Forstliche Versuchs-
und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg

Nr. 2, August 2011, Jahrgang 15
ISSN 1614-7707

FVA-einblick

ForstBW

Baden-Württemberg

Inhalt

3 Aktuelles vom Eichenprozessionsspinner

7 Wie viel Kohlenstoff speichern Stadtbäume? – Eine Fallstudie am Beispiel der Stadt Karlsruhe

11 Ein unverzerrter Dichteschätzer für Prodans k-Baum-Stichprobe

16 Energieholznutzung und Holzascherecycling - Regionales Konzept für Oberschwaben

20 Wie nachhaltig ist der Forst-Holz-Sektor? Konzept zur Bewertung der Nachhaltigkeit des Forst-Holz-Sektors

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

mit dieser Ausgabe bieten wir Ihnen einen aktuellen Einblick in den Forschungsquerschnitt der FVA. So beginnt der neue FVA-einblick mit einem Artikel zur aktuellen Situation des Eichenprozessionsspinners. Neben der Befallssituation erläutern die Autoren die Gefahren sowohl für den Menschen als auch für Waldbestände anhand von Beobachtungsflächen bei Freiburg und im Landkreis Heilbronn. In den beiden weiteren Beiträgen geht es um das Kohlenstoffspeichervermögen von Stadtbäumen sowie um eine Gegenüberstellung der k-Baum-Stichprobe nach Prodan mit den Probekreisen fester Größe. Im vierten Beitrag wird ein neues Aschekreislaufkonzept vorgestellt. Dazu prüften und bewerteten drei Abteilungen der FVA zusammen mit der EnBW ein Verfahren, mit dem die Energieholzernte maximiert und die Holzasche wieder auf die Fläche zurückgeführt werden kann. Das Ergebnis zeigt deutlich, dass diese Art von Holzernte um einiges nachhaltiger ist, als die herkömmlichen Verfahren.
Der letzte Beitrag widmet sich ebenfalls der Nachhaltigkeit, wenn auch aus einer eher ganzheitlichen Betrachtung. In diesem durchleuchten die Autoren verschiedene Forst-Holz-Ketten, d. h. den Roh- und Werkstoff Holz von der Erzeugung im Wald bis zur Entsorgung. Dies ist eine Frage, die gerade im Vergleich mit anderen momentan am Markt noch stärker positionierten Materialien immer mehr an Bedeutung gewinnt.

Wir wünschen Ihnen eine interessante und informative Lektüre sowie einen schönen Sommer

Ihre FVA-einblick-Redaktion

Impressum

Herausgeber
Prof. Konstantin Frhr. von Teuffel, Direktor der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

Adresse
Wonnhaldestr. 4
D-79100 Freiburg
Telefon: (07 61) 40 18 – 0
Fax: (07 61) 40 18 – 3 33
fva-bw@forst.bwl.de
www.fva-bw.de

Redaktion
Alfons Bieling
Steffen Haas
Dr. Kaisu Makkonen-Spiecker
Jürgen Schäffer
Thomas Weidner

Bildherkunft
Thomas Weidner: Titel sowie Seite 15, 22 und 23

Alle anderen Abbildungen, Fotos und Tabellen stammen von den jeweiligen Autoren.

Auflage
1.700 Exemplare

Die Redaktion behält sich die sinnwahrende Kürzung, das Einsetzen von Titeln und Hervorhebungen vor. Die Beiträge müssen nicht unbedingt die Meinung des Herausgebers wiedergeben.

Freiburg i. Brsg., August 2011

Aktuelles vom Eichenprozessionsspinner

von Eiko Wagenhoff, Rainer Blum und Horst Delb

Seit der Mitte des zurückliegenden Jahrzehnts hat die Anzahl der Meldungen über einen Befall des Eichenprozessionsspinners (EPS) (*Thaumetopoea processionea*) an Eichen deutlich zugenommen. Davon sind nicht nur Bäume in öffentlichen und privaten Grünanlagen sondern auch an Waldrändern und in geschlossenen Beständen betroffen.

Bisher waren die Raupen des EPS hauptsächlich wegen der von ihnen ausgehenden Gesundheitsgefahren problematisch. Aber infolge des teilweise vollständigen Blattfraßes besteht mittlerweile auch für die Waldbäume eine zunehmende Gefährdung.

Die Abteilung Waldschutz hat deshalb das Monitoring intensiviert und in einem Eichenbestand eine Beobachtungsfläche zur Überwachung der natürlichen Populationsdynamik des EPS und der Vitalität der betroffenen Eichen eingerichtet.

Eichenprozessionsspinner

Der EPS ist ein Vertreter aus der Gruppe der Nachtfalter, der eine Generation pro Jahr hervorbringt. Die gesellig lebenden Raupen fressen auf verschiedenen Eichenarten (*Quercus ssp.*), in Mitteleuropa vorzugsweise auf Stiel- und Traubeneichen (*Q. robur* und *Q. petraea*). Ab dem dritten Larvenstadium bilden sie winzige Brennhaare aus, die beim Menschen und bei Tieren Juckreize und entzündliche Reaktionen der Haut und der Schleimhäute auslösen können.

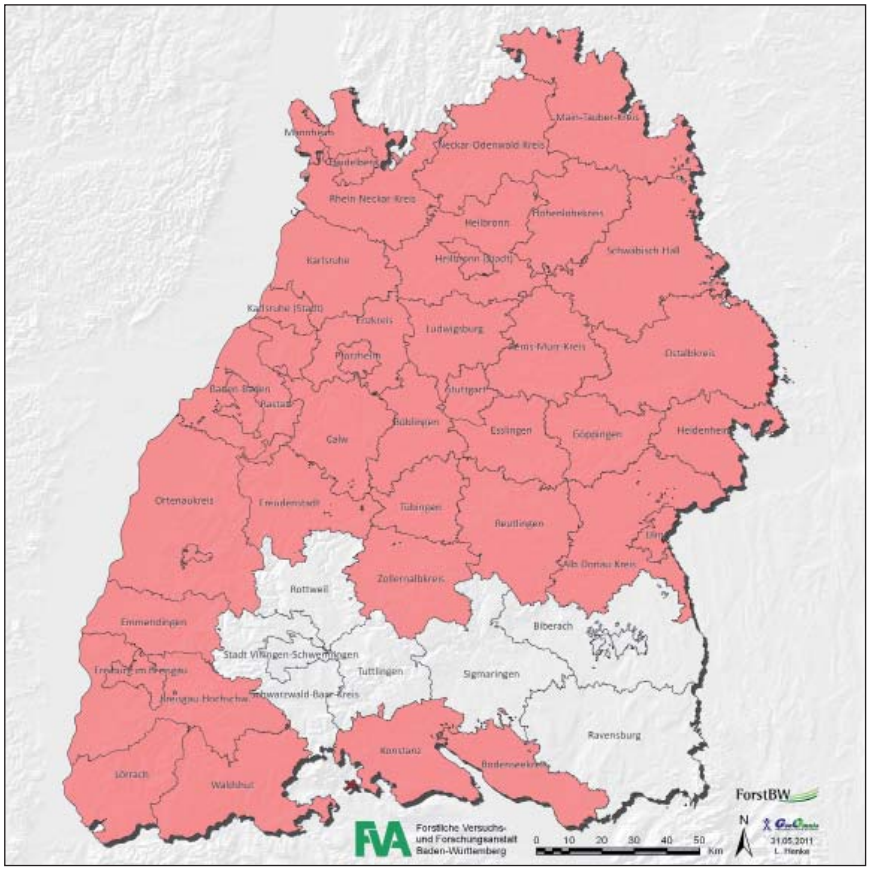


Abb. 1: Forstbezirke in Baden-Württemberg aus denen zwischen 1999 und 2010 mindestens einmal Befall mit dem EPS gemeldet wurde

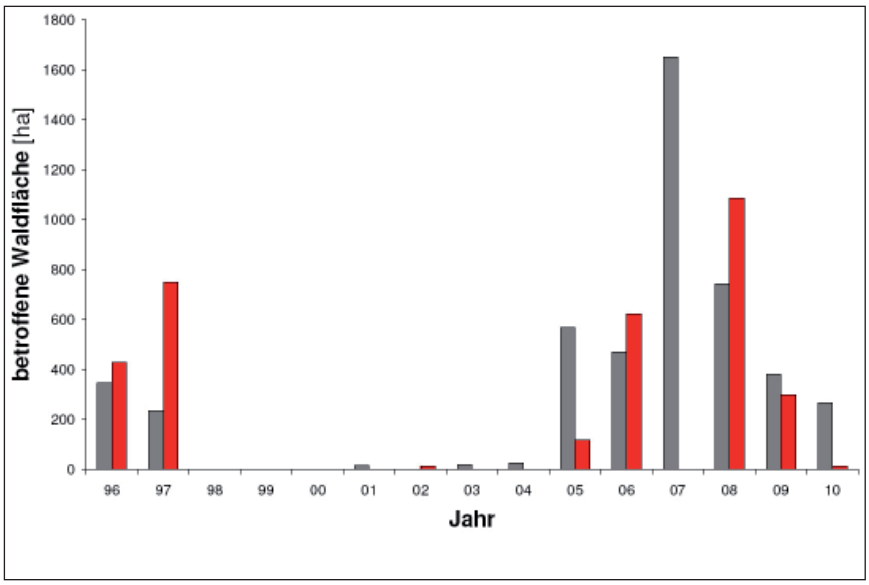


Abb. 2: Gemeldete Befallsfläche des EPS (grau) und mit Btk per Hubschrauber aufgrund von EPS-Befall behandelte Fläche (rot) in den Wäldern Baden-Württembergs (Quelle: Schädlingsmeldungsdatenbank, RP Freiburg)

Befallssituation und Gegenmaßnahmen im Wald

Das Vorkommen des EPS und das Auftreten lokaler Massenvermehrungen sind in Baden-Württemberg bereits aus dem 19. und der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts beschrieben [1]. Beginnend in den 1980er und vor allem in den 1990er Jahren hat er aufgrund der Gesundheitsgefahren wieder von sich reden gemacht. Seit der Mitte des zurückliegenden Jahrzehnts stieg die Anzahl der Anfragen und Befallsmeldungen allerdings noch einmal erheblich an. Neben der Zunahme an Meldungen konnte zeitgleich während einer Periode von Jahren mit trocken-warmer Frühjahrs- und Sommerwitterung eine Ausweitung des Befallsgebiets beobachtet werden [2]. Ein ähnlicher Trend wurde in anderen Bundesländern und im übrigen Mitteleuropa registriert. Die Befallsschwerpunkte konzentrieren sich in Baden-Württemberg auf die wärmeren Lagen in den Wuchsgebieten ‚Oberrheinisches Tiefland' und ‚Neckarland' in planarer bis kolliner Höhenlage (Abb. 1). Der Höhepunkt der aktuellen Massenvermehrung wurde landesweit im Jahr 2007 erreicht, begünstigt durch ein sehr warmes und trockenes Frühjahr (Abb. 2). In der Folge des Anstiegs der Populationsdichten des EPS seit der Mitte der 1990er Jahre wurden unter wissenschaftlicher Federführung der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) befallene Waldränder sowie Bestände mit starkem Besucherverkehr mit einem mittels Hubschrauber ausgebrachten Pflanzenschutzmittel behandelt (Abb. 2). Zum Einsatz kam hierbei der biologische Wirkstoff *Bacillus thuringiensis kurstaki* (Btk), der spätestens vor dem Erreichen des vierten Larvenstadiums ausgebracht werden muss. Dadurch hat sich die Situation in den betroffenen Beständen deutlich verbessert. Es kam zu keinen gesundheitlichen Beeinträchtigungen bei Menschen. Generell hat sich bis heute die Lage beim EPS aufgrund der kühleren und feuchteren Frühjahrswitterung in den Jahren 2008 und 2010 wieder etwas entspannt, wenngleich es dennoch seit 2008 lokal immer wieder zu größeren Raupenansammlungen gekommen ist und örtlich Gegenmaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung ergriffen werden mussten.

Abb. 3: Licht- und Kahlfraß an Eichen verursacht durch die Raupen des EPS

Standard-Monitoring bei Freiburg

Aufgrund des sprunghaften Anstiegs der Befallsmeldungen und Beratungsanfragen wurde die Überwachung des EPS intensiviert. Das Monitoring wird südlich von Freiburg an Alleebäumen im wöchentlichen Turnus durchgeführt [3]. Jahreszeitenabhängig werden unterschiedliche Parameter erfasst. Im Winter erfolgt die Suche nach frischen Eigelegen. Im Frühjahr werden der Schlupfzeitpunkt der Raupen und deren Entwicklung erfasst (Tab. 1) und gleichzeitig die Fraßintensität sowie der Raupenbefall dokumentiert. Nach dem Schlupf der Falter im Sommer liegt der Schwerpunkt auf der Überwachung des Flugs der männlichen Falter mit Pheromonfallen. Ziel des Monitorings ist es, den ungestörten Verlauf der Populationsdynamik des EPS abzubilden. Daraus kann eine Prognose für das Folgejahr abgeleitet werden. Über das Internet (www.fva-bw.de) werden Waldbesitzer und die Bevölkerung über den aktuellen Entwicklungsstand der Raupen, das Gefährdungspotential und mögliche Handlungsoptionen informiert. Diese Informationen werden von einem breiten Publikum sehr oft nachgefragt (1350 Zugriffe zwischen Januar 2010 und Mai 2011). Sie sind für die Wahl der richtigen Methode und Terminierung von Bekämpfungsmaßnahmen unerlässlich.

Bei den beobachteten Eichen handelt es sich um Solitär- oder Alleebäu-

Tab. 1: Wöchentlicher Entwicklungsverlauf des EPS im Großraum Freiburg von 2006 bis 2011. Hervorgehoben ist jeweils das erste Auftreten des L3-Stadiums, ab dem die Raupen Brennhaare ausbilden. Auffällig ist der frühe Raupenschlupf sowie die um ein bis drei Wochen gegenüber den Vorjahren beschleunigte Entwicklung im Jahr 2011

	Kalenderwoche																	
Jahr	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**
2006						L2	L2	L2	L3	L4	L4	L4	L5	L5	L6	P	P	P
2007					L2	L2	L3	L4	L4	L5	L5	L6	P	P	P	P	F	F
2008				L1	L1	L1	L1/L2	L3	L3/L4	L4/L5	L5	L5/L6	L5/L6	L5/L6	L6	P	P	P
2009				L1	L1/L2	L2/L3	L3	L4	L5	L5	L5/L6	L6	L6	L6/P	L6/P	P	P	F
2010			L1	L1	L1/L2	L2/L3	L2/L3	L3/L4	L3/L4	L4/L5	L5	L5/L6	L5/L6	L5/L6	L5/L6/P	P	P	F
2011		L1	L1/L2	L2/L3	L3	L3/L4	L4/L5	L5	L5/L6	L5/L6	L6	L6	L6	P	P	P	F	F

me bzw. Gehölzstreifen in der freien Feldflur. Neben vielen Vorteilen besteht ein gravierender Nachteil darin, dass die Befunde nur bedingt auf Waldbestände übertragen werden können. Aus diesem Grund wurde im Jahr 2009 in Absprache mit dem zuständigen Revierleiter eine Beobachtungsfläche im Stadtwald Brackenheim (Landkreis Heilbronn) eingerichtet.

Beobachtungsfläche im Landkreis Heilbronn

Bei der Beobachtungsfläche handelt es sich um ein bereits mehrere Jahre vom EPS befallenes, ca. 20 ha großes Waldgebiet bei Brackenheim, das von im Durchschnitt 163jährigen Trauben- und Stieleichen dominiert wird. Es befindet sich in Insellage inmitten von Rebanlagen in kolliner Höhenlage auf mäßig frischen bis grundfrischen Böden. Da dieser Wald kaum von Besuchern frequentiert wird, wurden bisher keine Gegenmaßnahmen in Erwägung gezogen.

Im Jahr 1993 kam es dort bereits zu einer Massenvermehrung des Schwammspinners, die zu einer Bekämpfungsmaßnahme geführt hat. Der EPS trat aber erst im Jahr 2005 nennenswert in Erscheinung und hat sich seitdem ausgehend vom Waldrand bis ins Bestandesinnere ausgebreitet. Seit dem Frühjahr 2009 wird auf dieser Fläche unter anderem die Intensität des Raupenfraßes, die Blattregeneration und der Mehltaubefall sowie allgemeine Vitalitätsweiser an 60 ausgewählten Eichen im Baumholzalter überwacht.

Erste Befunde

Seit Beginn der systematischen Erfassung im Frühjahr 2009 bewegt sich die Dichte der lokalen Population des EPS auf einem unverändert hohen Niveau. Verursacht durch den Raupenfraß kam es in den zurückliegenden drei Beobachtungsperioden mehr oder weniger großflächig zu Licht- und Kahlfraß an den bonitierten Eichen (Abb. 3) verbunden mit Abwanderungsbewegungen der Raupen (Abb. 4). Andere Vertreter der Eichenfraßgesellschaft (Frostspanner, Eichenwickler oder Schwammspinner) traten nur sehr vereinzelt auf. Sie hatten auf das Fraßgeschehen keinen merklichen Einfluss. Einzelne Bäume wurden bereits zum dritten Mal in Folge vollständig entlaubt. Die Blattverluste konnten in den meisten Fällen durch Regenerationstriebe weitestgehend kompensiert werden. In den zurück liegenden beiden Jahren wurden diese jedoch teilweise in unterschiedlich starker Intensität vom Mehltau befallen. Die Kronen einiger Eichen weisen deutliche Strukturdefizite durch einen erhöhten Totastanteil und Feinreisigverluste auf, was auf eine verminderte Vitalität der Eichen schließen lässt. Zwei der 60 bonitierten Eichen sind im Jahr 2010 abgestorben, zwei weitere sind abgängig. Bislang gibt es keine Anzeichen für einen Befall durch den Zweifleckigen Eichenprachtkäfer (*Agrilus biguttatus*), der diese Schwächung der Eichen oft auszunutzen vermag [4]. Allerdings wurden im Juli 2011 Fruchtkörper des Spindeligen Rüblings (*Collybia fusipes*) entdeckt (Abb. 5), einem parasitischen Fäulepilz, der die Wurzelstöcke geschwächter Rot- und Stieleichen befallen und in der Folge zu Kronenverlichtung und Wurzelbrüchen führen kann [5]. Ob ein ursächlicher Zusammenhang mit dem EPS-Befall besteht, kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht beantwortet werden. Welchen Einfluss der EPS-Fraß auf die Vitalitätsverluste und das Absterben der Bäume hat, ob es zur weiteren Besiedlung mit Sekundärschädlingen kommt, inwieweit die diesjährigen Regenerati-

Abb. 4: Eine von einer kahl gefressenen Eiche über den Waldboden abwandernde Prozession des EPS.

Abb. 5: Spindeliger Rübling am Wurzelanlauf einer Stieleiche

onstriebe vom Eichen-Mehltau befallen werden und wie sich die Vitalität der Eichen entwickeln wird, sind Fragestellungen der aktuellen Untersuchungen.

Eine eingehende Untersuchung der Eigelege im vergangenen Winter ergab eine sehr hohe Schlupfrate der Raupen und einen sehr geringen Parasitierungsgrad der Eier. Eine auffällige Reduktion der Eigelegegröße im Winter 2010/11 (Abb. 6) ließ auf eine reduzierte Fitness der Weibchen schließen und auf den Beginn der Retrogradation hoffen, die jedoch aufgrund der nach wie vor hohen Eigelegedichte und der günstigen Witterungsbedingungen in diesem Frühjahr nicht eingetreten ist. Ob es in diesem Jahr durch den bereits Ende Mai großflächig eingetretenen Kahlfraß und dem damit verbundenen Nahrungsmangel in Kombination mit einem hohen Parasitierungsgrad der Raupen – Mitte Juni 2011 konnte bei 70% der eingesammelten Raupen eine Belegung mit Raupenfliegeneiern (Abb. 7) festgestellt werden [6] – zu einer Entspannung der Befallsituation oder einem Zusammenbruch der lokalen Population kommen wird, kann erst bei der Eigelegesuche im kommenden Winter zuverlässig abgeschätzt werden.

Ausblick

Das trockenwarme Frühjahr 2011 stellte bisher optimale Entwicklungsbedingungen für die Raupen des EPS dar. Daher ist damit zu rechnen, dass es an Orten, an denen keine Gegenmaßnahmen ergriffen wurden, zu einem Anstieg der Populationsdichte gekommen ist. Vor dem Hintergrund des sich ändernden Klimas, das sehr wahrscheinlich zu einer Verbesserung der Entwicklungsbedingungen führen wird, ist anzunehmen, dass sich der EPS im Verbreitungsgebiet der Eiche in Baden-Württemberg als Dauerschädling weiter etablieren wird. Neben den damit verbundenen Gesundheitsrisiken für den Menschen sollten in Zukunft auch die Auswirkungen eines mehrjährigen Befalls auf die Vitalität der Eichen in Gebieten mit Massenvermehrungen berücksichtigt werden.

Das oben aufgeführte Beispiel bei Brackenheim zeigt, dass der EPS nicht nur an Solitärbäumen und Waldrändern in Erscheinung tritt, sondern auch im Innern von Waldbeständen mehrere Jahre in Folge in hohen Dichten auftreten kann. Aus Franken wird aktuell von einzelbaumweisem Absterben von Eichen in der Folge mehrjährigen Fraßes oft auch in Kombination mit anderen Vertretern der Eichenfraßgesellschaft und dem Auftreten von Eichen-Mehltau auf den Regenerationstrieben berichtet [5]. Vor diesem Hintergrund sollte die Befallssituation und –entwicklung in vom EPS befallenen Beständen sorgfältig überwacht werden.

Literatur

[1] Ebert, G. (1994): Die Schmetterlinge Baden-Württembergs. Band 4: Nachtfalter II. Eugen Ulmer, Stuttgart

[2] Delb, H. & Veit, H. (2006): Der Eichenprozessionsspinner: Kleine Ursache – Große Wirkung! FVA-einblick 2/2006: 4-5

[3] Wagenhoff, E. & Veit, H. (2011): Five years of continuous Thaumetopoea processionea monitoring: Tracing population dynamics in an arable landscape of South-Western Germany. Gesunde Pflanzen 63: 51-61

[4] Delb, H. (2002): Gefährdung von Eichenbeständen durch den Zweipunkt-Eichenprachtkäfer (Agrilus biguttatus [F.]) in Rheinland-Pfalz und Gegenmaßnahmen. Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtschaft 390: 237-238

[5] Metzler, B., Halsdorf, M. & Franke, D. (2010): Befallsbedingungen für Wurzelfäule bei Rot-Eiche. AFZ/Der Wald 65: 26-28

[6] Tschorsnig, H.-P. (2011): Persönliche Mitteilung am 15.6.2011

[7] Lobinger, G., Zeitler, J., Strasser, L. & Petercord, R. (2011): Die Waldschutzsituation in Bayern 2010. AFZ/Der Wald 65: 12-15

Abb. 6: Eine Raupe des EPS belegt mit dem Ei einer Raupenfliege

Eiko Wagenhoff
FVA, Abteilung Waldschutz
Tel. (07 61) 40 18 - 2 26
eiko.wagenhoff@forst.bwl.de

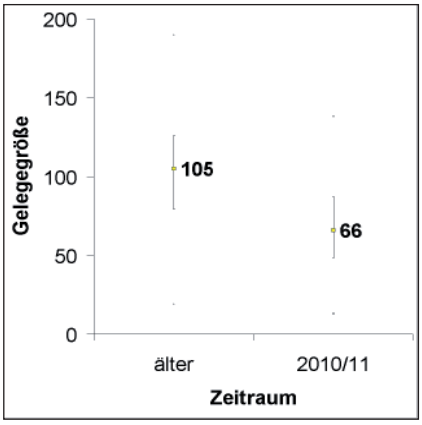


Abb. 7: Mittlere Eizahl eines EPS-Geleges ermittelt im Winter 2010/11 für frische (n = 224) und alte Eigelege aus den Vorjahren (n = 227)

Wie viel Kohlenstoff speichern Stadtbäume? – Eine Fallstudie am Beispiel der Stadt Karlsruhe

von Gerald Kändler, Petra Adler und Anke Hellbach

Dass Bäume in Städten als Schattenspender und Luftfilter eine wichtige Rolle zur Verbesserung des innerstädtischen Klimas spielen, ist allgemein bekannt. Bislang weiß man jedoch wenig darüber, wie viel Kohlenstoff in Stadtbaumbeständen gespeichert wird, zumindest ist die Größe und Dynamik dieses Kohlenstoffspeichers in Deutschland bisher nicht systematisch untersucht worden. Die so genannte Treibhausgasberichterstattung im Rahmen des Kyoto-Protokolls verpflichtet die Unterzeichnerstaaten alle Kohlenstoffspeicher zu erfassen. Hier spielen die Wälder eine wichtige Rolle, aber auch Baumbestände außerhalb des Waldes sollten in die Berichte einbezogen werden.

Der vorliegende Beitrag stellt das Konzept und die Ergebnisse eines Forschungsvorhabens vor, welches sich mit der Erstellung eines Kohlenstoffinventars für Baumbestände in städtischen Räumen befasst. Wichtigstes Ziel des Vorhabens ist es, methodische Grundlagen für die Erstellung zu entwickeln und zu erproben. Die Aufgabenstellung umfasst:

- die Erhebung von Biomassedaten für Stadtbäume,
- die Herleitung von Biomassefunktionen, sowie
- die Entwicklung eines fernerkundungsgestützten Inventurverfahrens.

Diese Arbeiten erfolgten in Form einer Fallstudie in der Stadt Karlsruhe und einer Anwendung und Verfahrensoptimierung am Beispiel des Stadtteils Wiehre der Stadt Freiburg.

Baumkataster

Im ersten Schritt wurde anhand des Baumkatasters der Stadt Karlsruhe ein Überblick über den Baumbestand, insbesondere die vorkommenden Baumarten, gewonnen. Laut Baumkataster kommen 203 Arten (darunter auch

Abb. 1: Stadtbaum in Karlsruhe

Abb. 2: Baumkletterer bei der Biomasseerhebung mittels RBS-Verfahren

Zuchtformen) vor, allerdings machen 14 Baumarten ca. 80% des im Kataster erfassten Baumbestands aus. Von diesen 14 Arten sind 9 einheimische Baumarten (3 Ahornarten, Stieleiche, Winterlinde, Vogelkirsche, Hainbuche, Esche und Birke), welche etwa 60% des Baumbestands bestimmen. Das Baumkataster ist jedoch kein vollständiges Inventar, da nur die Bäume erfasst sind, die im öffentlichen Raum der Verkehrssicherungspflicht unterliegen.

Biomasseermittlung durch Baumkletterer

Grundlage für die Ermittlung des von Bäumen gespeicherten Kohlenstoffvorrats ist die Bestimmung der Biomasse (als Trockensubstanz), welche bei Bäumen zu rund 50% aus Kohlenstoff besteht. Die Biomasse von Bäumen ist nur mit einem sehr hohen Aufwand zu messen. Mit Hilfe von Biomassefunktionen, welche auf relativ einfach zu messenden Hilfsgrößen basieren, lässt sich die Biomasse einfacher abschätzen. Allerdings müssen Biomassefunktionen für Stadtbäume erst aufgestellt werden. Um Biomassefunktionen zu kalibrieren, benötigt man Einzelbaumbiomassen, wobei man sich aus messtechnischen Gründen meistens auf die oberirdische Biomasse beschränkt. In der Regel wird die Einzelbaumbiomasse durch Probefällungen, also zerstörerisch, ermittelt. Diese Vorgehensweise ist bei Stadtbäumen jedoch nicht realisierbar. Mit Hilfe einer speziellen Messtechnik wurden daher stehende Bäume beprobt, um deren Biomasse berechnen zu können (Abb. 2). Für diese Bäume wurden außer den üblichen Messgrößen wie Brusthöhendurchmesser und Höhe auch photogrammetrische Kronenparameter gemessen, um Biomassefunktionen mit im Luftbild messbaren Prädiktoren (d.h. für die Vorhersage geeigneten Variablen) kalibrieren zu können. Als beste Prädiktoren erwiesen sich die Kronenschirmfläche und die Baumhöhe.

Luftbildgestützte Stichprobenerhebung

Um den Gesamtvorrat an Biomasse bzw. Kohlenstoff zu ermitteln, der im Gesamtbestand der Bäume im Stadtgebiet enthalten ist, muss die Gesamtzahl der Bäume ab einer bestimmten

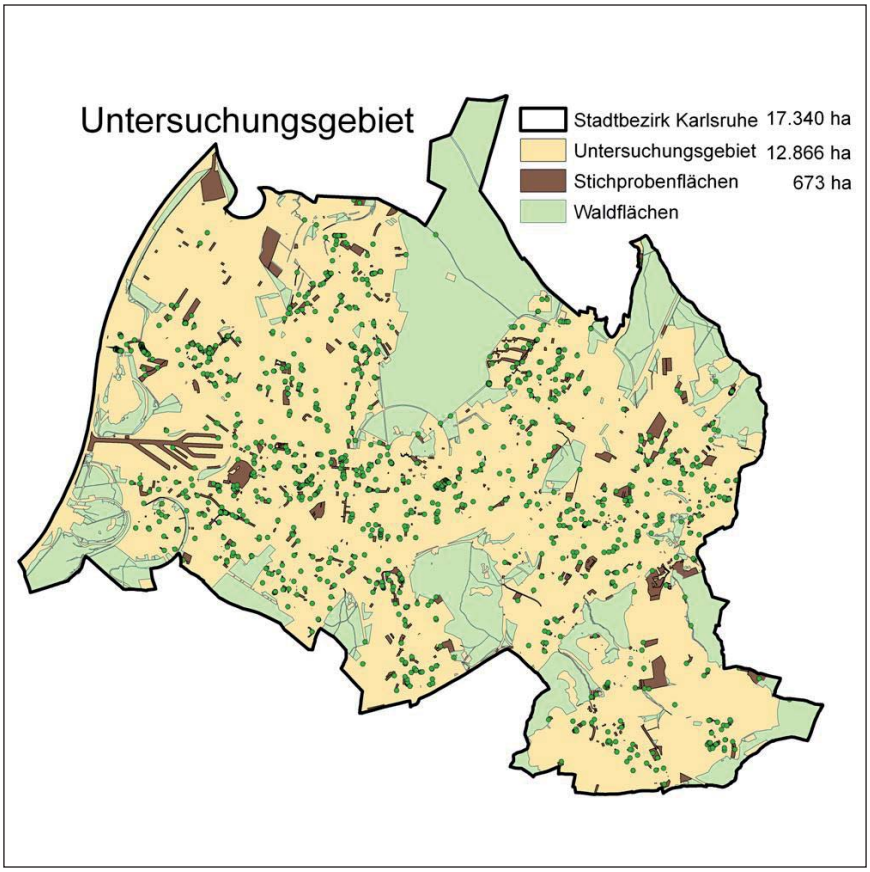


Abb. 3: Untersuchungsgebiet Karlsruhe mit Stichprobeflächen und –bäume

Abb. 4: Beispiel von gezählten Baumindividuen

Dimension sowie deren mittlere Biomasse geschätzt werden. Da die Bäume in Städten im Unterschied zum Wald nicht flächendeckend, sondern unregelmäßig geklumpt oder in linienförmiger Anordnung entlang von Straßen vorkommen, sind Stichprobenkonzepte, die sich im Wald bewährt haben, wenig geeignet.

Daher wurden als Stichprobeneinheiten topographisch-kartografische Geometrien verwendet, welche in einem geografischen Informationssystem (GIS) verfügbar sind. Diese Geometrien werden als Elemente betrachtet, in denen Bäume vorkommen. Das Stadtgebiet von Karlsruhe umfasst ohne die Waldflächen eine Fläche von 12.866 ha, die aus insgesamt 23.786 geometrischen Einheiten besteht. Diese Einheiten lassen sich verschiedenen Landnutzungskategorien zuordnen und können für die Hochrechnung poststratifiziert werden (Abb. 3). Aus dieser „Gesamtpopulation“ wurde eine einfache Zufallsstichprobe gezogen, die 1.279 Elemente umfasst, in denen insgesamt 21.266 Bäume in Orthophotos gezählt wurden (Abb. 4).

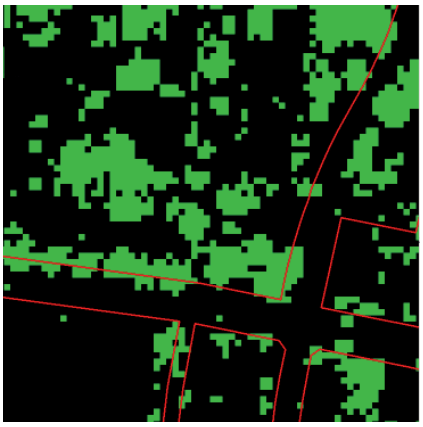


Abb. 5: Beispiel klassifizierter potentieller Baumfläche

Abschätzung der Gesamtbaumzahl

Zusätzlich wurde durch die Kombination eines aus Luftbildern berechneten Vegetationsindexes mit einem aus Laserscannerdaten abgeleiteten Oberflächenmodell für das Stadtgebiet eine potenzielle Baumfläche berechnet (Abb. 5).

Diese Baumfläche wurde für die Hochrechnung in einem Regressionsschätzer als Hilfsgröße verwendet und ergab die genaueste Schätzung der Baumzahl: Demnach umfasst der Baumbestand im Stadtgebiet von Karlsruhe (außerhalb des Waldes) mit einer Fläche von 12.866 ha ca. 394.700 (± 5.605) Individuen (ca. 30,7 Bäume je Hektar Stadtfläche ohne Wald).

Ermittlung der Baumbiomasse aus photogrammetrischen Messungen

In einem weiteren Schritt wurden aus den Stichprobeneinheiten zufällig 1.277 Einzelbäume ausgewählt und im Luftbildstereomodell vermessen, um deren Biomasse mittels der Biomasseschätzfunktion zu bestimmen. Anhand dieser Stichprobe wurde eine mittlere oberirdische Biomasse von 834,5 kg (± 41,6) je Baum geschätzt. Aus Gesamtzahl und mittlerer Biomasse wurde ein oberirdischer Gesamtbiomassevorrat der Stadtbäume von 329.400 t (± 17.080) errechnet, was einem Kohlenstoffvorrat von ca. 164.700 t entspricht. Auf die Stadtfläche (ohne Wald) bezogen, ergibt sich ein Vorrat von 25,6 t/ha Biomasse bzw. 12,8 t/ha Kohlenstoff (Tab. 1).

Tab. 1: Geschätzte Gesamtzahlen der Bäume im Wald (4.474 ha) und im Stadtgebiet (12.866 ha) auf Gemarkung Karlsruhe (Gesamtfläche 17.340 ha)

	Anzahl Bäume		
	Insgesamt	pro Kopf (Einwohner: 292.000)	je ha Stadtfläche
Stadtwald	982.304	3,4	56,6
Staatswald	1.238.247	4,2	71,4
Stadtbäume	**394.718**	1,4	22,8
Summe	2.615.269	9,0	150,8

Ermittlung der Baumbiomasse im Wald

Zusätzlich wurde auf der Grundlage der Betriebsinventur von 2006 der gesamte oberirdische Biomassevorrat ermittelt, der in der Waldfläche von knapp 4.500 ha im Stadtgebiet stockt: Der gesamte oberirdische Biomassevorrat im Wald erreicht ca. 790.000 t (± 10.600). Stadt- und Waldbäume zusammen haben somit einen Gesamtvorrat von ca. 1,12 Mio. t (± 20.103) Biomasse bzw.

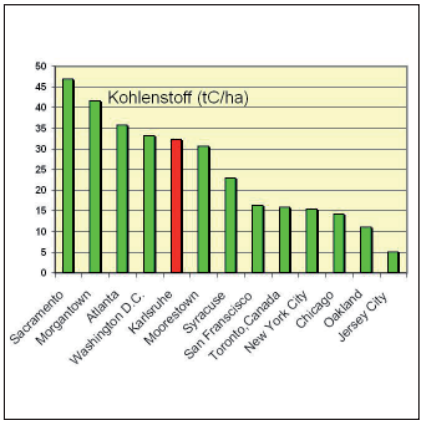


Abb. 6: Mittlere Kohlenstoffvorräte (der Wald- und Stadtbäume) t je ha für die Stadt Karlsruhe (rote Säule) im Vergleich mit nordamerikanischen Städten. Bei den amerikanischen Städten ist teilweise der unterirdische Vorrat mit einbezogen, dieser fehlt bei Karlsruhe.

Tab. 2: Geschätzte Biomassevorräte im Wald (4.474 ha) und im Stadtgebiet (12.866 ha) auf Gemarkung Karlsruhe (Gesamtfläche 17.340 ha)

	Biomasse-vorrat [t]	*Fehler*	*Fehler %*	Kohlenstoff-Vorrat [t]	Kohlenstoff-Vorrat [t] je Hektar (ges. Stadt)
Stadtwald	389.428	*8.981*	*2,3%*	194.714	11,2
Staatswald	400.276	*5.634*	*1,4%*	200.138	11,5
Stadtbäume	**329.381**	***17.080***	***5,2%***	**164.691**	9,5
Summe	1.119.085	*20.103*	*1,8%*	559.542	32,3

rund 560.000 t Kohlenstoff, je Hektar Stadtfläche ergibt sich ein mittlerer Kohlenstoffvorrat von 32,3 t für Wald- und Stadtbäume zusammen (Tab. 2).

Vergleich mit anderen Städten

Der Vergleich mit nordamerikanischen Großstädten zeigt, dass der mittlere Kohlenstoffvorrat (Wald- und Stadtbäume) in Karlsruhe eher überdurchschnittlich ist (Abb. 6). Ein Vergleich mit Städten in Deutschland ist aufgrund der Datenlage bisher nicht möglich.

Verfahrensoptimierung

Die am Beispiel der Stadt Karlsruhe entwickelte Methodik basiert auf einem relativ einfachen Stichprobendesign, welches im Wesentlichen Fernerkundungsdaten nutzt. Die Erhebung von Biomassewerten für Stadtbäume stellt einen bislang einmaligen Datenbestand dar. Um die Praktikabilität und Übertragbarkeit der Verfahren zu überprüfen, wurde es auf den Stadtteil Wiehre der Stadt Freiburg angewandt.

Hierfür wurde die anhand der Karlsruher Daten ermittelten Biomassefunktionen verwendet. Das Inventurverfahren wurde als Ergebnis der Erfahrungen aus Karlsruhe optimiert. Die Stichprobenauswahl erfolgte unverändert. Die Baumzählung wurde in Stereobildern und nicht auf Orthophotos durchgeführt. Dadurch konnte für jeden gezählten Baum auch die Höhe ermittelt werden. Die Auswahl der photogrammetrisch zu vermessenen Einzelbäume erfolgte systematisch als jeder 10. Baum direkt bei der Baumzählung. Als Kronenparameter wurde lediglich zusätzlich die Kronenschirmfläche gemessen. So konnte der Aufwand für die photogrammetrischen Vermessungen verringert werden.

Zurzeit wird ein Verfahren konzipiert, welches eine näherungsweise Abschätzung des Zuwachses ermöglicht. Zu diesem Zweck wurden auch Stammscheiben analysiert.

Dr. Gerald Kändler
FVA, Abt. Biometrie und Informatik
Tel. (07 61) 40 18 - 3 64
gerald.kaendler@forst.bwl.de

Abb. 7: Stadt Karlsruhe

Ein unverzerrter Dichteschätzer für Prodans k-Baum-Stichprobe

von Arne Nothdurft

Im Jahre 1968 schlug Michael Prodan mit der k-Baum-Stichprobe ein rationelles Verfahren zur Waldinventur vor, bei dem an jedem Stichprobenpunkt genau k Bäume gemessen werden.

k-Baum-Stichprobe vs. Probekreise fester Größe

Die Stichprobenfläche ist dabei definiert durch die Fläche des Kreises mit einem Radius, der dem Abstand zum k-ten Baum entspricht (Abb. 1). Der von Prodan verwendete Dichteschätzer für die Stammzahl je ha lautet: k-0,5 dividiert durch die Stichprobenfläche; d. h. der k-te Baum wird nur zur Hälfte gezählt. Prodan empfahl die Verwendung von k=6 Bäumen.

Bei der k-Baum-Stichprobe ist die Größe der Probefläche vorher nicht bekannt, sondern variabel; denn sie ist allein vom Abstand zum k-ten Baum abhängig. Da an jeder Stichprobe die gleiche Anzahl von k Bäumen gemessen wird, ist der Aufwand für die Messungen im Walde für jede Stichprobe nahezu gleich und damit im voraus leicht zu kalkulieren. Werden dagegen Probeflächen mit festem Radius angelegt, müssen in stammzahlreichen Jungbeständen oft sehr viele Bäume gemessen werden. Bei den k-Baum-Stichproben werden neben dem Abstand zum k-ten Baum lediglich die Brusthöhendurchmesser (Bhd) der k Bäume gemessen. Im Gegensatz dazu werden auf Probekreisen fester Größe die Koordinaten aller Bäume erfasst; und weil der Stichprobenpunkt unterirdisch dauerhaft markiert wird, kann bei einer Folgeaufnahme nach 10 Jahren genau rekonstruiert werden,

- welche Bäume genutzt wurden,
- welche Bäume neu eingewachsen sind und
- welchen Zuwachs die überlebenden Bäume geleistet haben.

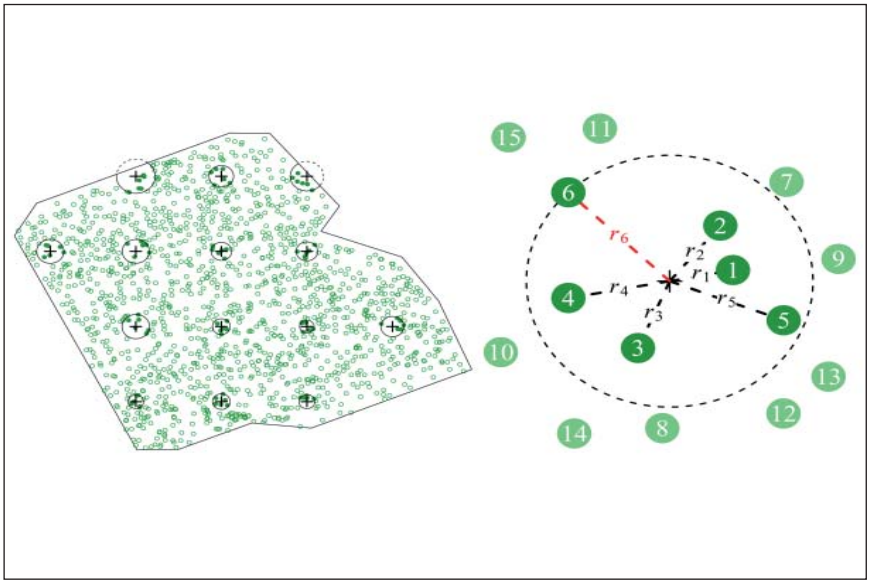


Abb. 1: Betriebsinventur mit der k-Baum-Stichprobe. Die Stichprobenpunkte werden in regelmäßigen Rastern angelegt (links). An jeder k-Baum-Stichprobe werden genau k (hier k=6) gemessen. Der Probekreis ist definiert durch den Abstand zum k-ten Baum (rechts).

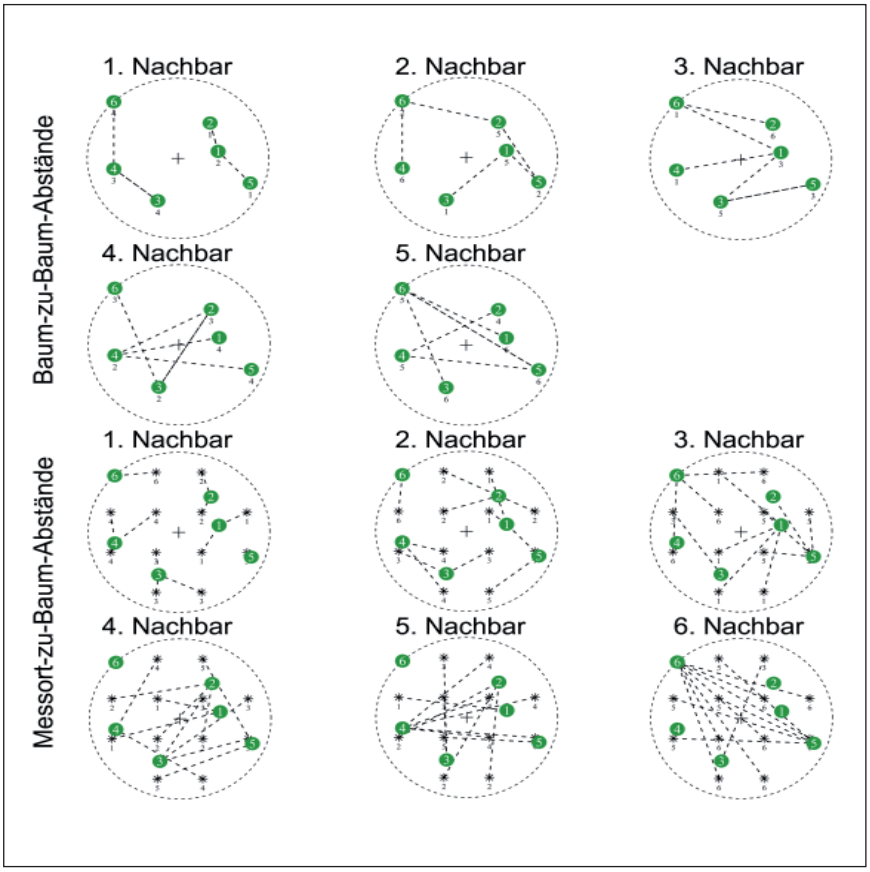


Abb. 2: Durch den Computer gemessene Baum-zu-Baum-Abstände und Messort-zu-Baum-Abstände.

Während die Aufnahmen der k-Baum-Stichproben vollständig digital mit einer elektronischen Kluppe geschehen, werden die umfangreicheren Messungen auf Probeflächen fester Größe in Papierformularen festgehalten.

Bei Betriebsinventuren in Baden-Württemberg werden an den dauerhaft markierten Stichprobenpunkten drei Probekreise mit den festen Radien von 3, 6 und 12 m angelegt. Die Bäume mit einem Bhd größer als oder gleich 30 cm werden auf dem Probekreis mit Radius 12 m gemessen. Wenn ein Baum einen Bhd aufweist, der kleiner als 30 cm und größer oder gleich 15 cm ist, wird der Baum nur erfasst, wenn seine Distanz nicht weiter als 6 m vom Stichprobenpunkt entfernt ist. Die Bäume mit einem Bhd kleiner als 15 cm und größer oder gleich 10 cm werden nur gemessen, wenn sie nicht weiter als 3 m entfernt sind. Die durchschnittlichen Stückkosten einer dauerhaft vermarkten Stichprobe mit den drei beschriebenen Probekreisradien betrugen in den letzten Jahren 32 Euro. Durch die Arbeitserleichterungen bei der k-Baum-Stichprobe betrugen deren Stückkosten lediglich 12 Euro. Wegen der geringen Stückkosten wird die k-Baum-Stichprobe in Baden-Württemberg häufig zur Inventur kleinerer Forstbetriebe angewendet.

Mit der k-Baum-Stichprobe ist jedoch ein wesentlicher Nachteil verbunden: Es gibt keine sogenannten unverzerrten Schätzer für die wichtigsten ertragskundlichen Größen wie die Stammzahl, die Grundfläche und den Vorrat pro ha. Das bedeutet, auch wenn man in einem Wald sehr viele k-Baum-Stichproben anlegen würde, würde man trotzdem nicht die wahre Stammzahl, die wahre Grundfläche und den wahren Vorrat berechnen können. Für die Waldinventurverfahren mit festen Probekreisflächen existieren jedoch unverzerrte Schätzer. Bei diesen Schätzern wird die Tatsache ausgenutzt, dass die Wahrscheinlichkeit für jeden Baum bekannt ist, dass er von einem Probekreis eingeschlossen wird. Man mag sich dieses wie folgt veranschaulichen: Ein bestimmter Baum wird immer dann gemessen, wenn seine Distanz zu einem zufälligen Stichprobenort nicht weiter entfernt ist als der feste Radius des Probekreises. Alle denkbaren zufälligen Stichprobenorte, mit deren Probeflächen der Baum erfasst würde, liegen auf einem Kreis in dessen Zentrum der Baum steht, und welcher einen Radius hat, der so groß ist wie der feste Probekreisradius. Dieser Kreis wird Einschlusszone genannt. Die Einschlusswahrscheinlichkeit eines Baumes ist die Größe der Einschlusszone (bzw. des festen Probekreises) dividiert durch die Waldfläche. Bei der k-Baum-Stichprobe sind die Einschlusszonen aber nicht konstant, und die Einschlusswahrscheinlichkeiten sind deshalb nicht für alle Bäume im Voraus bekannt. Bei der k-Baum-Stichprobe sind die Einschlusszonen vielmehr von der Konfiguration der räumlichen Baumverteilung abhängig, und diese unterliegt i. d. R. einem unbekannten Zufallsprozess.

Dichteschätzung durch Rekonstruktion des Baumverteilungsmusters

Im Folgenden wird ein neuer Dichteschätzer für die k-Baum-Stichprobe beschrieben, der sich in umfangreichen Simulationsstudien als nahezu erwartungstreu (unverzerrt) erwies. Für diesen Dichteschätzer müssen die Abstände und die horizontalen Winkel aller k Bäume gemessen werden. Anhand der beobachteten Baumabstände auf den kleinen k-Baum-Stichprobenflächen wird das räumliche Baumverteilungsmuster des Waldes realistisch rekonstruiert. Es wird angenommen, dass die Baumdichte der Rekonstruktion ein Schätzer für die wahre Stammzahl je ha des Waldes ist.

Wenn an einer k-Baum-Stichprobe

die Koordinaten aller Bäume gemessen worden sind, kann der Computer weitere umfangreiche Messungen durchführen, die zur Beschreibung des Baummusters dienen. Dabei werden die Distanzen von allen k Bäumen zu ihren nächsten Nachbarbäumen gemessen. Außerdem misst der Computer nicht nur die Distanzen zum nächsten Nachbarn, sondern auch zum zweiten, dritten, usw. Nachbarn. Es hat sich gezeigt, dass neben dem gemessenen Baum-zu-Baum-Abstand auch der Abstand von einem beliebigen Ort zum nächsten Nachbarn eine wichtige Rolle spielt. Dazu installiert der Computer auf jeder der k-Baum-Stichprobenflächen im gleichförmigen Abstand 12 zusätzliche Messorte. Von jedem dieser Messorte wird der Abstand zum nächsten Baum gemessen und wie bei den Baum-zu-Baum-Abständen wird auch der Abstand zu den Nachbarn höherer Ordnung gemessen. Bei den Baum-zu-Baum-Abständen beträgt die höchste mögliche Ordnung der Nachbarschaft k-1, d. h. von jedem der k Bäume können die Abstände maximal bis zum (k-1)-ten Nachbarn gemessen werden. Ausgehend von den Messorten können die Distanzen höchstens bis zum Nachbarn der k-ten Ordnung gemessen werden (Abb. 2).

Von den Abstandsmessungen kann der Computer mehrere Verteilungsfunktionen berechnen, nämlich k-1 Verteilungsfunktionen für die Baum-zu-Baum-Abstandsmessungen und k Verteilungsfunktionen für die Messort-zu-Baum-Abstände. Die empirischen kumulativen Verteilungsfunktionen schätzen die Wahrscheinlichkeit, einen Nachbar-Baum bestimmter Ordnung innerhalb einer gegebenen Distanz zu finden, ausgehend von einem Baum (Baum-zu-Baum-Abstände) bzw. ausgehend von einem beliebigen Ort (Messort-zu-Baum-Abstände).

In einem Simulationsfenster wird dann ein Baummuster rekonstruiert, das die gleichen statistischen Eigenschaften aufweist, wie sie auf den kleinen k-Baum-Stichprobenflächen ausschnittsweise beobachtet werden können. Das Simulationsfenster ist aus gleich großen Quadraten zusammengesetzt, deren Kantenlänge so groß ist wie der zweifache maximale Radius der k-Baum-Stichprobenflächen. In jedes dieser Quadrate wird vom Computer eine k-Baum-Stichprobe mit den gemessenen relativen Baum-Koordinaten positioniert. Auf den Lücken zwischen den originalen k-Baum-Stichprobenflächen werden an zufälligen Orten neue Bäume platziert. Das gesamte Baummuster verändert der Computer nun in zahlreichen Iterationen. In jeder Iteration wird entweder ein existierender Baum gelöscht oder es wird ein neuer Baum an einem zufälligen Ort neu hinzugefügt. Diese Veränderungen des Baummusters geschehen nur auf den Lücken zwischen den originalen k-Baum-Stichprobenflächen, denn das wahre Muster ist auf den k-Baum-Stichprobenflächen ausschnittsweise bekannt und muss dort nicht verändert werden (Abb. 3).

Nach jeder Veränderung des Baummusters durch eine Iteration legt der Computer virtuelle k-Baum-Stichproben im Simulationsfenster an. Diese virtuellen Stichproben werden in einem feinen Netz angelegt, sodass die Flächen der virtuellen k-Baum-Stichproben das Simulationsfenster vollständig abdecken. An den virtuellen k-Baum-Stichproben werden auf gleiche Weise wie auf den originalen Stichproben die Baum-zu-Baum-Abstände und die Messort-zu-Baum-Abstände gemessen und deren korrespondierende Verteilungsfunktionen kalkuliert. Eine Rekonstruktion wird letztendlich als gelungen erachtet, wenn sich nach zahlreichen iterativen Veränderungen des Baummusters im Simulationsfenster kaum mehr Unterschiede zwischen den Abstands-Ver-

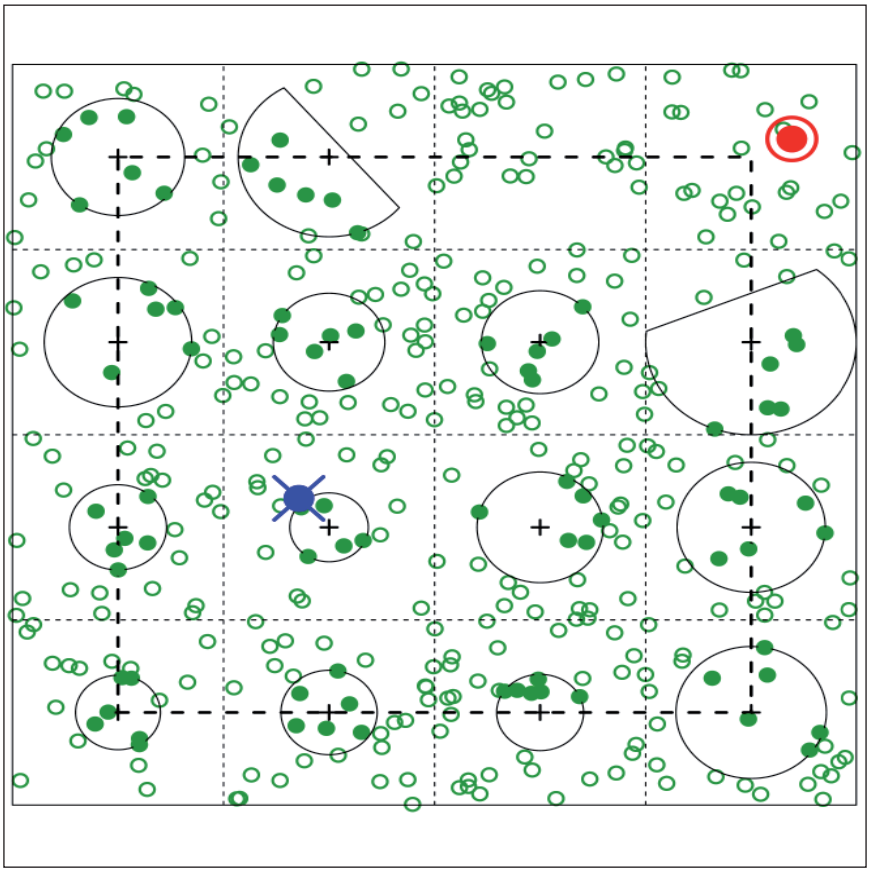


Abb. 3: Simulationsfenster mit den übertragenen originalen Baum-Koordinaten (Punkte). Das Baummuster wird auf den Lücken zwischen den originalen 6-Baum-Stichprobenflächen iterativ verändert. Es werden dabei abwechselnd neue Bäume hinzugefügt (blauer Punkt) und existierende Bäume gelöscht (roter Punkt).

teilungsfunktionen von den originalen Stichproben und den Verteilungsfunktionen von virtuellen Stichproben beobachten lassen (Abb. 4). Entlang der Iterationskette werden nur solche Veränderungen des Baummusters akzeptiert, die zu einer Angleichung der Verteilungsfunktionen von den virtuellen Stichproben an jene von den originalen Stichproben führen. Wenn eine Veränderung des Musters nicht zu einer Verbesserung in diesem Sinne führen sollte, wird das Muster wieder zur letzten Konfiguration zurückgesetzt.

Für den neuen rekonstruktionsbasierten Dichteschätzer (RDS) zählt der Computer die Anzahl der Bäume, die sich im endgültigen Zustand der Rekonstruktion befinden, und dividiert diese durch die Fläche des Simulationsfensters.

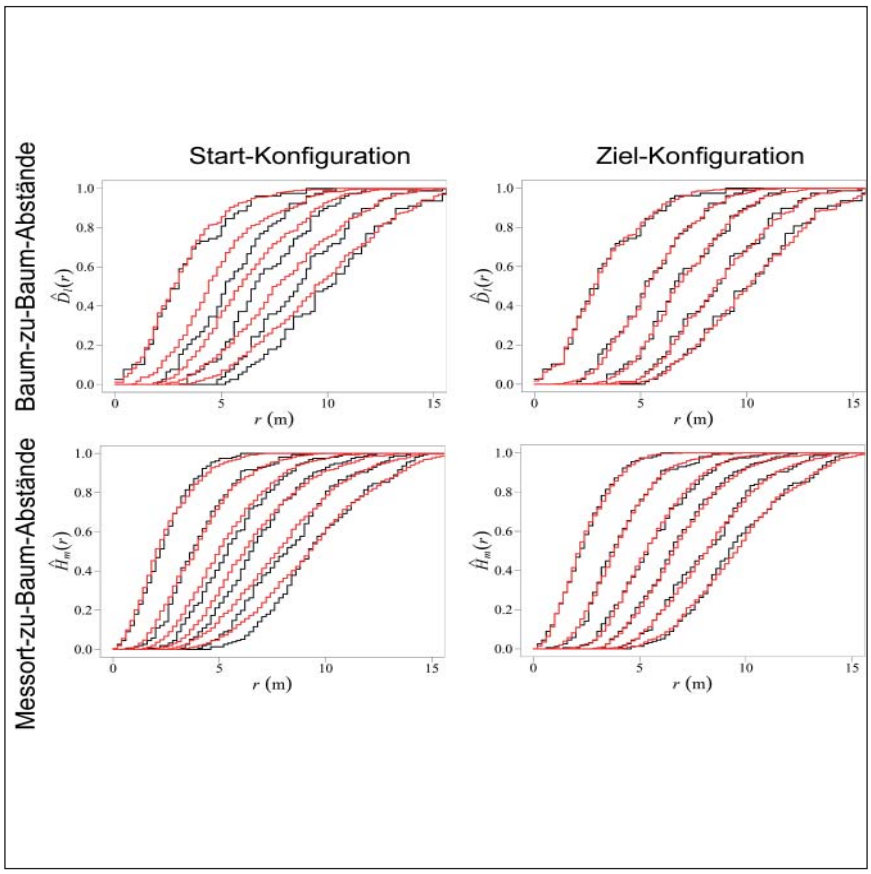


Abb. 4: Verteilungsfunktionen der Baum-zu-Baum-Abstände (oben) und der Messort-zu-Baum-Abstände (unten) von den originalen k-Baum-Stichproben (schwarze Kurven) und von den virtuellen k-Baum-Stichproben (rote Kurven) in der Startkonfiguration des Simulationsfensters (links) und in der endgültigen Rekonstruktion (rechts).

Leistungstest

Das Verhalten des neuen auf Baummusterrekonstruktionen basierenden Dichteschätzer wurde für k=6 anhand von Stichprobensimulationen in realen Stammverteilungsmustern untersucht. Als Testmuster wurden sechs vollständig gemessene Stammverteilungspläne aus der Datenbank des STIPSI-Programms herangezogen, das Walter SCHÖPFER und Joachim HRADETZKY an der FVA entwickelten. Die Testbestände hatten eine unterschiedliche Stammzahl je ha und umfassten verschiedene Verteilungstypen wie Klumpung, Regelmäßigkeit und Zufälligkeit. Zusätzlich wurde der Schätzer an dem sehr stark geklumpten Baummuster eines *Pinus palustris* Bestands erprobt.

Die Orte der k-Baum-Stichproben wurden in Anlehnung an die gängige Praxis der Betriebsinventur in Form von systematischen Rastern angelegt. Wie von Prodan empfohlen, wurde eine Intensität von 4 Stichproben pro ha gewählt, so dass die Rasterzellen 50 m Kantenlänge in Nord-Süd- und Ost-West- Richtung aufwiesen. In jedem der Testbestände wurden nacheinander insgesamt 250 k-Baum-Stichproben-Raster ausgelegt, jeweils mit einem neuen zufälligen Startpunkt. Mit jeder der 250 systematischen Stichproben wurde eine Baummusterrekonstruktion angefertigt, anhand derer die Baumdichte geschätzt wurde.

Der neue Dichteschätzer ist dann erwartungstreu, wenn der Mittelwert der 250 Dichteschätzungen der wahren Stammzahl pro ha entspricht. Die Abweichung des mittleren Schätzwertes von dem wahren Wert entspricht dem sogenannten Bias, das die Verzerrung darstellt. Während der RDS in dem stark geklumpten *Pinus palustris* Baummuster keine Probleme hatte, war der Bias für das regelmäßige Baumverteilungsmuster von STIPSI 21 am größten. Tatsächlich konnte aber mit dem neuen RDS in allen Testbeständen eine maximale mittlere Abweichung von weniger als 2 % erzielt werden. Der Dichteschätzer von Prodan zeigte hingegen Verzerrungen in einem sehr ernst zu nehmenden Ausmaß, mindestens 5 % und bis zu 14 %. Für einen Statistiker ist neben dem Bias die Wurzel der mittleren Abweichungsquadrate (engl. RMSE für root mean square error) die wichtigste Kenngröße für die Leistungsbeurteilung. Der RMSE des neuen auf Baummusterrekonstruktionen basierenden Dichteschätzers war in allen Fällen kleiner als der RMSE von Prodans Schätzer.

Anwendung in der Praxis

Der auf Baummusterrekonstruktionen basierende Dichteschätzer wurde bei der Betriebsinventur in Stetten am kalten Markt eingesetzt. Der RDS erfordert, dass die Baumkoordinaten mehrerer k-Baum-Stichproben in

ein gemeinsames Simulationsfenster übersetzt werden. Deshalb wurden die insgesamt 439 Stichproben annähernd gleichmäßig auf 18 Simulationseinheiten aufgeteilt, von denen jede einzelne durch eine bestimmte Kombination des Waldentwicklungstyps, des Behandlungstyps und einem Bereich von Altersstufen definiert ist. Tatsächlich wurde bisher lediglich ein neuer nahezu unverzerrter Dichteschätzer vorgestellt. Mit dem Betriebsinventurprogramm werden jedoch noch viele weitere Attribute geschätzt wie Grundfläche, Vorrat, Bonitäten und Stammschäden. Für die praktische Anwendung musste der RDS daher zu einem generellen Schätzer für die wichtigsten waldwachstumskundlichen Kennwerte erweitert werden. Für die Betriebsinventur in dem Testgebiet wurde das Verfahren der 6-Baum-Stichprobe stark modifiziert. Zur Reduktion des Arbeitsaufwands wurde eine obere Grenze für den Suchradius in Höhe von 12 m eingeführt. Das bedeutete, dass Bäume mit einem Abstand von mehr als 12 m zum Stichprobenpunkt nicht gemessen wurden. Damit war die Anzahl gemessener Bäume (k) nicht mehr konstant für alle Stichproben; es konnte sogar passieren, dass an einer Stichprobe kein einziger Baum aufgenommen wurde. Mit dem neuen generellen Schätzer wurde der gesamte Derbholzvorrat in dem Testgebiet um 11,8 % geringer geschätzt als mit Prodans klassischem Schätzer.

Offene Fragen

Bisher wurde lediglich nachgewiesen, dass der rekonstruktionsbasierte Dichteschätzer näherungsweise unverzerrt schätzt. Momentan wird daher auch der erweiterte Schätzer für allgemeine waldwachstumskundliche Größen einer umfangreichen Leistungsbeurteilung unterzogen.

Für Stichprobenverfahren wird neben dem sogenannten Punktschätzer, z. B. für die zu erwartende Stammzahl je ha, noch ein Bereichsschätzer benötigt. Wenn man eine Betriebsinventur mit der gleichen Rasterweite, aber mit anderen zufälligen Startpunkten, oft wiederholen würde, schätzte der Bereichsschätzer jedes Mal um die Punktschätzung herum ein Prognoseintervall, der auch Vertrauensintervall genannt wird. Die Breite des Vertrauensintervalls ist in der Regel von der Anzahl der Stichproben (dem Stichprobenumfang) und von einer vorgegebenen Fehlerrate abhängig. Der Bereichsschätzer ist dann exakt, wenn der prozentuale Anteil der Wiederholungen, bei denen der wahre Wert der Zielgröße (z. B. die wahre Stammzahl je ha) außerhalb der Vertrauensbereiche liegt, genauso groß ist wie die vorgegebene Fehlerrate. Die Entwicklung eines exakten Bereichsschätzers ist hier durch die Tatsache erschwert, dass die traditionellen Schätzer für systematische Stichproben generell nicht unverzerrt sind.

Abb. 5: Aufnahmesituation im Wald

Arne Nothdurft
FVA, Abt. Biometrie und Informatik
Tel. (07 61) 40 18 - 1 95
arne.nothdurft@forst.bwl.de

Energieholznutzung und Holzascherecycling Regionales Konzept für Oberschwaben

von Klaus v.Wilpert, Bernhard Bösch, Peter Bastian, Dietmar Zirlewagen, Frieder Hepperle, Stefan Holzmann, Heike Puhlmann, Jürgen Schäffer, Gerald Kändler und Udo Hans Sauter

Waldholz ist der größte der Energieerzeugung zugängliche Holz-Biomassepool, der durch entsprechende Nutzungsstrategien in seiner Größenordnung erheblich variiert werden kann. Die Projektregion Südwestdeutsches Alpenvorland ist eine der produktivsten Regionen Baden-Württembergs, so dass das Waldholzpotential dort eine relevante Größenordnung einnimmt.

Ziele der Untersuchung

Derzeit wird aufgrund der Nachfrage und auch aus Forstschutzgründen (Borkenkäfergefahr) in Oberschwaben schon eine nennenswerte Energieholzmenge mobilisiert (Abb. 1), allerdings nicht im Rahmen eines optimierten und bis hin zur Mineralstoffrückführung durchorganisierten Konzepts.

Die FVA verfolgte in einer durch EnBW und ForstBW geförderten Untersuchung folgende Fragestellungen bzw. Ziele:

- Wie hoch ist das zusätzliche und/oder alternativ zur konventionellen Holzernte im Wald mobilisierbare Biomassepotential für das Wuchsgebiet?
- Wie wirken sich unterschiedliche Nutzungsstrategien auf die Erntemasse, den Stoffhaushalt und den Erlös aus?
- Darüber hinaus sollten die technischen und organisatorisch/rechtlichen Aspekte für die Etablierung eines Holzbiomasse/Holzasche Kreislaufkonzepts zur Rückführung der in den Aschen enthaltenen Mineralstoffe untersucht und dessen Machbarkeit im großtechnischen Praxismaßstab getestet werden.

Methodik der Holzaufkommensprognose und Stoffbilanzierung

Mittels des Programms WEHAM (Waldentwicklung und Holzaufkommensmodellierung) wurden an allen in der Projektregion liegenden Trakten der Bundeswaldinventur (BWI) Sortimentsmassen ermittelt. Die Biomassemengen und deren Verbleib generierte das Programm WEHAM aus den Sortimentmassen. Ebenso war die Berechnung der mit der Biomasse exportierten bzw. mit der Holzasche zurückgeführten Stoffmengen durch die Verknüpfung von chemischen Nährelementanalysen mit den Sortimentmassen möglich. Die Kalkulationen wurden nach den Hauptbaumarten Fichte und Buche getrennt durchgeführt und entsprechend der Nadel- und Laubholzanteile auf die BWI-Trakte übertragen.

Nutzungsszenarien, Erntemassen und kostenfreier Erlös

Alle Berechnungen wurden für fünf Nutzungsszenarien durchgeführt:

- Szenario 1: konventionelle Sortierung (Stammholz+Industrieholz), vollmechanisierte Holzernte. Verbleib der nicht stofflich verwerteten Biomasse (Äste, Reisig, Restderbholz) in Reisigmatten auf den Rückegassen.
- Szenario 2: konventionelle Sortie-

Abb. 1: An die Waldstrasse nach einer Durchforstung vorgerücktes Kronenrestholz zur Weiterverarbeitung als Energieholzhackschnitzel

rung (Stammholz+Industrieholz) vollständig motormanuelle Holzernte, Verbleib der nicht stofflich verwerteten Biomasse auf der Bestandesfläche.

- Szenario 3: wie Szenario 2, zusätzlich Handentrindung und Verbleib der Rinde auf der Fläche.
- Szenario 4: konventionelle Sortierung (Stammholz+Industrieholz). Die restliche Krone wird zu Energieholz verarbeitet und als Asche auf die Waldflächen zurückgeführt.
- Szenario 5: nur Stammholz stofflich genutzt. Die restliche Krone und das Industrieholz einschließlich anhaftender Äste werden zu Energieholz verarbeitet und als Asche auf die Waldflächen zurückgeführt.

Die Szenarien führen in Abhängigkeit von der Nutzungstechnik zu einer unterschiedlichen Biomassemobilisierung. Die sortenbezogenen Erntemengen summieren sich für Szenario 1 in der Region auf knapp 1,69 Mio. VFm. Für die Szenarien 4 und 5 mit Energieholznutzung liegt die Erntemenge um 12–15 % höher.

Das aus Restkrone, Kilben und Industrieholz in der gesamten Region im Zuge der regulären Waldbewirtschaftung technisch nutzbare, maximale Energieholzpotential in Szenario 5 umfasst ca. 350.000 t_{atro} pro Jahr. In Szenario 4 werden 147.400 t_{atro} pro Jahr an Energieholz mobilisiert. Allerdings ist zu bedenken, dass die Ernteverluste mit 81 % (Szenario 4) bzw. 42 % (Szenario 5) der maximal mobilisierbaren Energieholzmenge hoch erscheinen. Durch technische Verbesserungen der Ernteverfahren könnte sicherlich ein nennenswerter Anteil dieser Ernteverluste zusätzlich der energetischen Verwertung zugeführt werden.

Die in der Region maximal pro Jahr mobilisierbare Energieholzmenge hat einen Heizwert von 198 MW Dauerleistung pro Jahr. Zum Vergleich: Der Kernreaktor Gundremmingen A hat eine elektrische Dauerleistung von 250 MW.

Die über alle Sortimente gemittelten, erntekostenfreien Erlöse liegen bei Szenario 1 für die Untersuchungsregion bei 93,98 Mio. €, in Szenario 4 mit 97,49 Mio. € um 3,51 Mio. € und in Szenario 5 mit 98,47 Mio. € um nochmals knapp 0,98 Mio € höher. Trotz der gegenüber den Industrieholzpreisen geringfügig niedrigeren Energieholzpreise und der etwas höheren Holzerntekosten beim Energieholz liegt so der Gesamterlös um 4 bis 5 % höher als bei einem auf rein stoffliche Verwertung orientierten Nutzungskonzept, weil die höheren Erntemassen (10 bis 15 %) die derzeit marktbedingt etwas geringeren Erlöse für Energieholz überkompensieren. Das bedeutet, dass schon unter den heutigen Marktbedingungen die Energieerzeugung aus Waldholz ökonomisch sinnvoll ist.

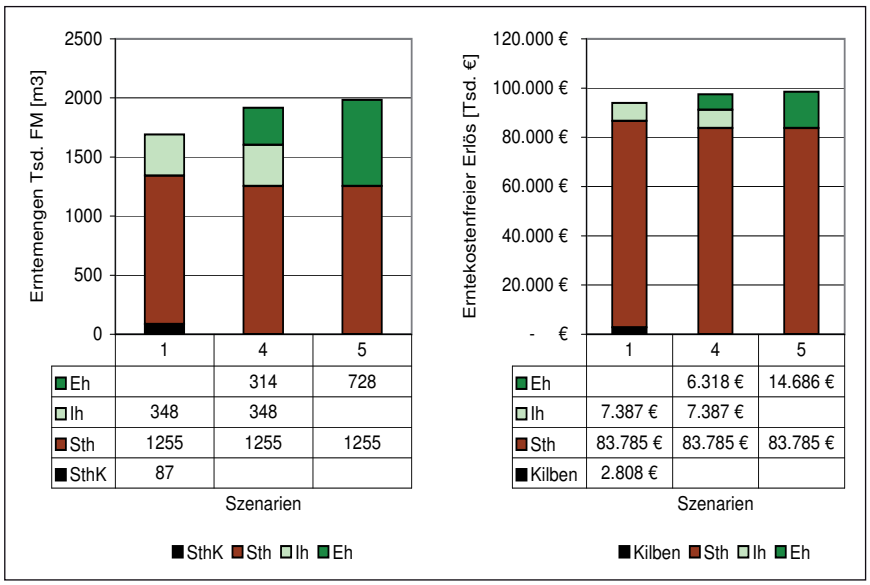


Abb. 2: Jährlich kontinuierlich mobilisierbare Sortimentmassen in der Projektregion mit 140.000 ha Wald in Tsd. Vfm (links) und erntekostenfreie Erlöse in Tsd. € (rechts)

Bewertung der Stoffbilanzen in den Nutzungsszenarien

Für jeden BWI-Trakt wurden Stoffbilanzen berechnet, indem der Nährstoffentzug durch Sickerwasser und Holzernte von dem Nährstoffeintrag durch Niederschlag und Verwitterung subtrahiert wurde. Außerdem wurden bei den Nutzungsszenarien mit Energieholzgewinnung die in der Holzasche enthaltenen Mineralstoffe der Bilanz zugeschlagen und somit die Schließung des Stoffkreislaufs durch vollständige Ascherückführung unterstellt.

Für den Basen-Eintrag mit der Deposition wurde für die gesamte Untersuchungsregion der langjährig gemessene Mittelwert für die Summe der Deposition von Calcium+Magnesium+Kalium angenommen. Die mittlere Basenfreisetzung (Calcium+Magnesium+Kalium) durch Mineralverwitterung wurde in Abhängigkeit der Basensättigung geschätzt. Der Nährelementexport mit der Holzernte ist das einzige Bilanzelement, das von den Nutzungsszenarien abhängt, d. h. von Menge und Verbleib der durch die Holzernte mobilisierten Biomassen und darin enthaltenen Nährelementen. Für Szenario 1 (kein Energieholz, vollmechanisierte Ernte) sind die Nährelementexporte im Vergleich der Nutzungsstrategien am höchsten, da das nährstoffreiche Kronenmaterial auf der Rückegasse in Reisigmatten akkumuliert wird.

Im durch motormanuelle Aufarbeitung und Handentrindung besonders schonende Szenario 3 sind die Basen-Exporte fast um die Hälfte reduziert. Das heißt, die Belastung für den Stoffhaushalt wird halbiert, wenn man alle nicht stofflich verwerteten Biomassen

auf der Bestandesfläche belässt. Dies setzt jedoch eine sehr kleinteilige Erntetechnik voraus, bei der die vollständige Aufarbeitung bis zur Entrindung auf der Bestandesfläche verteilt erfolgt. Unter heutigen Arbeits- und Marktbedingungen ist dieses Verfahren ökonomisch und auch ergonomisch unrealistisch.

Das Szenario 5 (Stammholznutzung, alle anderen Sortimente als Energieholz) generiert unter der Voraussetzung einer vollständigen Basenrückführung durch Holzasche-Recycling einen in etwa gleichen Gesamt-Basenexport wie das technisch unrealistische Szenario 3. Dies gilt, obwohl der Biomasseexport bei diesem Energieholz-maximierten Szenario durch Nutzung der Restkrone sowie von Restderbholz und Ästen um ca. 15 % höher ist.

Die Stoffbilanzen zeigen, dass in der Untersuchungsregion die Nährelementversorgung für Kalium am ehesten in Mangel gerät, und nur für die Szenarien 3 und 5, die aktive Maßnahmen zur Mineralstoffrückführung vorsehen, ist die Kaliumbilanz positiv.

Die Variation der Bilanzwerte ist auf der Fläche in Abhängigkeit von Beständen und Standortseigenschaften erheblich. Diese wird hauptsächlich von der geernteten Biomassemenge gesteuert und weniger von Konzentrationsunterschieden, die durch Standortseigenschaften und/oder dem Alter bestimmt werden. Die beiden Bilanzelemente „Nährstoffnachlieferung aus Mineralverwitterung“ und „Austrag mit dem Sickerwasser“ zeigen erkennbar ein von geologischen und bodenkundlichen Randbedingungen abhängiges räumliches Verteilungsmuster. Diese Variation auf der Fläche kann auf dem Wege der Bodenschutzkalkung und des Ascherecyclings weitgehend durch Umverteilung von Arealen mit Bilanzgewinnen (Abb. 3, grüne Punkte) zu Arealen mit Bilanzverlusten (Abb. 3, rote Punkte) ausgeglichen werden.

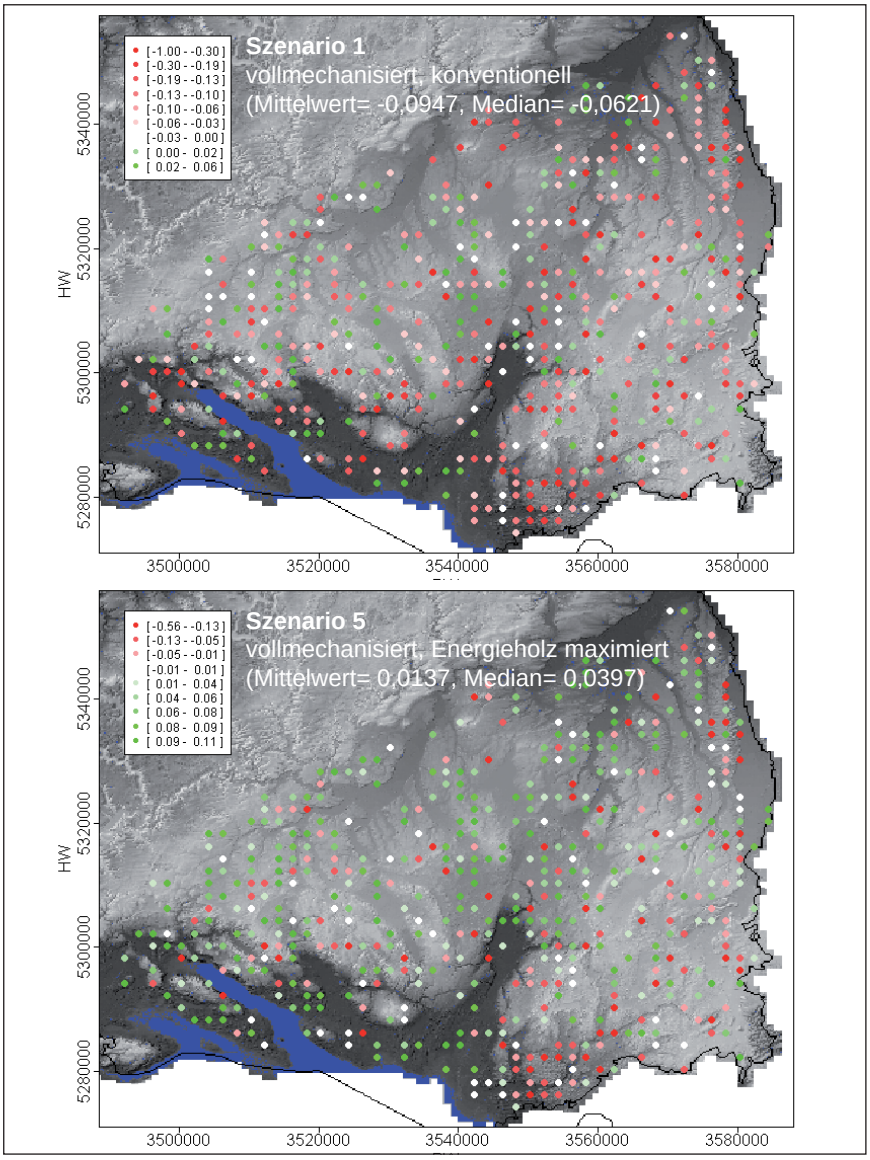


Abb. 3: Stoffbilanzen für das Nährelement Kalium (Ionenäquivalente/ha/Jahr) unter der Annahme der Rückführung der in der Holzasche der Engergieholzmengen enthaltenen Mineralstoffe (rot = Bilanzverluste, grün = Bilanzgewinne).

Biomasse – Holzasche Kreislaufkonzept

Ein wesentliches Projektziel war es, die technische Umsetzbarkeit zur Rückführung der mit der Biomasse aus den Waldökosystemen exportierten Nährelementmengen auszuloten. Aus diesem Grund wurde in Kooperation mit zwei Kalkwerken die Technik der Herstellung einer Dolomit-/Holzasche-Mischung als neues Produkt zur Waldkalkung entwickelt und optimiert. In den beiden Projektjahren 2008 und 2009 wurde dieses Produkt auf insgesamt 1561 ha ausgebracht.

Die Ergebnisse der maßnahmenbegleitenden Qualitätskontrollen der Holzaschen und des daraus hergestellten Kalkungsprodukts zeigten, dass sinnvolle Qualitätsanforderungen an die Aschen sowie die von verschiedenen Umweltnormen geforderten Grenzwerte problemlos eingehalten werden können. Es ergaben sich folgende, gut standardisierte Produkteigenschaften, die auch auf dem Vergabeweg eingefordert werden können:

- 75 Gew.% Gesamtkarbonatgehalt (überwiegend $CaCO_3$)
- 12 Gew.% MgO-Gehalt (Toleranz 1 %)
- 1 Gew.% K_2O-Gehalt (Toleranz 0,2 %)
- 0,5 Gew.% P_2O_5-Gehalt (Toleranz 0,1 %)

Tab. 1: Mittelwerte der Stoffbilanzen für Calcium, Magnesium und Kalium (Ionenäquivalente/ha/Jahr) über alle BWI-Trakte der Untersuchungsregion. Negative Bilanzen rot hinterlegt.

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5
Ca [$kmol_c$/ha/a]	-0,288	0,0756	0,211	-0,044	0,256
Mg [$kmol_c$/ha/a]	0,0873	0,155	0,174	0,129	0,175
K [$kmol_c$/ha/a]	-0,095	-0,014	0,005	-0,044	0,014

Die Kosten für die Herstellung dieser Mischung sind um etwa 10 % höher als für erdfeuchtes Dolomit-Gesteinsmehl. Dies liegt daran, dass die Holzaschen inhomogen sind und durch ihre hydraulischen Eigenschaften zur Verklumpung neigen. Deshalb müssen die Aschen vor der Mischung mit Dolomitgesteinsmehl, oder das Gemisch selbst, mechanisch zerkleinert und homogenisiert werden (Abb. 4a und b). Die Rückführung der exportierten Gesamtkarbonatmenge ist zu realistischen Kosten von knapp 4 €/ha/a möglich. Jedoch ist dabei die vollständige Rückführung aller exportierten Kalium- und Phosphatmengen durch deren geringe Gehalte in der Mischung nicht möglich. Dies ist auch nicht nötig, da die Vorräte dieser Nährelemente im Boden hoch und durch die Kalkung besser pflanzenverfügbar werden.

Abb. 4a: Holzasche- und Dolomitkalk Rohmaterial vor Konditionierung und Vermischung

Die Kostenkalkulationen zeigen, dass die Kompensationskosten in der Region bei 0,55 Mio. €/a liegen, wenn der Kompensationsbedarf am Gesamtkarbonatdefizit orientiert wird. Im Vergleich zum Mehrerlös bei Maximierung der Energieholzernte von knapp 4,5 Mio. €/a wird in der Region gegenüber konventioneller Holzernte (Szenario 1) bei 2.200 ha/a Kalkungsbedarf ein um die Kompensationskosten bereinigter Mehrerlös von 3,95 Mio. €/a generiert.

Schlussfolgerungen

Abschließend ist festzuhalten, dass die konventionelle Holzernte, wenn diese überwiegend vollmechanisiert erfolgt, durch Akkumulation von Reisigmaterial auf Rückegassen in Bezug auf den Stoffhaushalt einer Vollbaumnutzung entspricht und stofflich nicht nachhaltig ist, da es derzeit keine technische Möglichkeit der Rückführung der in dieser Biomasse enthaltenen Nährelemente auf die Fläche gibt.

Die Nutzungsszenarien mit Energieholzernte exportieren 10–15 % mehr Biomasse. Diese Steigerung des Biomasseexports bedeutet, dass weniger organisches Material dem Waldboden wieder zugeführt wird. Diese Steigerung des Biomasseexports ist mit 1,2–1,8 t/ha/a im Vergleich zum jährlichen Streufall, der etwa doppelt so hoch ist, und zur Wurzelstreu durch Feinwurzelumsatz, die eine dem oberirdischen Streufall vergleichbare Größenordnung hat, vergleichsweise gering. Das bedeutet, dass die Steigerung des Biomasseexports durch intensivierte Energieholzernte eine Reduktion des Recyclings organischer Substanz um ca. 20 % verursacht. Dieser moderaten Steigerung der Ernteintensität steht der gravierende Vorteil gegenüber, dass nach der Verbrennung des Energieholzes die in der Holzasche enthaltenen Nährelemente wieder quantitativ den Waldflächen zugeführt und auf diesen mehr oder weniger gleichmäßig verteilt werden können. Durch die Ausbringung von basischen Kationen – hauptsächlich Calcium – wird wiederum der Humusvorrat im Boden stabilisiert, so dass er widerstandsfähiger gegenüber Abbau und Auswaschung wird.

Vor diesem Hintergrund kann man sich die Frage stellen, ob es sinnvoll ist, die Energieholzgewinnung grundsätzlich auf Standorten zu vermeiden, auf denen die „nachschaffende Kraft“ des Waldbodens erhöhte Nährelementexporte nicht ausgleicht. Denn trotz der überdurchschnittlich gut mit Nährelementen ausgestatteten Projektregion entsteht bereits sowohl bei konventioneller Nutzung (Szenario 1) als auch bei Energieholznutzung (Szenario 4 und 5) auf ca. 60 % der Fläche ein Bilanzdefizit. So müsste man konsequenterweise sowohl die konventionelle Nutzung als auch die Nutzung mit Energieholzgewinnung in Frage stellen, wenn nur die Menge an Biomasse genutzt werden soll, die auch ohne technische Rückführung der Nährelemente nachhaltig ist. Hinzu kommt, dass dann nur ein geringer Anteil am vorhandenen und umweltpolitisch sinnvollen Rohstoffpotenzial für die nachhaltige Energieerzeugung genutzt wird. Auf der Basis dieser Überlegungen erscheint es zwingend und sinnvoll, die Energieholzernte zu maximieren.

PD Dr. Klaus von Wilpert
FVA, Abt. Boden und Umwelt
Tel. (07 61) 40 18 - 1 73
klaus.wilpert@forst.bwl.de

Abb. 4b: Zerkleinerung und Homogenisierung der Holzasche mittels eines Recycling Brechers

Wie nachhaltig ist der Forst-Holz-Sektor? Konzept zur Bewertung der Nachhaltigkeit des Forst-Holz-Sektors

von Franka Brüchert, Janine Fischbach, Gero Becker, Udo Hans Sauter

Welches Holzernteverfahren wäre aus ökologischer Sicht vorzuziehen? Welche Holz-Bereitstellungsketten sichern die meisten Arbeitsplätze? Wo liegen die Stärken oder Schwächen einer Wald-Holz-Kette in einer Region wie Baden-Württemberg? Mit der Software ToSIA können diese und weitere Fragen beantwortet werden.

ToSIA – wozu?

Der Erhalt der Biodiversität, die Nachfrage nach erneuerbaren Energien und der Anspruch, auf globalen Märkten erfolgreich zu sein, stellen den Forst-Holz-Sektor zunehmend vor Herausforderungen. Da die EU dem Forst-Holz-Sektor in Zukunft eine Schlüsselrolle in einer nachhaltigen Gesellschaft zuerkennt, förderte die Europäische Kommission das Projekt EFORWOOD. Ziel dieses Projekts war, sowohl Methoden als auch darauf aufbauend eine Software (ToSIA, „Tool for Sustainable Impact Assessment“) für die umfassende Analyse von Nachhaltigkeitsaspekten europäischer Wald-Holz-Ketten zu entwickeln.

Die Software ToSIA erlaubt dem Nutzer, komplette Wald-Holz-Ketten von der Holzerzeugung im Wald bis zur Verwendung, Entsorgung, Recycling oder energetischen Endnutzung von Holz und Holzprodukten zu betrachten. Es ist auch möglich, einzelne Teilbereiche der Wald-Holz-Kette, z. B. ausschließlich den Teilbereich der Holzerzeugung, Ernte und Bereitstellung, zu beschreiben.

Fallstudie Baden-Württemberg

Um die Funktions- und Leistungsfähigkeit von ToSIA zu testen, wurden in der ersten Entwicklungsphase zunächst für drei Regionen Nachhaltigkeitsanalysen entwickelt, die als modellhaft für die Großregionen Europas stehen. Baden-Württemberg repräsentierte in diesem Zusammenhang die Region Mitteleuropa.

Die Herleitung der Volumengrößen und der Indikatorenwerte erfolgte für die Region Baden-Württemberg mit den Ergebnissen der Bundeswaldinventur, Statistiken des Statischen Bundesamtes und des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg, Berichten wie zum Beispiel dem Holzmarktbericht, Daten des Holzabsatzfonds (HAF) und der Zentralen Markt- und Preisberichtstelle (ZMP), und durch enge Zusammenarbeit mit Forstbetrieben und Industrie sowie durch eigene Studien. In die Kalkulationen wurden vorhandene computergestützte Modelle eingebunden, z. B. der Waldwachstumssimulator „W+“ für die Berechnung des Zuwachses im betrachteten Zeitrahmen und der Verteilung des ausscheidenden Bestands sowie das Programm „Holzernte ver. 7.1“ für die Sortimentsgliederung.

Anwendungsbeispiele

Beispiel 1: Vergleich von alternativen Prozessen

Innerhalb einer Region können verschiedene Prozessketten miteinander verglichen und auf diese Weise „Hotspots“, also in Bezug auf die ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeit besonders sensitive Parameter oder Schwachstellen der Kette, identifiziert werden. In Tab. 1 sind ausgewählte Nachhaltigkeitsindikatoren verschiedener Holzernte und -bringungsverfahren für die Hauptbaumarten Buche und Fichte gegenübergestellt. Für beide Baumarten fallen bei motormanueller Holzernte am Steilhang Kosten von 40 €/EFm an. Im Vergleich weiterer Indikatorenwerte wird deutlich, dass bei

Tab. 1: Vergleich ausgewählter Holzernte und -bringungssysteme für verschiedene Baumarten in Baden-Württemberg

Indikator	Buche: motormanuelle Ernte (inkl. Rücken) am Steilhang > 60%	Fichte: motormanuelle Ernte (inkl. Rücken) am Steilhang > 60%	Fichte: vollmechanisierte Ernte (inkl. Rücken) in der Ebene
Volumen (EFm)	81.551	292.852	5.806.629
Gesamtkosten (€/EFm)	40,65	40,87	15,55
Energieverbrauch (Diesel/EFm)	114,75	98,26	61,53
Treibhausgasemissionen (kg CO_2)	14,89	11,78	5,91
Arbeitskräfte, Vollzeitäquivalent (total/ 1.000 EFm)	0,82	1,06	0,25
Unfälle (total/ 100.000 EFm)	8,43	10,82	3,6
Wertschöpfung (€/EFm)	1,01	20,27	5,19
Energiekosten (€/EFm)	3,16	2,96	1,73

der Ernte und Bringung von Fichte im Steilhang jedoch je EFm weniger Energie verbraucht wird als bei der Ernte von Buche. Zudem entstehen weniger Treibhausgase. Die Wertschöpfung je EFm ist höher, da mehr Holzvolumen als hochwertiges, sägefähiges Stammholz vermarktet werden kann.

Vergleicht man für die Baumart Fichte die Indikatoren für zwei verschiedene Verfahren („vollmechanisierte Ernte in der Ebene“ zu „motormanuell im Steilhang“, Tab. 1), so wird deutlich, dass das Verfahren in der Ebene nicht nur kostengünstiger ist, sondern auch weniger Arbeitsunfälle verursacht und einen niedrigeren Bedarf an Arbeitskräften hat.

Diese Art der Analyse kann um zusätzliche Indikatoren ergänzt und für weitere Holzerntesysteme durchgeführt werden. Die Ergebnisse können sowohl normalisiert je EFm oder in absoluten Zahlen für eine jeweilige jährliche Einschlagsmenge angegeben und miteinander verglichen werden.

Beispiel 2: Szenarien auf der Basis externer Faktoren

Wie dargestellt, können einzelne Prozesse verglichen werden, etwa zwei verschiedene Maschinen im selben Arbeitsumfeld hinsichtlich ihrer Umweltverträglichkeit oder in Bezug auf die Arbeitssicherheit. Auch die Auswirkungen veränderter externer Faktoren können erfasst werden wie z. B. eine Energiepreissteigerung oder die Einführung einer Mautgebühr.

Der Nutzer entwickelt mit Hilfe der Software Szenarien, um abzuschätzen, was passiert, wenn die Annahmen eintreffen.

Beispiel 3: Waldbauliche Szenarien

Auch Veränderungen von Materialströmen innerhalb der Wald-Holz-Ketten als Folge verschiedener Nutzungsszenarien können analysiert werden. Tab. 2 fasst beispielhaft die Ergebnisse zusammen, die sich aus einem Vergleich zweier unterschiedlicher Annahmen hinsichtlich der Umsetzung naturschutzpolitisch motivierter Nutzungseinschränkungen auf 5 % der Fläche laubholzdominierter Wälder ergeben könnten. Das vorliegende Beispiel unterstellt sehr vereinfacht den Nutzungsverzicht ausschließlich in Beständen der Altersklassen ab 80 Jahren. In zwei Szenarien wurden diese Flächenvorgaben unter bestimmten Annahmen hinsichtlich der Topographie des Geländes, der zu verwendenden Ernteverfahren und der abzuleitenden Kosten „aus der Nutzung herausgenommen“: Im Szenario I wurden zunächst alle verfügbaren Laubholzflächen im Steilhang (> 60 % Hangneigung) aus der Nutzung genommen und erst dann auf weniger steile Hanglagen und zuletzt auf Flächen in der Ebene zurückgegriffen, bis die Zielflächenvorgabe insgesamt erreicht war.

In Szenario II wurden prozentual gleiche flächenmäßige Nutzungseinschränkungen auf allen Hangneigungs-

Tab. 2: Relative Veränderung von Materialverfügbarkeit und Materialströmen unter der Annahme reduzierten Einschlags in laubholzdominierten Wäldern

	Szenario I	Szenario II
Einschlagsvolumen Laubholz	-18%	-17%
Rückgang Sorten	Langholz: Szenario I > Szenario II Kurzholz: Szenario I < Szenario II Industrieholz: Szenario I < Szenario II Brennholz: Szenario I < Szenario II	
Export	für beide Szenarien: - starker Rückgang des Exportvolumens von Langholz und Kurzholz - Umkehr von Export von Industrie- und Brennholz in Import zum Erhalt einer in der Industrie benötigten Gesamtmenge	
Änderung Produktionskosten absolut	-2,3%	-3,1%
Änderung CO_2-Emmissionen absolut (ohne Import)	-2,3%	-3,1%

klassen (Ebene, Hang, Steilhang) unterstellt. Die Ergebnisse sind in Tab. 2 als relative Veränderung gegenüber einer Variante ohne Nutzungseinschränkung dargestellt. Das Einschlagsvolumen geht in beiden Varianten in ähnlicher Größenordung zurück (-18 % resp. -17 %). Da bei der Aufarbeitung in den unterschiedlichen Hangneigungsklassen verschiedene Ernteverfahren eingesetzt werden, geht die Verfügbarkeit der Sorten Langholz, Kurzholz in Standardlängen, Industrieholz und Brennholz unterschiedlich stark zurück. Damit ergeben sich auch für beide Szenarien unterschiedliche Kosten und Erlöse, d. h. dieselbe prozentuale Nutzungseinschränkung (5 %) hat unterschiedliche naturale und ökonomische Effekte. Der in beiden Szenarien deutliche Rückgang des verfügbaren Holzangebots verändert schließlich die resultierenden Export- und Importmengen aus anderen Bundesländern oder dem Ausland für die einzelnen Sorten, wenn der Verbrauch an Holz in derselben Höhe innerhalb der Systemgrenzen für Baden-Württemberg erhalten bleiben soll.

Folgerungen

Wenn es um die nachhaltige Gestaltung von Wirtschaftssektoren geht, ist Holz eines der wichtigsten Beispiele für die klimaneutrale Nutzung nachhaltig verfügbarer, natürlicher Ressourcen. Die geregelte Forstwirtschaft gilt als Ursprung nachhaltigen Wirtschaftens. Dies bietet für den Forst-Holz-Sektor große Entwicklungschancen, stellt ihn aber auch vor besondere Herausforderungen, seine Produktionsprozesse in einem umfassenden Sinne hinsichtlich ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte nachhaltig zu gestalten. Stärken und Schwächen von Produktionsverfahren und Produkten in Bezug auf einzelne Indikatoren können auf Prozessebene identifiziert und bis zu den letztlich relevanten Eingangsgrößen zurückverfolgt werden. Dadurch werden Prozessketten transparent, und kritische Bereiche („Hotspots“) in der Ausführung sichtbar. Durch den Vergleich mit anderen Systemen oder Regionen werden alternative Produktionsmöglichkeiten erkennbar, die für Entscheidungsträger interessant sein und Wettbewerbsvorteile bringen können. Gleichzeitig besteht die Option, mögliche Veränderungen externer Faktoren in die Analysen einzubeziehen und so szenariengestützt Zukunftsfragen, z. B. diejenige nach den Risiken für die Sicherung der Rohstoffbereitstellung, zu beantworten.

Die Ergebnisse der Materialflussberechnungen können mittels der Software ToSIA nicht nur in Erntefestmetern oder Tonnen, sondern auch in CO2-Äquivalenten angegeben werden. Dadurch sind Aussagen zum „ökologischen Rucksack“ von Holzprodukten möglich. Mit der Erstellung von CO2-Fußabdrücken und Ökobilanzen kann ToSIA dazu beitragen, dass der Forst-Holz-Sektor und heimische Holzprodukte auch zukünftig führend in Bezug auf ein nachhaltiges Ressourcenmanagement sind.

Der Abschlussbericht des Projektes steht zum Download unter www.eforwood.org zur Verfügung.

Abb. 4: Holz ist in mehrfacher Hinsicht nachhaltig

Dr. Franka Brüchert
FVA, Abt. Waldnutzung
Tel. (07 61) 40 18 - 2 39
franka.bruechert@forst.bwl.de

25 Jahre FVA in der Wonnhalde – Tag der offenen Tür im Rahmen des Internationalen Jahres der Wälder 2011

Schon vor der offiziellen Eröffnung durch Prof. Konstantin von Teuffel, und dann den ganzen Tag der offenen Tür am Sonntag, den 24. Juli, herrschte eine lebhafte Betriebsamkeit auf dem FVA-Gelände: Kinder ließen sich schminken, bastelten stattliche Hüte unter forstfachlicher Anleitung, schauten einen Auerhuhnfilm an, suchten mit einem Metallsuchgerät nach einem Schatz im Sandkasten, bauten imposante Gebilde aus Holzklötzen oder versuchten die zum Teil richtig kniffeligen Fragen des Kinder-Quizes zu lösen. Überfordert waren die meisten bei der Frage, wie viele Regenwürmer in einem Kilogramm Boden zu finden sind, oder wie viele Besucher/innen täglich im Freiburger Wald zu verzeichnen sind. Dagegen wussten alle, dass die höchste Douglasie Deutschlands derzeit im Freiburger Stadtwald steht. Die größten Stolpersteine bei dem Erwachsenen-Quiz waren wiederum, den Inhalt eines vorgestellten Buchenstammes zu schätzen, und zu erraten, wie viel Liter Diesel der Zangen-Schlepper der FVA in der Stunde bei der Arbeit verbraucht. Insgesamt ließen sich rund 600 kleine und große Gäste über die Waldforschung an der FVA informieren. Die vorliegenden Fotos geben Impressionen des Tages wieder.

100 Jahre Bannwald in Baden-Württemberg

Schutz durch Stilllegung – Wertvolle Wildnis oder wirtschaftlicher Unsinn?

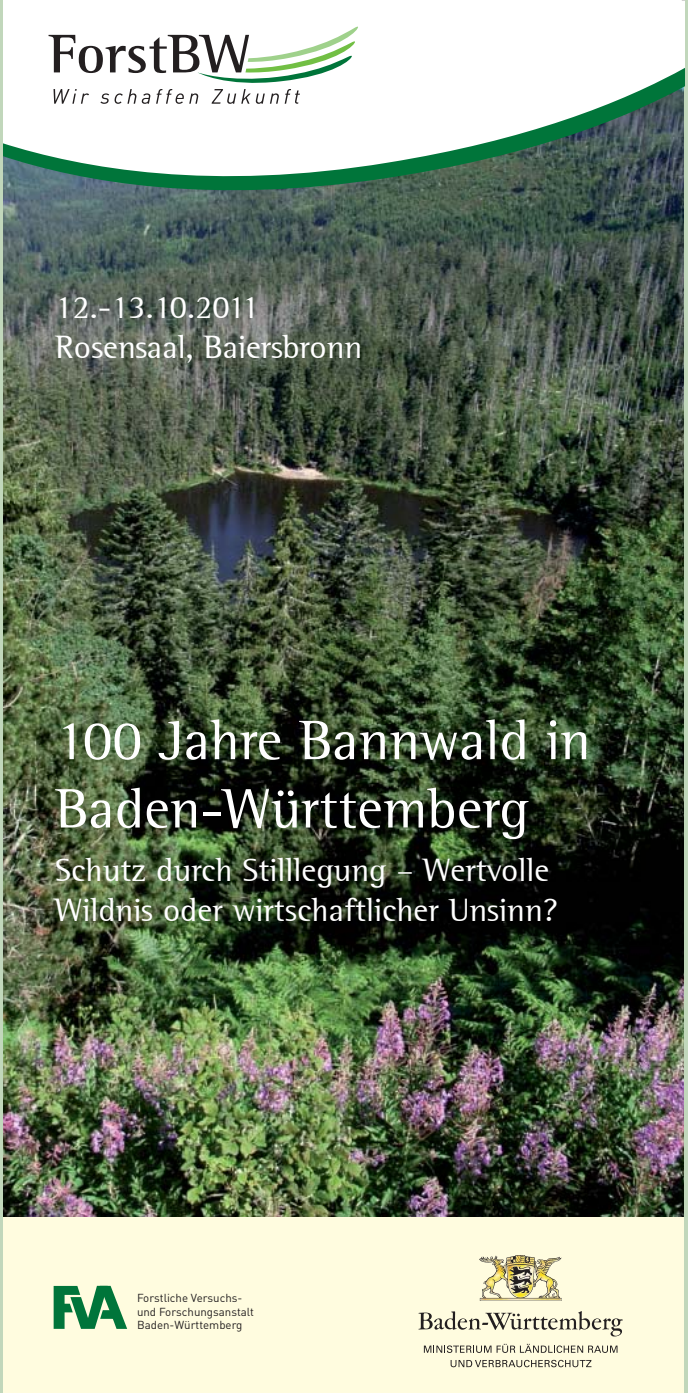
Im Internationalen Jahr der Wälder 2011 wird der älteste Bannwald des Landes „Wilder See - Hornisgrinde“ 100 Jahre alt. Aus diesem Anlass findet vom 12. bis 13. Oktober 2011 eine Bannwald-Tagung in Baiersbronn statt.

Zum Auftakt der Tagung wird ein Blick auf die Geschichte der Bannwaldidee geworfen: Was hat die Förster Anfang des neunzehnten Jahrhunderts überhaupt dazu gebracht, den Bannwald auszuweisen? Was ist nach 100 Jahren von der ursprünglichen Schutzidee geblieben, was hat sich verändert? Im Laufe des ersten Tages wird ein Bogen von der ursprünglichen Schutzidee zur aktuellen Diskussion über Flächenstilllegungen im Wald gespannt. Forschungsergebnisse aus dem Jubiläums-Bannwald werden vorgestellt und Gründe für Prozessschutzflächen in Europa und Deutschland beleuchtet. Aus naturschutzfachlicher und forstwirtschaftlicher Sicht werden Möglichkeiten und Grenzen des Waldnaturschutzes im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie dargestellt.

Am zweiten Tag besteht auf zwei Exkursionen in den Bannwald „Wilder See - Hornisgrinde“ die Gelegenheit, die Erkenntnisse und Diskussionen vom Vortag zu vertiefen.

Die Vortragsveranstaltung am 12. Oktober findet im Rosensaal Baiersbronn, Rosenplatz 3, 72270 Baiersbronn statt, und beginnt um 9 Uhr.

Die Veranstaltung richtet sich an forstliches Fachpersonal aller Verwaltungsebenen, Naturwaldforscher, Mitarbeiter der Naturschutzverwaltung und sonstige Interessierte.



Weitere Information:
Katarzyna Zielewska (Tel.efon: (07 61) 40 18 - 2 35, katarzyna.zielewska@forst.bwl.de),
Silvia Pontuali (Telefon: (07 61) 40 18 - 1 90 (vormittags), silvia.pontuali@forst.bwl.de) oder
kongressbuero.fva-bw@forst.bwl.de, www.fva-bw.de