik dann im Idealfall eine automatische Arbeitsphasentrennung ermöglichen, können als Grundlage für die Entwicklung eines Decision Support Tools verwendet werden. Dieses könnte helfen die Transportvarianten zu vergleichen und in Abhängigkeit von den Distanzen zwischen Wald, Bahnhof und Kunde die kostengünstigste Lösung vorschlagen.

Schlagwörter: Rohholzlogistik, kombinierter Verkehr, Optimierung

8. LITERATURVERZEICHNIS

- Amstutz U., Streiff H.R. und Riegger W. (2003). ERFOLGSFAKTOREN FÜR DIE WALD UND HOLZWIRTSCHAFT. Holz 21
- Arnet, A. (2017). Analyse der Wertschöpfungskette Holz im Kanton Luzern. 1. Zwischenbericht Projekt Holzcluster Luzern. Unveröffentlicht
- Bauer, J., & Bodelschwingh, E. V. (2005). Optimierung der Holzernteketten und Mobilisierung im Privatwald–Region Holzkirchen, Rosenheim und Traunstein, WBV Logistikstudie. Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik TU München.
- Bauer, J. W. (2006). Verbesserung der Logistik in der Wertschöpfungskette zwischen Kleinprivatwald und Holzwirtschaft mittels Methoden des Business Process Reengineering (Doctoral dissertation, TUM).
- Brabänder, H. D., Koester, U., & Hodapp, W. (1980). Nutzen-Kosten-Untersuchung der forstwirtschaftlichen Zusammenschlüsse. Sauerländer.
- Devlin, G., & McDonnell, K. (2009). Assessing real time GPS asset tracking for timber haulage. The Open Transportation Journal, 3(2009), 78-86.
- Eidg. Finanzdepartement (2008). Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA) Reduzierte Schwerverkehrsabgabe für Rohholztransporte
- Eidg. Finanzdepartement (2014). Informationsbroschüre. Rückerstattung der Mineralölsteuer für in der Landwirtschaft verbrauchte Treibstoffe
- Eidg. Finanzdepartement (2017). Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe LSVA – ÜBERSICHT AUSGABE 2017.
- Eidg. Zollverwaltung. Mineralölsteuer. Abrufdatum: 20.09.2018. <https://www.ezv.admin.ch/ezv/de/home/information-firmen/steuern-und-abgaben/einfuhr-in-die-schweiz/mineraloelsteuer.html>
- Forsberg, M. (2003). Cost-effective roundwood haulage. Skogforsk, Resultat no, 12.
- Forsberg, M., Frisk, M., & Rönnqvist, M. (2005). FlowOpt—a decision support tool for strategic and tactical transportation planning in forestry. International Journal of Forest Engineering, 16(2), 101-114.
- Gabriel (2012). Trailer Gemeinschaft. Forst und technikHolz, 3, 14-17.
- Gautschi M., Hagenbuch M., Taverna R. (2017). Transporte in der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft: Situationsanalyse und Optimierungsmöglichkeiten.
- Gronalt, M., Chloupek, A., Greigeritsch, T., & Häuslmayer, H. (2006). WoodLog: Perspektiven der Holzlogistik Supply Chain; Optimierungspotentiale durch ein Logistikleitzentrum Holz-Österreich. Univ. für Bodenkultur.
- Hecker, M., Ressmann, J., & Becker, G. (1998). Wertschöpfungspotentiale und ihre Realisierung entlang von Holzernte- und Logistikketten. Forst und Holz, 53, 651-655.
- Hamelinck, C. N., Suurs, R. A., & Faaij, A. P. (2005). International bioenergy transport costs and energy balance. Biomass and Bioenergy, 29(2), 114-134.
- Hecker, M., & Ressmann, J. (1999). Informationstechnologie und Human Capital–Forst- und Holzwirtschaft vor dem nächsten Jahrtausend| Information Technology and Human Capital–Forestry and Wood-Processing Industry in Transition to the Next Millennium. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 150(6), 219-225.
- Hochschule Rosenheim (2018). Expertenworkshop: Innovationen in der Holzlogistik. Abrufdatum 07.08.2018. <https://www.cluster-forstholzbayern.de/de/informationen/aktuelle-berichte/1750-expertenworkshop-innovationen-in-der-holzlogistik>
- Holzleitner, F., Kanzian, C., & Stampfer, K. (2011). Analyzing time and fuel consumption in road transport of round wood with an onboard fleet manager. European Journal of Forest Research, 130(2), 293-301.
- Höllerl H. (2005). Adieu Zettelwirtschaft. Forst u. Technik, 1, 14-17.
- Hug, J. (2004). Optimierung von Geschäftsprozessen in der Forstwirtschaft durch den Einsatz von Informationstechnologie: am Beispiel der Holzbereitstellung auf Revierenebene (Doctoral dissertation, Verlag nicht ermittelbar).
- Jaakko Pöyry Consulting. (2002a). Logistikstudie Schweizer Wald- und Holzindustrie. Analyse zur Identifikation von Rationalisierungspotentialen entlang der Wertschöpfungskette Wald-Werk. Ergebniszusammenfassung. Abgerufen am 30.10.2002 2002 von www.wvs.ch/de/presse/Logistikstudie%20kurz.pdf.
- Kraft, D. (1999). Leistungs- und Wertschöpfungsprozess aus Sicht eines Forstunternehmers. Forstliche Forschungsberichte, (175).
- Kretzer, J. (2008). Supply Chain Forst-Logistik-Säge. Erstanwendungsplattform von IT/Telematikkonzepten zur ressourceneffizienten Holznutzung im Gebirgswald, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, bezogen unter: http://www.fabrikderzukunft.at/fdz_pdf/endbericht_0911_supply_chain_forst_logistik_saeger.pdf, Zugriff am, 15, 2015.
- Korten, S., & Kaul, C. (2008). Application of RFID (radio frequency identification) in the timber supply chain. Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering, 29(1), 85-94.
- Korten S. & Kaul C. (2012). Schlussbericht. Optimierung der Transportprozesse bei Holzernte und Rundholztransport durch den Einsatz von Wechselbrücken
- Kühmaier, M., Kanzian, C., Holzleitner, F., Stampfer, K. (2007): Wertschöpfungskette Waldhackgut. Optimierung von Ernte, Transport und Logistik. Projektstudie im Auftrag von BMLFUW, Land Niederösterreich, Stadt Wien und ÖBf AG. Institut für Forsttechnik, Department für Wald und Bodenwissenschaften, Universität für Bodenkultur, Wien, 283 S.
- Latschbacher (2018). Abrufdatum: 04.09.2018: <https://www.latschbacher.com/winforspro/logistik/>
- McDonald, T. P., Haridass, K., Valenzuela, J., Gallagher, T. V., & Smidt, M. F. (2013). Savings in distance driven from optimization of coordinated trucking. International journal of forest engineering, 24(1), 31-41.
- Pauli B. (2017): Optimierte Holzlogistik im Raum Zentralschweiz. Referatefolien.

- Pauli B. (2018). Messung und Bewertung von Optimierungen in der Rohholzlogistik. Einsatztest technischer und organisatorischer Lösungsansätze für den Rohholztransport. Unpublished.
- Rauch, P., Gronalt, M., & Häuslmayer, H. (2007). Überregionales Logistik- und Versorgungsnetzwerk für Holz-Biomasse. Schriftenreihe Berichte aus Energie- und Umweltforschung, 51.
- Runkeeper, (2019). GPS-Applikation. <https://runkeeper.com>
- Rösler, S. (1999). Die optimale Logistikkette: Wie können Holztransport und Holzhandel besser in die Logistikkette integriert werden. Forsttechnische Informationen, 10(1999), 86.
- Schaffner, S. J. (2001). Realisierung von Holzvorräten im Kleinprivatwald (Doctoral dissertation, Technische Universität München).
- Schmidt, D. C. (2008). RFID-Einsatz in der Forstwirtschaft. In GIL Jahrestagung (pp. 125-128).
- Smaltschinski Th. (2010). Reduktion der Leerfahrten beim Rundholztransport
- Smaltschinski, T., Seeling, U., & Becker, G. (2012). Clustering forest harvest stands on spatial networks for optimised harvest scheduling. Annals of forest science, 69(5), 651-657.
- Starck C., Brunner M., Starck C. (2003) ERFOLGSFAKTOREN FÜR DIE WALD-UND HOLZWIRTSCHAFT. Ergebnisse einer richtungweisenden Studie
- Strunk, M. (2003). Zum Einsatz von Wechselbrücken beim Rohholztransport in der deutschen Forst- und Holzwirtschaft. Institut für Forstliche Arbeitswissenschaft und Verfahrenstechnologie der Universität Göttingen.
- Suda, M., & Warkotsch, W. (2002). Mit den forstwirtschaftlichen Zusammenschlüssen ins 21. Jhh. AFZ/Der Wald, 1, 6-9.
- Vaupel M. (2015). Flexibel mit dem Hakenlift. Bauernblatt. 35-36.
- Von Bodelschwingh, E. (2006). Analyse der Rundholzlogistik in der deutschen Forst- und Holzwirtschaft–Ansätze für ein übergreifendes Supply Chain Management. Technische Universität München. Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik.
- Waldwissen (2011). Dossier: Optimierte Harvesterernte. Abrufdatum: 17.07.2018, https://www.waldwissen.net/dossiers/bfw_dossier_optimierte_harvesterernte/index_DE.
- WASP Logistik GmbH, (2018). Abrufdatum: 06.09.2018, <https://www.wasp-logistik.de/produkte.html>
- Ziesak M. (2018), «Smarte» Forstmaschinen- was ist darunter zu verstehen? Bündner Wald, (71), 30-34.

9.1 FACTSHEETS

TECHNISCHER ART					
Optimierungsansätze: Informationsbereitstellung					
	OPTIMIERUNGSANSÄTZE	FINANZIELLE EINSPARNISSE	VOR-NACHTEILE	UMSETZBARKEIT	WIRKSAMKEIT
1. Transponder	<p>Verwendung eines Transponders um die Auftragsstammdaten elektronisch zu erfassen und laufend zu übermitteln (Heinimann, 1999).</p> <p>Der Einsatz von Transpondern fördert eine hohe Leserate, einen höheren Leseanteil, einen zuverlässigeren-, kontaktlosen- "just in time" Leseprozesses und verbessert damit den Informationsfluss für die gesamte Wertschöpfungskette (Korten & Kaul, 2008).</p>	<p>Der Aufwand für die elektronische Datenerfassung bei Werkseingang wird für 1'000 FM mit 46 € gegenüber 118 € bei der Manuellen angegeben (Von Bodelschwingh, 2006).</p>	<p>Vorteile: Durch elektronische Datenerfassung der Holzlieferung bei Werkseingang kann gegenüber der manuellen Datenerfassung erheblich Zeit eingespart werden (exp. Anstieg des Zeitaufwandes mit zunehmender Holzmenge) (Von Bodelschwingh, 2006).</p> <p>Durch die Verwendung von Transpondern können Holzmengen im Warenfluss automatisch aufgefunden werden und dadurch gehen erhebliche Zeit- und Kostenersparnisse einher (Korten & Kaul, 2008).</p> <p>Nachteile: Beschaffungskosten, teilweise manuelle Platzierung der Transponder, unterschiedliche Scanqualität, unterschiedliche Transponderdauerhaftigkeit, unterschiedliche Scanentfernungen möglich, unterschiedliche Informationskapazitäten.</p>		
Optimierungsansätze: Softwarenutzung und Softwareweiterentwicklung					
2. Informations-Software	<p>Software, die Informationen über Waldflächen, Waldwegnetz, Holzmengen, Holzqualität, Holzlagerplätze, Rückegassenpositionen und Umweltparameter berücksichtigt. Zudem soll der Kommunikations- und der Informationsaustausch zwischen Harvester-, Forwarder-, Lkw-Fahrer und Holzwerk erleichtert werden. Zuletzt sollen täglich automatisch Informationen über die erstellten Holzpolter und die Transportleistungen an eine zentrale Datenbank übermittelt werden, um den Arbeitsaufwand zu reduzieren (Von Bodelschwingh, 2006).</p>	<p>Die Aufrüstung von Forwarder und Lkw mit GPS-Empfänger kostet rund 3'000 € (Von Bodelschwingh, 2006). Für die Beschaffung der Softwarelizenz, der Datenübertragung und der Administration sind mit Kosten von 0.180 €/Fm zu rechnen. Die Kosten für preiswertere Systeme werden mit 0.10-0.120 €/Fm angegeben (Bauer et al., 2005).</p>	<p>Vorteile: Durch die Integration einmal erfasster Daten (im Planungsmodul) sind Zeitersparnisse für das Entfallen der manuellen Eingabe der Aushaltungskriterien von 15-30 Minuten zu erwarten (Von Bodelschwingh, 2006).</p> <p>Nachteile: IT-Affinität des Waldpersonals, Anschaffungs- und Unterhaltskosten.</p>		
Ergänzungen					

Optimierungsansätze: Softwarenutzung und Softwareweiterentwicklung					
	OPTIMIERUNGSANSÄTZE	FINANZIELLE EINSPARNISSE	VOR-NACHTEILE	UMSETZBARKEIT	WIRKSAMKEIT
3.Prozess-Software	<p>In einer Studie aus AU machten die Wartezeiten vor den Sägereien 9% und die Ladezeit 21% der gesamten Zeit Wald-Werk-Wald aus (Holzleitner et al., 2011). Strunk (2003), Blattert & Lemm (2011) schätzen, dass die Chauffeure rund 31% der gesamten Transportzeit für die Einfahrt in den Wald brauchen aber nur 9% für die Rückfahrt und 46% für den Ladevorgang (Blatter & Lemm, 2011, Arnet, 2017,).</p> <p>Prozess-Softwares (wie FlowOpt und AkarWeb) unterstützen eine effiziente Routenplanung. Durch das GPS-Tracking können täglich die Arbeitsstunden, die Stillstandzeiten, die Reiserouten, etc. abgefragt werden. Mit dem System Bluetree kann bspw. die Bezahlung der Angestellten trivial abgewickelt werden. Die Wartezeiten in den Sägewerken könnten durch das Wegfallen der Lieferscheine und einen optimierten Warenfluss effizienter gestaltet werden (Kretzer, 2009).</p> <p>Der Einsatz eines betriebsübergreifenden EDV-gestützten Flottenmanagements (z.B. WinforstPro) kann dazu beitragen, bei gleicher Systemleistung die totalen Transportdistanzen eines Unternehmens zu minimieren (Gautschi et al., 2017).</p>	<p>Innerhalb der Wertkette kann durch die Vermarktung und die Abrechnung rund 30% eingespart werden (Amstutz et al., 2003).</p> <p>Wenn im gesamten Holzernte- und Logistikprozess optimale Informations- und Kommunikationstechniken genutzt werden, beziffert Hecker et al. (1998) das Wertschöpfungspotential mit 3,90 €/m³.</p> <p>Eine andere Studie geht von Diesel-Kosteneinsparungen von rund 10'000 € pro Lkw und Jahr aus durch die Anwendung von GPS-Trackern wie FlowOpt und AkarWeb (Devlin et al., 2009).</p> <p>Nach Von Bodelschwingh (2006) kann durch eine optimale Tourenplanung der Leerfahrtanteil um bis zu 30% reduziert werden. Daraus resultiert eine Kostenreduktion von 6%, eine Zeitersparnis von 9% sowie einer Reduktion des Dieserverbrauchs um 9%. Wichtige Elemente einer kostengünstigen Tourenplanung sind Informationen über Polter (Sortiment, Volumen, GPS-Koordinaten), Spediteure (Adressaten, Fahrzeugs Konfigurationen) und der Abnehmer (Standort, Öffnungszeiten) in einer Datenbank.</p>	<p>Vorteile: Höhere Rendite für Unternehmen, die ihre Informationstechnologie effizient und effektiv einsetzen durch die Mehrfachnutzung der automatisch erfassten Daten (Hecker, 1999).</p> <p>Überschreitungen der Nutzlast kann einfacher identifiziert werden (mehr Kraftstoffverbrauch) zudem werden Leerfahrten besser dokumentiert (Devlin et al., 2009).</p> <p>"Ein wesentliches Element der Rationalisierung von Verfahrensabläufen im Holzhandelsgeschäft ist die rasche Weitergabe von handelsrelevanten Informationen in digitaler Form" (Hug, 2004).</p> <p>Bevor eine solche Software in der Schweiz erfolgreich eingesetzt werden kann, sind Praxistests erforderlich (Blatter & Lemm, 2011).</p> <p>Nachteile: IT-Affinität des Waldpersonals, Anschaffungskosten erforderlich.</p>		
4.Wald & Holz 4.0	<p>Wald & Holz 4.0 zielt darauf ab, durch die Verbindung von Menschen, Objekten, und Systemen dynamische, echtzeitoptimierte und selbstorganisierte, unternehmensübergreifende, Wertschöpfungsnetzwerke zu bilden. Diese könnten Kriterium spezifisch optimiert werden (Ziesak, 2018).</p>	-	<p>Vorteile Vereinheitlichung der versch. Informations-, Kommunikations- und Prozesssoftwares, zeitechte Aktualisierungen der Holzflüsse.</p> <p>Nachteile: Keine Ergebnisse aus der Praxis bekannt.</p>		
Ergänzungen					



Optimierungsansätze: Softwarenutzung und Softwareweiterentwicklung					
	OPTIMIERUNGSANSÄTZE	FINANZIELLE EINSPARNISSE	VOR-NACHTEILE	UMSETZBARKEIT	WIRKSAMKEIT
5.WASP	<p>Mit der WASP-Holzlogistiklösung steht allen Akteuren der Forst- und Holzwirtschaft eine Logistiksoftware auf Basis modernster Cloud Technologie zur Verfügung. Kernpunkte der WASP-Holzlogistiklösung sind ELDAT-konforme Module für Rundholz, Hacker und Biomasse mit folgenden Services:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Einbindung Kartenmaterial für Dispo und Fahrer – Darstellung Polterinformationen – Darstellung Abnehmerinformationen – Automatisierte Lieferscheinerfassung – Elektronischer Lieferschein – Einheitliches Datenformat – Optimierte Integration bestehender Navigationssysteme (NavLog, Logiball, TomTom) inklusive Sprachanweisung – Präzise Navigation im Wald durch straßenübergreifenden Datenbestand (Waldwege, Teerstraßen) (WASP, 2018). 	Bislang keine Informationen bekannt.	<p>Vorteile: Kommunikation, Navigation und Tourenmanagement in einem Produkt.</p> <p>Nachteile: IT-Affinität des Waldpersonals, Anschaffungskosten erforderlich.</p>		
6.WinForstPro	<p>Software, die Bedürfnisse der Waldbesitzer, der Logistik und der Industrie abdecken soll. Die Logistik soll dabei durch folgende Aspekte profitieren:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Gutes, zoombares Kartenmaterial – Fuhroptimierung mit mehreren Sägewerken – Darstellung bereitliegender Polter in der Region – Schnelle, einfachere Lieferscheinerfassung – Anbindung der Polter Navigation optional über NavLog/Logiball – Standardisierter Lieferschein – Kontrolle der Werksabrechnung für Frächter (Latschbacher, 2018) 	Laut Pauli (2017) beträgt das Einsparpotenzial durch EDV-gestützte Navigation im Wald bis zu 13,5 % auf die Fahrkilometer.	<p>Vorteile: Zusätzliche Kostenreduktion.</p> <p>Nachteile: Die fixen Kosten von WinforstPro betragen 690 € und die variablen 81 € (Höllerl, 2005).Kein Routing möglich (analog zu Navigationsgerät).</p>		
Ergänzungen					

Optimierungsansätze: Fahrzeugbau					
	OPTIMIERUNGSANSÄTZE	FINANZIELLE EINSPARNISSE	VOR-NACHTEILE	UMSETZBARKE IT	WIRKSAMKEIT
7.Lkw-Achsenanzahl	Für den Rohholztransport werden in der Schweiz häufig 3-, 4- und 5-Achser eingesetzt.	Die gesamten Betriebskosten für einen 3-Achser werden nach Gautschi et al. (2017) mit 6.23-6.32 CHF/km angegeben. Solche für einen 5-Achser mit 6.64-6.65 CHF/km.	Vorteile: Die Nutzlast der betrachteten Lkw-Typen unterscheidet sich um 10t (12t bzw. 22t, Faktor 1.83), wobei die Betriebskosten um 33-41 Rp/km unterschiedlich ausfallen (Faktor 1.05-1.06) (Gautschi et al., 2017). Nachteile: Beschränkte Einsatzgebiete aufgrund des Fahrzeuggewichts.		
8.Leichtbauweise	Gewichtsreduktion durch Leichtbauweise von Lkw-Komponenten und Transporteinrichtungen (Gautschi et al., 2017).	Durch Gewichtsreduzierung kann die Nutzlast entsprechend erhöht und damit die Transportkosten/tkm reduziert werden.	Vorteile: Gewichtsreduktion von bis zu 7% (Gautschi et al., 2017) bzw. von 3-5 t pro Anhänger durch Leichtbauweise (Von Bodelschwingh, 2006). Nachteile: Der Verschleiss kann zunehmen und es können Anpassungen in der Logistikkette erforderlich werden (Gautschi et al., 2017).		
9.Trailer	Gewichtsmaximierung durch kombinierten (44t) und kranlosen Transport. Der Einsatz von "Trailern" ermöglicht eine 6-8 Fm höhere Ladekapazität gegenüber Kurzholzfahrzeugen. Einher gehen mehr Freiheiten bei der Arbeitszeitenplanung durch Entkoppeln von Zug- und Lastkomposition (Gabriel, 2012). Trailersysteme erfordern geringere Anschaffungskosten und erlauben eine "just in time" Lieferung (Bauer, 2006). Zudem ist der Wendekreis kleiner als bei anderen Transportsystemen (Kühmaier et al., 2007).	Durch das "Huckepack"-Verfahren betragen die Einsparung bei einem einjährigen Versuch 11%, das sind rund 2.5% der jährlich anfallenden Selbstkosten eines (40t) Lkw's (Gautschi et al., 2017). In D wird rund 46% der totalen Transportzeit für den Ladevorgang benötigt (Strunk, 2003), wobei gerade der Ladevorgang bei Trailern deutlich kürzer ausfallen dürfte.	Vorteile: Hohe Nutzlast (24 bis 26 t) ohne Kran und ohne Allrad (Von Bodelschwingh, 2006). Durch die Trailer der Firma Huttner Transportsysteme kann eine Nutzlast von 26t erzielt werden (www.huttner.de). Keine Lagerzeiten im Wald, geringe Stunden- und Anschaffungskosten, Entfall von Such- und Fehlfahrten (Kühmaier et al., 2007). Reduktion der Leerfahrten (Gabriel, 2012). Nachteile: Ausreichend grosse Strassen- und Sammelplatzverhältnisse erforderlich, Anfälligkeit der gesamten Logistikkette bei Ausfall eines Gliedes (Von Bodelschwingh, 2006). Höherer Planungsaufwand durch Kooperationen (Gabriel, 2012).		
10.Sattelaufleger	Gewichtsreduktion durch kranlose Anhänger, die bis zu drei verschiedene Kompartimente enthält (www.huttner.de).	Sattelaufleger sind ca. 50'000 € preiswerter als herkömmliche Langholzanhänger. Allerdings lohnt sich ein solches System erst ab 1'000 Fm Hiebsmasse (Strunk, 2003). Durch die Verwendung von Sattelaufleger ergibt sich bei einem Hiebsanfall von > 500 Fm ein Mehrlös von 2-6 Euro/Fm (Gronalt et al., 2005). Sattelaufleger weisen je nach Fahrzeugkonfiguration im Vergleich zu Kurzholzzügen (mit Kran/Allrad) über eine um 4-5 t höhere Nutzlast auf (Korten, 2009). Es existieren Anhänger, die eine Nutzlast von bis zu 28t aufweisen (www.huttner.de).	Vorteile: Durch die direkte Beladung durch den Forwarder entfällt die Zwischenlagerung am Waldweg. Günstigere Anschaffungskosten gegenüber einem traditionellen Langholzzug und möglichen Einsparnissen bei den Strassenverkehrsabgaben (muss in D nur für einen Sattelaufleger bezahlt werden, auch bei der Anschaffung von mehr als einem Stk.), hohe Nutzlast. Nachteile: Waldwege müssen breit genug und ausreichend befestigt sein und die Forststrassen müssen über eine mind. doppelte Strassenbreite aufweisen, damit zwei Lkw's kreuzen können (Strunk, 2003). Im Gebirge selten einsetzbar.		

Optimierungsansätze: Fahrzeugbau					
	OPTIMIERUNGSANSÄTZE	FINANZIELLE EINSPARNISSE	VOR-NACHTEILE	UMSETZBARKE IT	WIRKSAMKEIT
11. Abrollbehälter	Hakenlift betriebenes Containerfahrzeug, das insbesondere zum Transport von losen, schüttbaren Gütern geeignet ist (Strunk, 2003).	Situativ zu beurteilen.	Vorteile: Eignet sich für loses Medium und hat geringere Ansprüche an die Standortsplatzierung. In Kombination mit der Bahn einsetzbar (Kühmaier et al., 2007). Nachteile: Der Hakenliftaufbau verteuert das Fahrzeug auf rund 20'000 Euro und reduziert die Nutzungslast (12.5t-14.5t) erheblich. Notwendige Anschaffungskosten von 3'500-5'000 €/Stk. (vol. 36m ³) ohne MwSt. (Kühmaier et al., 2007).		
12. ACTS Rundholzflats	Abroll-Container-Transport-System: Ermöglicht den kombinierten Transport von Abrollcontainern von Lkw und Bahn (Strunk, 2003).	Ergeben sich durch die rel. hohe Nutzlast: bis zu 21.2t. Transportmöglichkeiten 6m/5m/4m/3m/ 2x3m (Gautschi et al., 2017).	Vorteile: Bahntaugliches Transportverfahren, dass keine Holzverladenen Güterbahnhöfe erfordert (Strunk, 2003). Nachteile: Der Wechsel zwischen Lkw und Bahn kann erheblich Zeit beanspruchen (Strunk, 2003). Kippvorgang dauert länger als bei anderen Kipper zudem sind die Anschaffungskosten im Bereich von 3'000-5'000 € zu erwähnen (Vaupel, 2015).		
13. Stapelbare Wechselbrücke (LogRac)	Wechselbrücke, deren Rungen, Stirn-, Rück- und Seitenwände eingeklappt werden und im flachen Zustand aufeinander gestapelt Platz sparend gelagert oder transportiert werden können (Strunk, 2003).	Kosten: ca. 4'900 €/Stk. (Strunk, 2003), bzw. 15'000 €/Stk. (Kühmaier et al., 2007).	Vorteile: Stapelbare, bahntaugliche Wechselbrücken mit einem Gewicht von 1'600 kg bis 1'800 kg ermöglichen den Transport bis zu acht Wechselbrücken pro Lkw. Nachteile: Keine Kombination mit Abrollbehältern, abstellen ohne Stützen nicht möglich (Strunk, 2003). Der Verschleiss dürfte höher ausfallen.		
14. Wechselbrücke/Wechselpriestche (ohne Kran)	Bahntaugliche Transportart, die von Fahrzeugen transportiert werden, die eine Höhenregulierung über Luftdruck erlauben (Strunk, 2003, www.gtsag.ch, www.eschtec.ch).	Die Ausstattung für einen entsprechenden Rahmen kostet 2.600 € (Strunk, 2003). Die Einsparnisse durch den Verzicht auf ein Hakenlift betragen rund 23.000 € (Kühmaier et al., 2007).	Vorteile: Rel. kostengünstig, höhere Nutzungslast. Nachteile: Erfordern ausreichende Platzverhältnisse und Tragfähigkeit am Sammelplatz. Keine Platzierung durch Hakenlift möglich (Strunk, 2003). Die erforderlichen Anforderungen der Wechselbrücken an die Strassenbedingungen können gerade im Gebirge schwer zu erfüllen sein. So gilt bspw. eine Mindeststrassenbreite von 3,5m als wichtige Voraussetzungen (Korten et al., 2012).		
15. Euroflat	Zweigeteiltes (Hakenlift-Lkw und Transport-Lkw) Transportverfahren das Abrollbehälter und Wechselbrücken verwendet. Die Euroflats werden vom Transport-Lkw am Sammelplatz per Luftdruck auf Stützen und vom Hakenlift-Lkw am Hiebsort ebenerdig abgestellt (Strunk, 2003).	Die Aufbaukosten für ein Hakenlift belaufen sich auf rund 23'000 €, diejenigen der Wechselbrücke lediglich auf 2'500 € (Strunk, 2003).	Vorteile: Euroflats tragen dazu bei Leerfahrten zu reduzieren (Strunk, 2003). Korten et al. (2012) nennen 10-14 Wechselbrücken als einen brauchbaren Kompromiss aus ausreichendem Puffer an leeren Wechselbrücken und möglichst geringem Platzbedarf. Nachteile: Es muss eine ausreichende Tragfähigkeit des Untergrundes gewährleistet sein, da sonst die Stützfüsse einsinken könnten. Hoher Organisationsaufwand zwischen Revierleiter, forstlichem Unternehmer und Transportunternehmer erforderlich (Korten et al., 2012).		

Optimierungsansätze: Fahrzeugbau					
	OPTIMIERUNGSANSÄTZE	FINANZIELLE EINSPARNISSE	VOR-NACHTEILE	UMSETZBARKE IT	WIRKSAMKEIT
16.Kombi-Euroflat	Zweigeteiltes (Hakenlift-Lkw und Transport-Lkw) Transportverfahren, das optional abdeckbare Wechselbrücken verwendet. Ermöglicht den Transport von Rundholz, als auch jener von Hackschnitzel (Strunk, 2003).	Das System Kombi-Euroflat kann zwar 500 kg weniger Rohholz transportieren als der Euroflat, dafür 1'000 kg mehr Hackschnitzel (Strunk, 2003).	Vorteile: Hohe Flexibilität. Nachteile: Für Rohholz weniger geeignet (ausser Übersee) (Strunk, 2003).		
17.Seitenlader	Wechselbrücken/Container können bei einer einfachen Strassenbreite auf- und abgesetzt werden (Zeitaufwand: 4 min) (Strunk, 2003).	-	Vorteile: Der direkte Verlad auf die Bahn möglich. Die Hebekapazität beträgt bis zu 33t. Wechselbrücken/Container können ohne Hakenlift auf- und abgesetzt werden. Nachteile: Grosser Platzbedarf (Strunk, 2003).		
18.Rollmaterial SBB	Die SBB Cargo besitzt für den Rohholz Transport fünf unterschiedliche Flachwagentypen und zwei offene Wagen für den Schüttguttransport. Weitere Wagentypen sind für das Stückgut und das Schüttgut vorhanden (Gautschi et al., 2017).	Ab 100km Transportdistanzen sind marktfähige Lösungen realisierbar (Gautschi et al., 2017). Identifikation und Ausbau der Umladestationen, insbesondere von kleinen dezentralen Umladestationen. Die Umladezeiten (Bahn-Lkw) müssen deutlich reduziert werden (Hochschule Rosenheim, 2018).	Vorteile: Die hohe Nutzlast (variiert zwischen 28t-65.5t), «ökologische» Transportart, konkurrenzstark ab Transportdistanzen > 120km bzw. 100km. Nach der Hochschule Rosenheim kommen insbesondere die ökologischen und ökologischen Vorteile zum Tragen. Nachteile: Immer weniger Güterbahnhöfe, unflexibel, für Kleinstaufträge ungeeignet, für Binnenverkehr kaum konkurrenzfähig (ausser Grossaufträge -> durch die Industrialisierung des Waldes“ und der besseren Planung könnten den Kunden attraktive Preise angeboten werden) (Gautschi et al., 2017).		
19.E-Lkw	Die schwedische Firma «Einride» will ab 2020 einen selbstgesteuerten elektrischen Lkw (T-log) zum Holztransport auf den öffentlichen Strassen einführen.	Ein funktionstüchtiger T-log dürfte die Rohholzlogistik, bzw. den Holztransport deutlich preiswerter gestalten (www.einride.tech/).	Vorteile: Keine Mineralölbesteuerung (eidg. Zollverwaltung, 2018), kein Fahrpersonal nötig, eine Nutzlast von 16t. Nachteile: Geringe Reichweite, noch nicht praxistauglich (www.einride.tech/).		
20.Verstellbare Führerkabine	Rundum verglaste, drehbare und höhenverstellbaren Fahrerkabine (www.doll.eu).	-	Vorteile: Höhere Arbeitssicherheit, mehr Arbeitskomfort und möglicherweise höhere Produktivität. Nachteile: Anschaffungskosten (www.doll.eu).		
Ergänzungen					

ORGANISATORISCHER ART

Optimierungsansätze: Reorganisation

	OPTIMIERUNGSANSÄTZE	FINANZIELLE EINSPARNISSE	VOR-NACHTEILE	UMSETZBARKEIT	WIRKSAMKEIT
21.Reorganisation (Informations- und-Kommunikationsaustausch)	<p>Durch die Kleinstrukturiertheit der Forstbranche in der Schweiz erfolgt die Kommunikation häufig über mehrere Schnittstellen und ist vor allem durch persönliche Kontakte und Ortstermine bestimmt, wobei die Vorteile moderner Informations- und Kommunikationstechnologien bei weitem nicht ausgeschöpft werden.</p> <p>Dies kann zu einer Verlangsamung der Warenströme und einem höheren administrativen Aufwand führen (Hecker, 1999).</p> <p>In einer Kooperationsform im Sinne der Supply Chain Management (SCM) ist es von grösser Bedeutung, dass sich die Unternehmen gegenseitig Einblicke gewähren (z.B. Lagerbestände, Planungsgrundlagen, Produktionskapazitäten etc.) und gemeinsame Ziele/Visionen anstreben (Von Bodelschwingh, 2006).</p> <p>Die räumlichen Distanzen zwischen Rundholz anbietern und Rundholznachfragern sollen durch den Aufbau und die Pflege von Kommunikationsverbindungen und die Bereitschaft sich in Logistignetzwerke einzubinden, überwunden werden (Schaffner, 2001).</p>	<p>Am Beispiel des überbetrieblichen Zusammenschlusses und Informationsaustausches mittels Technologien konnte eine Kostenreduktion im Umfang von 1,53 €/Fm erzielt werden (Hug, 2004).</p> <p>Dieses Konzept könnte auch auf die Rohholzlogistik übertragen werden. So könnte bspw. durch die Zusammenarbeit der Rohholzlogistik mit der Industrie optimale Logistikkonzepte erarbeitet werden, durch die Bereitstellung einer Holzaufkommens- und Verarbeitungskapazitätenprognose auf regionaler Ebene. Zudem ist ein regelmässiger Austausch zwischen den Akteuren der Holzbereitungskette nötig (Hochschule Rosenheim, 2018).</p> <p>Weitere Einsparungspotenziale sind durch längere Annahmezeiten in der Holzindustrie durch Zwei-Schichtbetrieb denkbar, um lange Standzeiten zu vermeiden (Rösler, 1999).</p>	<p>Vorteile: Durch den Aufbau einer betriebsübergreifenden zentralen Logistik-Plattform mit tagesaktuellen Informationen über den Status der einzelnen Poltern könnten die Warenströme beschleunigt werden (Von Bodelschwingh, 2006).</p> <p>Auch Amstutz et al. (2013) nennen den Aufbau einer regionalen Koordinationsstelle als Massnahme, um die Angebotsmengen zu bündeln und zentral zu vermarkten. Zudem sollen damit Interessenkonflikte ausgeglichen, langfristige Abmachungen unter den Partnern gefördert und die Transparenz der Märkte erhöht werden.</p> <p>Nachteile: Ohne Vertrauensbildung können viele Potentiale nicht ausgeschöpft werden. Die maximalen Kosteneinsparungen können nur durch einen hohen Organisationsaufwand erreicht werden.</p>		
Ergänzungen					



9.2 KOSTENSÄTZE

ABSCHREIBUNG- und ZINSKOSTEN	Variabel	Einheit	Gautschi et al. 2017	Tschopp LKW1	Tschopp LKW2	Tschopp LKW3	Schilliger LKW 1	Schilliger LKW 2	Schilliger LKW 3
Kaufpreis	I	CHF		315'000	340'000	260'000	230'000	180'000	220'000
Liquidationswert Anteil Anschaffungspreis	a	%		10%	10%	10%	10%	10%	10%
Liquidationswert	L			31'500	34'000	26'000	23'000	18'000	22'000
Nutzungsdauer = Lebensdauer = Abschreibungszeit	N	Jahre	10	9	9	9	9	9	9
Zinssatz	p	%		3%	3%	3%	3%	3%	3%
Abschreibungskosten	Ka	CHF		31'500	34'000	26'000	23'000	18'000	22'000
Zinskosten	Kz	CHF		5'198	5'610	4'290	3'795	2'970	3'630
SONSTIGE FIXKOSTEN									
Versicherungen		CHF	7'800	2'889	2'889	2'889	2'889	2'889	2'889
Verkehrssteuer (ohne LSVA)		CHF	3300	3'000	3'000	3'000	3'000	3'000	3'000
Sonstige Fixkosten	Kx	CHF		5'889	5'889	5'889	5'889	5'889	5'889
VARIABLE BETRIEBSKOSTEN									
Jährliche Betriebsstunden		Std.	1'500	2'000	2'000	2'000	2'000	2'000	2'000
Gefahrene Kilometer		km / J		80'000	80'000	80'000	80'000	80'000	80'000
Dieselpreis	T	Fr./l		1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Treibstoffverbr./ km		l / 100km	48-50l	58	55	40	40	40	49
Treibstoffverbr./ Jahr	TV	l / J		46'400	44'000	32'000	32'000	32'000	39'200
Treibstoffkosten		CHF		64'960	61'600	44'800	44'800	44'800	54'880
Maschinenunterhalt, Reparaturen, Reifen	-	CHF	15'000 inkl. Reparaturen; 13'200 für die Reifen/ Jahr	25'000	25'000	25'000	25'000	25'000	25'000
Variable Betriebskosten	Kb	CHF		89'960	86'600	69'800	69'800	69'800	79'880
Selbstkosten		CHF		132'546	132'099	105'979	102'484	96'659	111'399
VERWALTUNG, RISIKO und GEWINN									
Verwaltung		CHF		20'000	20'000	20'000	20'000	20'000	20'000
Risiko- und Gewinnzuschlag		%	Zins auf Umlaufkapital, 4.5% bzw. 2%	6%	6%	6%	6%	6%	6%
Risiko- und Gewinn		CHF	-	9'153	9'126	7'559	7'349	7'000	7'884
Gesamtkosten LKW				161'699	161'225	161'225	133'538	129'833	139'283
PERSONALKOSTEN									
Kostensatz Fahrer				55	55	55	55	55	55
Peronalkosten Fahrer		CHF		110'000	110'000	110'000	110'000	110'000	110'000
Gesamtkosten LKW + Fahrer		CHF/Jahr		271'699	271'225	271'225	243'538	239'833	249'283
Gesamtkosten LKW + Fahrer		CHF/Std.		136	136	136	122	120	125

9.3 MESSPROTOKOLL

Praxistest Rohholzlogistik Tschopp Holzindustrie AG

Dokumentationsprotokoll vom 24.04.2019 (erster Holztransport)

Fahrer (Name/Vorname): Brechbühl Jörg
 Strecke (von/bis): Buttisholz-Region Möhlin
 Tourenbezeichnung Runkeeper: BJ1

Anzahl der Holzpolter für 2 Fahren: 2 Polter

Bezeichnung der Sortimente: Rundholz

Gewicht der Sortimente: 22'300 kg

Geschätzte Menge der Sortimente: 2.8 m³

Pause 1 (von/bis): -

Pause 2 (von/bis): -

Pause 3 (von/bis): -

Unvorhergesehenes (Stau, Baustelle etc.): -

Position	Beschreibung der Positionen	Zeitdauer	Einheit
1.0	Vorbereitende Tätigkeiten für den Transport zum Holzpolter, z.B. Anhänger aufladen. (Rad steht)	6	[min]
1.1	Transport zum Holzpolter (Rad bewegt sich)	80	[min]
1.2	Vorbereitende Tätigkeiten um das Holz aufzuladen (Rad steht)		[min]
1.3	Holzauffladen, Bedienung des Krans (Rad steht).	Direkt-verlad	[min]
2.0	Vorbereitende Tätigkeiten für den Transport zum Treffpunkt mit Duss Daniel (Rad steht)	4	[min]
2.1	Transport zum Treffpunkt (Rad bewegt sich)	Direkt-verk.	[min]
2.2	Vorbereitende Tätigkeiten für den Holzverlad (Rad steht)	2	[min]
2.3	Holzverladen, Bedienung des Krans. (Rad steht)	25	[min]
3.0	Vorbereitende Tätigkeiten für den Transport zum Holzpolter, Selbstbeladung. (Rad steht)	5	[min]
3.1	Transport zum Holzpolter (Rad bewegt sich)	5	[min]
3.2	Vorbereitende Tätigkeiten um das Holz aufzuladen (Rad steht)	2	[min]
3.3	Holzauffladen, Bedienung des Krans. (Rad steht)	35	[min]
4.0	Vorbereitende Tätigkeiten für den Transport zum Werk (Rad steht)	10	[min]
4.1	Transport zum Werk (Rad bewegt sich)	80	[min]
4.2	Vorbereitende Tätigkeiten für den Holzverlad (Rad steht)	10	[min]
4.3	Holz abladen, Bedienung des Krans (Rad steht)	20	[min]

2 Fahren Abload

Unterschrift: Brechbühl Jörg



Ergänzungen zum technischen Schlussbericht

Die HAFL als Forschungspartner im WHFF-Projekt «MESSUNG UND BEWERTUNG VON OPTIMIERUNGEN IN DER ROHHOLZLOGISTIK» (REF-1011-85140) weist darauf hin, dass die Praxispartner einen grossen Einfluss auf die im Projekt durchgeführten Untersuchungen hatten. Die gewählten, genauer zu untersuchenden Varianten im Bereich der technischen Möglichkeiten und dem kombinierten Verkehr waren anschliessend stark von der Mitwirkung der Praxispartner und deren genauer Dokumentation abhängig. Durch diesen gewählten partizipativen Ansatz konnten organisatorische und IT-gestützte Lösungen, in denen mehr Innovationspotential steckt als in der Durchführung einer Logistikstudie mit verschiedenen technischen Varianten, nicht gegen den Willen der Praxispartner genauer untersucht und realisiert werden. Stattdessen wurde versucht, mit den von den Praxispartnern gewünschten Untersuchungen eine möglichst detaillierte und aufschlussgebende Untersuchung durchzuführen und die Varianten gegeneinander zu vergleichen.

Eine umfangreiche, statistisch gesicherte Datenbasis zu schaffen, das war während der Laufzeit des Projektes mit dem vorhandenen Projektbudget und der technischen Ausstattung der LKWs (insbesondere LKW-Kinematik) nicht möglich. Dennoch haben die Untersuchungen gezeigt, dass nicht nur die technische Ausstattung der LKWs, sondern auch die Distanzen der prozessrelevanten Be-, Um- und Entladepunkte einen Einfluss darauf haben können, welche Logistiklösung die kostengünstigste ist.

Mit einer breiteren Datenbasis könnte das im Bericht erwähnte excelbasierte Entscheidungstool geschaffen und die zur Verfügung stehenden Transportvarianten gegeneinander verglichen werden. Ein Entwurf eines solchen Tools wurde im Anschluss an das Projekt durch die HAFL entwickelt, jedoch blieb das Problem der statistisch nicht gesicherten Datengrundlage bestehen. In anschliessenden Abklärungen wurden Kinematik-Anbieter angefragt, ob die für das excelbasierte Entscheidungstool benötigten Eingaben durch ihre Systeme erfasst werden. Diese Abklärungen haben ergeben, dass dies herstellerabhängig möglich ist (einige Hersteller werden unterstützt, andere nicht). Allerdings besteht bei der Verbesserung der Datengrundlagen in der Rohholzlogistik erneut das Problem einer hohen Abhängigkeit von den Praxispartnern (Kinematikanbieter, Frächter), weswegen die HAFL sich nach diesen Abklärungen dazu entschieden hat, diese mögliche Fortführung des Projektes zur Schaffung genauerer Datengrundlagen und der Entwicklung eines Entscheidungstools bis auf weiteres nicht weiter zu verfolgen.