

SCHRIFTENREIHE
FREIBURGER FORSTLICHE FORSCHUNG

BAND 50

Michael Nill

**Rindenschäden durch Holzernte
in Baden-Württemberg
- Ursachen und Prognose -**

FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT
BADEN-WÜRTTEMBERG

ABTEILUNG WALDWACHSTUM

2011

Bibliographische Information Der Deutschen Bibliothek:

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über [://dnb.de](http://dnb.de) abrufbar

ISSN: 1436 - 0586

ISBN: 978-3-933548-51-1

Der Herausgeber:

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

Redaktionskomitee:

Prof. Dr. J. Huss

Dr. G. Kändler

Prof. Dr. W. Konold

PD Dr. K. v. Wilpert

Anfragen und Korrespondenz an:

Dr. Ulrich Kohnle, FVA Baden-Württemberg

Umschlaggestaltung:

Bernhard Kunkler Design, Freiburg

Druck:

Eigenverlag der FVA, Freiburg

Bestellung an:

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

Wonnhaldestraße 4

79100 Freiburg

Tel.: (07 61) 40 18-0 Fax: (07 61) 40 18-3 33

E-Mail: fva-bw@forst.bwl.de

Internet: www.fva-bw.de

Alle Rechte, insbesondere das Recht zur Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung vorbehalten.

Gedruckt auf 100 % chlorfrei gebleichtem Papier.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	PROBLEMSTELLUNG, BEDEUTUNG VON HOLZERNTEBEDINGTEN RINDENSCHÄDEN	1
1.1.1	Ausgangssituation	1
1.1.2	Problemabgrenzung	3
1.2	ZIELSTELLUNG UND ARBEITSHYPOTHESEN	4
1.3	STAND DES WISSENS	5
1.3.1	Einflussfaktoren auf die Entstehung von Rindenschäden	5
1.3.1.1	Kurz- und mittelfristig beeinflussbare Faktoren	11
1.3.1.2	Kurz- und mittelfristig nicht beeinflussbare Faktoren	26
1.3.2	Bisherige Vorschläge praktischer Maßnahmen zur Schadensreduzierung	30
1.3.3	Ausmaß holzerntebedingter Neuschäden in Inventur- und Fallstudien	31
1.3.4	Modellierung von Rindenschäden	32
1.3.5	Kombination mehrerer Datensätze	33
1.3.6	Quantifizierung von Einflussstärken	34
1.3.7	Einflussfaktoren auf wirtschaftliche Schäden	34
2	MATERIAL UND METHODEN	37
2.1	DATENBASIS	37
2.2	ABHÄNGIGE VARIABLE	38
2.3	BETRIEBSINVENTUREN (BI)	40
2.3.1	Einführung	40
2.3.2	Unabhängige Variablen	41
2.3.3	Konzept zur Erweiterung der Betriebsinventuren	42
2.4	PRAXISVERSUCH (SPV)	43
2.4.1	Einführung und Versuchskonzept	43
2.4.2	Detaillierte Arbeitsanweisungen zur Datenerhebung im Wald	48
2.4.3	Unabhängige Variablen	53
2.5	DATENAUSWERTUNG	53
2.5.1	Beschreibende Statistik	53
2.5.1.1	Univariate Zusammenhänge	54
2.5.1.2	Interaktionsterme	55
2.5.1.3	Korrelationen zwischen den unabhängigen Variablen	56
2.5.2	Schließende Statistik	56
2.5.3	Beurteilung der Modellgüte	60
2.5.4	Überstreuung (Overdispersion)	61
2.5.5	Modell-Evaluierung	62
2.5.6	Modellierungskonzept	63
2.5.7	Vergleich der Koeffizienten zwischen Inventur- und Versuchs-Modellen	68
2.5.8	Einflussstärke der unabhängigen Variablen	68

2.6	BERECHNUNGEN IM PRAXISVERSUCHSDATENSATZ	70
2.6.1	Modellierung des Brusthöhendurchmessers des ausscheidenden Bestands	70
2.6.2	Modellierung der Baumhöhen	71
2.6.3	Besonderheiten des Aufnahmedesigns im Praxisversuch und deren methodische Umsetzung	73
3	ERGEBNISSE	75
3.1	BESCHREIBENDE STATISTIK	75
3.1.1	Ausmaß hiebsbedingter Rindenschäden	75
3.1.2	Form univariater Zusammenhänge	76
3.1.3	Interaktionen	85
3.1.4	Korrelationen zwischen unabhängigen Variablen	86
3.2	MODELLIERUNG DER AUFTRETENSWAHRSCHEINLICHKEIT EINES RINDENSCHADENS	87
3.2.1	BI-Modelle zu bodennahen Rindenschäden	87
3.2.1.1	Gesamter Datensatz	87
3.2.1.1.1	Teilkollektiv	90
3.2.2	BI-Modell zu bodennahen und höher liegenden Rindenschäden (alle Rindenschäden)	92
3.2.3	Evaluierung der BI-Modelle	94
3.2.4	Kombination der BI-Modelle mit dem Datensatz des Praxisversuchs (BI+SPV-Modelle)	97
3.2.5	SPV-Modell für bodennahe Rindenschäden	103
3.2.6	SPV-Modell für alle Rindenschäden	104
3.3	VERGLEICH NORMIERTER KOEFFIZIENTEN UND CHANCENVERHÄLTNISSE UNABHÄNGIGER VARIABLEN	109
3.4	EINFLUSSSTÄRKE	111
3.5	ZWISCHENFAZIT: ERGEBNISSE DER MODELLIERUNG DER VERLETZUNGSWAHRSCHEINLICHKEIT	115
4	DISKUSSION	117
4.1	KOMBINATION DER DATENSÄTZE DER BETRIEBSINVENTUREN UND DES STÜTZPUNKTVERSUCHS	117
4.2	EINFLUSSFAKTOREN	119
4.2.1	Unerwartete Signifikanzbefunde zu einzelnen Einflussfaktoren	135
4.2.2	Möglichkeiten der Schadensverringerung	137
4.3	GEMISCHTE MODELLIERUNG	138
4.4	WEITERER FORSCHUNGSBEDARF	140
5	ZUSAMMENFASSUNG	143
6	ENGLISH SUMMARY	145
7	VERZEICHNISSE	147
7.1	LITERATURVERZEICHNIS	147
7.2	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	156

7.3 TABELLENVERZEICHNIS	158
7.4 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	160
8 DANKSAGUNG	161

5 ZUSAMMENFASSUNG

Infolge von Holzerntearbeiten können einzelne verbleibende Bäume eines Bestandes beschädigt werden. Meist wird dabei die Rinde verletzt. Diese Rindenschäden können zu Wundfäule und somit zu erheblichen ökonomischen Verlusten des Waldbesitzers führen. Inventurergebnisse legen offen, dass das Ausmaß von holzerntebedingten Rindenschäden in Baden-Württemberg beträchtlich ist: Etwa jeder vierte Baum ist beschädigt. Zur Reduzierung des hohen Schadniveaus ist es notwendig, während eines Hiebs weniger Rindenschäden zu verursachen.

Ziele der vorliegenden Arbeit sind es, in einer für den öffentlichen Wald in Baden-Württemberg repräsentativen Auswertung die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Entstehung von Rindenschäden zu identifizieren, deren Einflussstärke zu quantifizieren sowie Rindenschäden zu prognostizieren. Da die Erstellung eines sowohl repräsentativen als auch detaillierten Datensatzes im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich ist, werden zwei unabhängige Datensätze verwendet: Die permanenten Betriebsinventuren in Baden-Württemberg (BI) sowie ein in Zusammenarbeit mit den forsttechnischen Stützpunkten durchgeführter Praxisversuch (SPV). Beide Datensätze sind durch ein Stichprobendesign gekennzeichnet und weisen spezifische Vorteile auf. Um diese zu nutzen, werden die Datensätze kombiniert. Insgesamt wird für die Modellierung auf etwa 160.000 (BI) beziehungsweise 20.000 (SPV) Einzelbaumberechnungen zurückgegriffen, die hinsichtlich des Auftretens holzerntebedingter Rindenschäden charakterisiert sind. Neben der Modellierung aller beschädigten Bäume, wobei die Schadcharakteristika weitgehend unerheblich sind, wird zusätzlich das Auftreten bodennaher (Rücke-) Schäden gesondert modelliert.

Zur Kombination der beiden verwendeten Datensätze wird in einem ersten Schritt ein Modell auf Basis der Betriebsinventurdaten erstellt, das so genannte BI-Modell. Mit diesem Modell erfolgt für den SPV-Datensatz eine Vorausschätzung der Verletzungswahrscheinlichkeit der Bäume sowie der Schadanteile pro Hieb. Abweichungen zwischen geschätzten und beobachteten Schadanteilen werden als „Working Residuum“ im zweiten Schritt (BI+SPV-Modelle) dahingehend untersucht, inwieweit zusätzliche Informationen, die für den Praxisversuch verfügbar sind, zur Erklärung beitragen können. Die Datensätze werden somit anhand einer residuenbasierten Analyse kombiniert. Im dritten Schritt werden dann alle identifizierten, wesentlichen unabhängigen Variablen anhand des SPV-Datensatzes neu parametrisiert (SPV-Modell).

Die Modellierung der Verletzungswahrscheinlichkeit eines Baums erfolgt in den BI- und SPV-Modellen auf der Basis verallgemeinerter linearer gemischter Modelle (GLMM). Als Linkfunktion wird der LOGIT-Link verwendet. Als Modellgütekriterien dienen das Pseudo-BIC, die AUC, der Hosmer-Lemeshow-Test sowie ein Pseudo-R². Die Modellierung des annähernd normalverteilten Working Residuums im BI+SPV-Modell erfolgt anhand eines multiplen linearen Modells (LM). Um zusätzlich einzelbaum- und stichprobenpunktbezogene Variablen des Praxisversuchs einzubeziehen, wird wiederum ein GLMM auf der Datengrundlage des Praxisversuchs erstellt, das die hiebsbezogene Schätzung aus dem BI+SPV-Modell als Versatzwert integriert (erweitertes BI+SPV-Modell).

Die folgenden Faktoren nehmen, sortiert nach abnehmender Einflussstärke, Einfluss auf das untersuchte Schadereignis und sind auch für eine Prognose von Rindenschäden wichtig:

mittlere Vorrückentfernung, Abstand der Bäume zur Erschließungslinie, Entnahmeprozent, Baumart, Baum- beziehungsweise Bestandeshöhe, Arbeitsverfahren, Bestandesdichte und Stärke des ausscheidenden Bestands.

Die Faktoren Hangneigung, Bestandesstärke, Durchforstungsturnus, Nadelbaum- oder Laubbaum-dominierter Bestand sowie Abweichung zwischen Fäll- und Vorrückerichtung nehmen ebenfalls Einfluss auf die Entstehung von Rindenschäden, sind jedoch für eine Prognose von Rindenschäden nicht relevant.

Daraus lassen sich die folgenden konkreten Handlungsempfehlungen für Forstbetriebe ableiten:

1. Reduktion der Vorrückentfernung durch: Zufällen, Kurzholzaushaltung und Herstellung optimaler Erschließungslinienabstände;
2. Reduzierung der Eingriffsintensität / Erhöhung des Durchforstungsturnus;
3. Förderung verletzungsresistenter Baumarten;
4. Anwendung Z-Baumorientierter Auslesedurchforstungen;
5. Verwendung angepasster Arbeitsverfahren. Abhängig von der Erschließung sind Kurzholz- (Rückegasse) oder Rohsaftverfahren (Maschinenweg) zu bevorzugen.

Saftzeithiebe sind nicht schadträchtiger als Hiebe im Winter. Holzerntearbeiten können deshalb während des gesamten Jahres durchgeführt werden, was Forstbetrieben eine höhere Flexibilität verleiht. Die bisher unterlassene Schonung von Z-Bäumen muss dagegen Eingang in die forstliche Praxis finden.

Die kombinierten BI+SPV-Modelle weisen im Vergleich zu den BI- und SPV-Modellen die höchsten Übereinstimmungen mit den im SPV beobachteten Schadanteilen auf und sollten somit für eine Prognose von Rindenschäden verwendet werden. Dabei wird innerhalb eines Fehlerrahmens von ± 2 Prozentpunkten das Schadausmaß etwa jedes zweiten Hiebs korrekt vorhergesagt. Die restlichen Hiebe können auch mit den BI+SPV-Modellen nicht korrekt geschätzt werden, was bedeutet, dass es eine erhebliche unerklärte Reststreuung gibt. Mit Hilfe der Methode der gemischten Modellierung wird diese näher analysiert. Dabei zeigt sich, dass den so genannten „weichen“ Faktoren, wie beispielsweise Aspekten zum ausführenden Personal oder organisatorischen Strukturen des Forstbetriebs, ein erheblicher Einfluss auf das Ausmaß neu verursachter Rindenschäden zugesprochen werden kann und muss.

6 ENGLISH SUMMARY

As a consequence of timber harvesting, neighbouring trees of the residual stand may become damaged. In most cases the bark is injured. This bark damage is known to cause wound rot, and therefore incur losses for the forest owner. Inventory data of Baden-Württemberg show that the occurrence of bark damages caused by timber harvesting is considerably high: about every fourth tree is affected. In order to reduce this considerable level of damage it seems necessary to avoid new bark damages.

Objectives of this study are the identification of the most important driving factors for bark damages, the quantification of their impact, and the prediction of future damages. The results shall be representative for the public forest in Baden-Württemberg. Collecting data in one data set that is representative of the public forest in Baden-Württemberg while still containing sufficient detail for the study is not possible. Therefore two independent data sets were used: Inventory data of Baden-Württemberg (BI), as well as a field survey conducted in cooperation with the “forsttechnische Stützpunkte” (SPV). The design of both data sets is characterized by sample plots. In order to use the specific benefits of each, the data sets are combined. All in all, 160.000 (BI) respectively 20.000 (SPV) observations of individual trees are included in the modelling. While on the one hand damaged trees are modelled without looking at the characteristics of the damages, additional models are built to explain and predict skidding related damages which occur at ground-level.

In order to combine both data sets, a model based on the inventory data, the so called BI-model, is built in the first step. On the basis of this model, the probability of damage for each tree as well as the percentage of damage for each harvest operation are predicted and evaluated, using the data of the field survey (SPV). Discrepancy between estimated and observed percentages of damage is called „Working Residuum“, and is under examination in the second step of the modelling (BI+SPV-models). Additional information that is only available within the data set of the field survey is used to explain the observed discrepancies, respectively the Working Residuum. Thus the data sets are combined using residual-based analysis. In the third and last step, all identified and important independent variables are parameterized using the data of the field survey (SPV-Modell).

The applied statistical models for estimating the probability of bark damage in the BI- and SPV-models are based on generalized linear mixed models (GLMM). Therefore the LOGIT-Link is used. Criteria used to evaluate pattern quality are: Pseudo-BIC, AUC, Hosmer-Lemeshow Goodness-of-Fit Test and a Pseudo-R². The applied statistical model for estimating the approximately normally distributed Working Residuum is based on a multiple linear model (LM). In order to test additional information based on individual tree and sample plot level, a GLMM is applied, including the estimation of the BI+SPV-model via offset.

The following factors, sorted by decreasing impact, influence the probability of the occurrence of bark damages and are furthermore important for means of prediction: mean skidding distance, distance of trees to the skid trails, cutting intensity, tree species, tree respectively stand height, working techniques, stand density and dimension of extracted wood.

In contrast to these factors, the following factors also have a significant impact, but are not required for the prediction of bark damages: slope, dbh of average tree of stand, fre-

quency of thinning, stand dominated by broadleaved or coniferous trees as well as the difference between felling and skidding direction.

Interpreting these factors the following recommendations for prevention can be given:

1. Reduction of skidding distance by: directional felling toward skid trails, processing short-wood and establishing optimal skid trail distance;
2. Reduction of cutting intensity / increase of frequency of thinning;
3. Furtherance of damage resistant trees;
4. Implementation of future crop tree oriented selective thinnings;
5. Usage of proper working techniques. Depending on the type of skid trails, working techniques processing short-wood or bole should be preferred.

Harvesting in summer does not show any difference to harvesting in winter concerning bark damages. Therefore timber harvesting can be conducted throughout the year, which increases the flexibility of forest management. However, a more careful treatment of future crop trees should be established.

The best predictions of bark damages are obtained using the combined BI+SPV-models, compared to the BI- and SPV-models. It is therefore recommended to use these models in order to predict bark damages. Assuming that a discrepancy of 2 percentage points between predicted and observed proportions of damage is an accurate forecast, the combined models are able to predict almost every second harvest correctly. On the other hand this shows that the still unexplained residual variation is rather high. In order to analyse this residual variation, the applied statistical methods of mixed modelling can be used. There is clear evidence that so called “weak” factors, related for instance to aspects of the logging crew or organisational structures within the forest management, have a high impact on the occurrence of bark damages.