



Berner
Fachhochschule

Biomasseverteilung und Kohlenstoffpotenzial von Buchenniederwäldern in Ost-Mazedonien



Bachelorthesis

Studiengang: FWI 2015
Autor: Christian Aeschlimann
Betreuer: Dr. Prof. Jürgen Blaser (HAFL)
Expertin: Dr. Esther Thürig (WSL)
Ort: Zollikofen
Datum: 18.12.2015

Selbständigkeitserklärung

Durch meine Unterschrift erkläre ich, dass:

- ich die „Richtlinien über den Umgang mit Plagiaten an der BFH“ sowie den „Verhaltenskodex HAFL zur Verwendung von Informationsquellen“ kenne und mir die Konsequenzen bei deren Nichtbeachtung bekannt sind,
- ich diese Arbeit in Übereinstimmung mit diesen Grundsätzen erstellt habe,
- ich diese Arbeit persönlich und selbständig erstellt habe,
- ich mich einverstanden erkläre, dass meine Arbeit mit einer Plagiat-Erkennungssoftware getestet und in die BFH-Datenbank der Software aufgenommen wird.

Ort, Datum: Zollikofen, 18.12.2015

Unterschrift:



Berner Fachhochschule
Hochschule für Agrar-, Forst- und
Lebensmittelwissenschaften HAFL

Mitteilung über die Verwendung von Semesterarbeiten, Bachelor-Theses und Minorarbeiten der Hochschule für Agrar-, Forst und Lebensmittelwissenschaften HAFL

Alle Rechte an Semesterarbeiten, Bachelor-Theses und Minorarbeiten der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL sind im Besitze des/der Verfasser/in der Arbeit. Die HAFL genießt jedoch ein kostenloses, unbefristetes, nicht-exklusives Nutzungsrecht an den Arbeiten ihrer Studierenden.

Semesterarbeiten, Bachelor-Theses und Minorarbeiten sind Bestandteile des Ausbildungsprogramms und werden von den Studierenden selbständig verfasst. Die HAFL übernimmt keine Verantwortung für eventuelle Fehler in diesen Arbeiten und haftet nicht für möglicherweise daraus entstehende Schäden

Zollikofen, Mai 2011

Der Direktor

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Glossar und Abkürzungen	VI
Zusammenfassung	VII
Abstract	VIII
1 Einleitung	1
2 Stand des Wissens	2
2.1 Die Buche (<i>Fagus sylvatica</i> L.)	2
2.1.1 Verbreitungsgebiet und Ansprüche	2
2.1.2 Spezifische Charakteristiken	3
2.1.3 Balkanbuche (<i>Fagus [sylvatica nothosubsp.] moesiaca</i>) in Mazedonien	6
2.2 Forstsektor in Mazedonien: Ein Überblick	9
2.2.1 Bewirtschaftung der Wälder	12
2.3 Niederwald	12
2.3.1 Niederwald in Mazedonien	13
2.3.2 Bedeutung der Niederwälder	16
2.4 Biomasseerhebung	18
2.4.1 Oberirdisch Biomasse	18
2.4.2 Unterirdische Biomasse	19
2.4.3 Biomasse in Buchenbeständen allgemein und in Mazedonien	21
2.5 Wald und Kohlenstoff	21
3 Material und Methoden	25
3.1 Literaturrecherche	25
3.2 Untersuchungsgebiete	26
3.2.1 Kočani	26
3.2.2 Males	29
3.3 Feldarbeit	32
3.3.1 Vorbereitung der Feldarbeit	33
3.3.2 Perimeter	34
3.3.3 Planung und Umsetzung	35

3.4	Datenauswertung	38
3.4.1	Statistische Methodik	38
3.4.2	Modellierung und Modellberechnung	40
4	Resultate	41
4.1	Feldarbeit	41
4.2	Oberirdische Biomasse	43
4.3	Unterirdische Biomasse	45
4.4	Kohlenstoffdynamik	48
4.5	Vergleich Niederwald mit Hochwald	49
5	Diskussion	51
5.1	Methodik	51
5.2	Biomasse	52
5.2.1	Oberirdische Biomasse	53
5.2.2	Unterirdische Biomasse	55
5.3	Kohlenstoff	56
5.4	Niederwald in Mazedonien	57
6	Schlussfolgerungen	58
7	Dank	59
	Literaturverzeichnis	60
	Anhang	66

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Arealkarte von <i>Fagus sylvatica</i>	2
Abb. 2: Ökogramm von <i>Fagus sylvatica</i>	3
Abb. 3: Schematisch dargestellte Buchenwurzelsysteme mit unterschiedlicher Ausprägung...5	
Abb. 4: Arealkarte von <i>Fagus moesiaca</i>	6
Abb. 5: Potenzielles Buchenverbreitungsgebiet in Mazedonien	7
Abb. 6: Klimazonen von Mazedonien	8
Abb. 7: Waldbesitzverhältnisse in Mazedonien	11
Abb. 8: Sukzessionsphasen im Niederwald	13
Abb. 9: <i>Fagus sylvatica</i> mit Stockausschlag	14
Abb. 10: Carbon Pools auf Waldflächen bezogen	22
Abb. 11: Integrierte Betrachtung aller relevanten Kohlenstoffflüsse und –speicher im Wald	23
Abb. 12: Mazedonien mit den beiden Untersuchungsgebieten Kočani und Males	26
Abb. 13: Osogovo Gebirge mit den Waldgesellschaften	28
Abb. 14: Baumartenverteilung nach Betriebsart in Kočani	29
Abb. 15: Region Males mit den Waldgesellschaften	31
Abb. 16: Baumartenverteilung nach Betriebsart in Males	32
Abb. 17: Darstellung der Biomassekompartimentierung	33
Abb. 18: Darstellung der Perimeteraufteilung	34
Abb. 19: Allometrische AGB–Funktionen im Vergleich	43
Abb. 20: Vergleich zwischen den gemessenen AGB- und den durch Chave geschätzten Werten	44
Abb. 21: Abhängigkeit der AGB von der Grundfläche mit dargestelltem Modell	44
Abb. 22: BGB Funktionen im Vergleich	45
Abb. 24: Detaillierte Modellansicht des Regressionsmodells zur Schätzung der BGB	46
Abb. 23: BGB Schätzung von Mokany	46
Abb. 25: Histogramm mit den rsf's der vermessenen Bäume	47
Abb. 26: Kohlenstoffbindung in Buchenniederwäldern in Kočani und Males	48
Abb. 27: Kohlenstoffzuwachs in Buchenniederwäldern in Kočani und Males	49
Abb. 28: Simulation der Kohlenstoffbindung unter dem Einfluss unterschiedlicher Umtriebszeiten	50
Abb. 29: Geographische Verteilung der Untersuchungsgebiete dessen Daten in der Funktion von Chave berücksichtigt worden sind	54
Abb. 30: Wurzel- und Bodenprofil eines Buchenstockausschlages auf einem sehr flachgründigen Ranker in Males	55

Tabellenverzeichnis

<i>Tab. 1: Baumartenzusammensetzung und Flächenverteilung</i>	<i>10</i>
<i>Tab. 2: Temperaturübersicht von Kočani</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 3: Niederschlagsmenge von Kočani in mm</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 4: Temperaturübersicht von Males</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 5: Niederschlagsmenge von Males in mm</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 6: Infos zu den angewandten Biomassefunktionen</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 7: Informationszusammenstellung zu den vermessenen Bäumen..</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 8: Informationen zu den verglichenen Biomassefunktionen</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 9: Zusammenzug über die Passgenauigkeit der auf die erhobenen BGB Werte angewandten BGB Funktionen</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 10: Vergleich von oberirdischen Kohlenstoffspeicherleistungen</i>	<i>49</i>

Glossar und Abkürzungen

Abkürzung	Erläuterung
AGB	<i>Above Ground Biomass</i> ; Oberirdische Biomasse
BCEF	<i>Biomass Conversion and Expansion Factor</i> , Vorratsabhängiger Faktor mit dem das Volumen in Biomassen umgerechnet werden kann
BEF	<i>Biomass expansion factor</i> , Faktor, mit dem der Biomassevorrat aus dem Trockengewicht des Schaftholzes berechnet werden kann
BGB	<i>Below Ground Biomass</i> ; Unterirdische Biomasse
BHD	Brusthöhendurchmesser, gemessen auf 1.3 m
C	Kohlenstoff
CO ₂	Kohlenstoffdioxid, $1 \text{ tC} = \frac{44}{12} \text{ tCO}_2 = 3.67 \text{ tCO}_2$
COST Action	<i>European Cooperation in Science Research</i> , ist eine internationale Initiative zur europäischen Zusammenarbeit im Bereich der wissenschaftlichen und technischen Forschung
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> ; Welternährungsorganisation
g	Grundfläche Einzelbaum, gemessen auf 1.3 m [cm^2/m^2]
G	Grundfläche Bestand, gemessen auf 1.3 m [m^2/ha]
GIS	Geografisches Informationssystem
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> ; Zwischenstaatlicher Ausschuss über Klimaveränderung
MAFWE	<i>Ministry of Agriculture, Forestry and Water Economy</i> ; Ministerium für Agrar- Forst- und Wasserökonomie
NAPFO	<i>National Association of Private Forest Owners</i> , Privatwaldbesitzerverband in Mazedonien
PEFM	<i>Public Enterprise of Macedonian Forests</i> ; Öffentlicher Forstdienst von Mazedonien
Plot	Untersuchungseinheit, in dieser Thesis als Festkreisprobe von 500 m ² in der Waldinventur
RCP	<i>Representative Concentration Pathways</i> , sind von frei arbeitenden Wissenschaftler erarbeitete Szenarien wie sich das Klima verändern könnte
RMSE	<i>root mean square error</i> ; Masszahl zur Beurteilung der Prognosegüte
RSF	<i>root to shoot factor</i> ; Faktor mit dem die oberirdische Biomasse multipliziert wird um die unterirdische Biomasse zu erhalten, wird in der Arbeit jedoch als Prozentsatz angegeben
r ²	Das Bestimmtheitsmass gibt an wie gut die Regressionsgerade zu den erhobenen Daten passt.
tC	Tonne Kohlenstoff

Zusammenfassung

AESCHLIMANN, CHRISTIAN. Biomasseverteilung und Kohlenstoffpotenzial von Buchenniederwäldern in Ost-Mazedonien

In den Klimastrategien spielen der Kohlenstoffvorrat und die Kohlenstoffbindung eine zunehmend wichtigere Rolle, um die globale Erwärmung zu mildern. Die Dauerhaftigkeit des Kohlenstoffes durch die Waldbewirtschaftung sicherzustellen und darin Ansätze zur Anpassung an den Klimawandel zu finden, gehört zu den grossen zukünftigen Herausforderungen der Förster. Rund 28 Millionen ha, oder knapp 15 %, der europäischen Waldfläche werden als Niederwälder bewirtschaftet. Dessen Kohlenstoffpotenzial ist bis heute nicht vollständig untersucht. In Mazedonien ist die grosse Mehrheit der ländlichen Bevölkerung von Brennholz abhängig, wodurch der Niederwald essentiell für deren Lebensunterhalt ist. Gerade eine nachhaltige Niederwaldbewirtschaftung könnte künftig, aufgrund der kürzeren Umtriebszeiten, eine wichtige Rolle in der Dauerhaftigkeit von Kohlenstoff und der Bewirtschaftung von anpassungsfähigen Wäldern im Rahmen des Klimawandels einnehmen.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Biomasseverteilung und dem Kohlenstoffpotenzial von Buchenniederwäldern in den Gebirgslagen von Ost-Mazedonien. Elf Bäume wurden vermessen und gefällt, die Wurzelstöcke ausgegraben und dessen komplette ober- und unterirdische Biomasse gewogen und analysiert. Mit den erhobenen Felddaten sollte: (i) festgestellt werden, wie sich die Verteilung der unter- und oberirdischen Biomasse in Niederwäldern, bei Bäumen verschiedenen Alters, verhält; (ii) der Buchenhoch- und Niederwald in Bezug auf den Biomassevorrat und dessen Verteilung verglichen werden; und (iii) der Kohlenstoffvorrat von Buchenniederwäldern in Ost-Mazedonien festgestellt werden.

Aus den erhobenen Daten konnte festgestellt werden, dass das Verhältnis zwischen unterirdischer und oberirdischer Biomasse im Niederwald mit 25-27 % höher ausfällt als im Hochwald wo es bei 15-20 % liegt. Über eine Rotationszeit von 50 Jahren ist die durchschnittliche Gesamtbiomasse in Niederwäldern mit 116 t/ha um 60-70 % tiefer als diejenige in Hochwäldern auf vergleichbaren Standorten. Mit den Ergebnissen aus dieser Untersuchung sind die Instrumente zur Berechnung des Kohlenstoffpotenzials der Niederwälder in Ost-Mazedonien vorhanden, für eine abschliessende Aussage müssten jedoch zuerst Waldinventuren zur Aufbesserung der Datengrundlage durchgeführt werden.

Schlagwörter: Buche. Kohlenstoffspeicherung. Biomasse. Niederwald. Mazedonien.

Abstract

AESCHLIMANN, CHRISTIAN. Biomass allocation and carbon potential of beech (*Fagus* spp) coppice forests in Eastern Macedonia.

Conserving forest carbon stocks and carbon sequestration play an increasingly important role in climate change strategies to mitigate the adverse effect of global warming. Managing forests for carbon permanence and adapting forest management approaches to respond to climate change are amongst the greatest future challenges of forest managers. About 28 million hectares or 15 % of Europe's forests are managed as coppice forests. The carbon potential of those areas are not fully analysed yet and their carbon stock and sequestration potential isn't fully researched yet. In Macedonia, the great majority of rural people depend on firewood and coppice forests play an essential role in their livelihood strategies. Sustainable coppice forest management can also play an important role as carbon sinks and in adaptive management to climate change.

The present thesis aims at analysing the carbon stock potential of beech coppice forests in Eastern Macedonia. Eleven trees were harvested in mountainous Eastern Macedonia, their trunks were excavated and their complete biomass was measured and analysed, both above and below ground. The main research questions included (i) the relation between aboveground- and belowground biomass of beech coppice trees in different age; (ii) the comparison of beech high stem- and coppice forests with regard to biomass stockage and allocation; and (iii) the overall carbon stock potential of beech coppice forests in Eastern Macedonia.

The data analysis showed that the rate between above and below ground biomass in beech coppice forests is higher by trend to the one in high stem beech forests and is about 25-27 %. With a rotation time of 50 years the average total biomass of 116 t/ha is 60-70 % lower than the one in high stem forests located in similar sites. This thesis provides results, which can be used as instruments for measurements of carbon potential in southern Balkan beech coppice forests. A conclusion, however, can only be made after further forest inventories in order to improve data basis.

Keywords: Beech coppice. Carbon stocks. Above- and belowground biomass. Macedonia.

1 Einleitung

Der Klimawandel gehört im 21. Jahrhundert zu den gegenwärtigsten und meist diskutierten Themen und wird auch die kommenden Generationen beschäftigen. Dass sich das Klima verändert wird mittlerweile mehrheitlich anerkannt, doch herrschen nach wie vor viele Unsicherheiten bezüglich der Intensität und den damit verbundenen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Weltweit sollen verschiedene, freiwillige, aber auch verpflichtende Programme dazu beitragen, bis 2100 die globale Erwärmung auf maximal +2 °C ansteigen zu lassen (IPCC 2014). Das mengenmässig am stärksten für den Temperaturanstieg verantwortliche der Treibhausgase ist das Kohlenstoffdioxid (CO₂), welches zugleich essentiell für die Flora ist (ebd.). Durch die Photosynthese wird der Atmosphäre CO₂ entzogen und, zusammen mit Licht und Wasser, zu Biomasse umgewandelt. Diese besteht etwa zur Hälfte aus Kohlenstoff (C) (Lambers und Savidge 2003). Wird die Biomasse wieder abgebaut, wird auch das gebundene C wieder freigesetzt. Daraus lässt sich schliessen, dass wenn Holz über dem Zuwachs genutzt oder Waldflächen rodnungsbedingt zweckentfremdet werden, der Wald trotz der Fähigkeit C zu binden als CO₂-Quelle agiert und die Atmosphäre zusätzlich belastet (Fischlin et al. 2006). Somit gehört eine weltweit nachhaltig gestaltete Waldbewirtschaftung mitunter zu den wichtigsten Schritten um den Klimawandel abzuschwächen.

Wie die Bäume auf die eintretende Veränderung reagieren ist noch nicht klar. Doch gerade die Buche (*Fagus sylvatica*) lässt mit ihrer grossen Standortamplitude hoffen, dass sie sich an die steigenden Temperaturen und die unregelmässigeren Niederschläge anpassen kann (Czajkowski 2006). Die Chancen stehen gut, denn Studien zeigen, dass Buchenprovenienzen die heute schon dem Klima ausgesetzt sind, welches in 100 Jahren in der Schweiz vorherrschen könnte, relativ gut mit Trockenheitsstress auskommen (Tegel et al. 2014). Die traditionelle Niederwaldbewirtschaftung könnte, durch die kurzen Umtriebszeiten und der damit eventuell verbesserten Anpassungsfähigkeit an die sich ändernden Gegebenheiten, in Zukunft wieder an Bedeutung gewinnen. Da Niederwälder im Allgemeinen jedoch weniger produktiv sind als Hochwälder, wird zurzeit immer noch die Umwandlung der Nieder- in Hochwälder angestrebt (Kola und Kampen 2014). Bei den Niederwäldern ist über die Biomasse, vor allem über die unterirdische Biomasse, wenig bekannt (Hochbichler 2008). Um hier Klarheit verschaffen zu können, wird in dieser Arbeit die Biomasseverteilung in Buchenniederwäldern in Ost-Mazedonien untersucht, dokumentiert und diskutiert. Zusammenfassend sollen in dieser Arbeit folgende Fragen beantwortet werden:

- Wie gestaltet sich das Verhältnis zwischen ober- und unterirdischer Biomasse?
- Wie hoch ist der Biomasseunterschied zwischen Buchenhoch- und Niederwald?
- Wie hoch ist die durchschnittliche Kohlenstoffbindung in den Buchenniederwäldern von Ost-Mazedonien?

2 Stand des Wissens

Dieser einleitende Teil wurde bewusst sehr ausführlich und breit gestaltet, damit die eingebundenen Informationen auch als Nachschlagewerk dienen können und dem Leser damit ein grober Hintergrund zur Gesamthematik geboten wird. Ab dem Kapitel 3 *Material und Methoden* wird spezifisch auf die Thematik Biomasse und Kohlenstoff eingegangen.

2.1 Die Buche (*Fagus sylvatica* L.)

2.1.1 Verbreitungsgebiet und Ansprüche

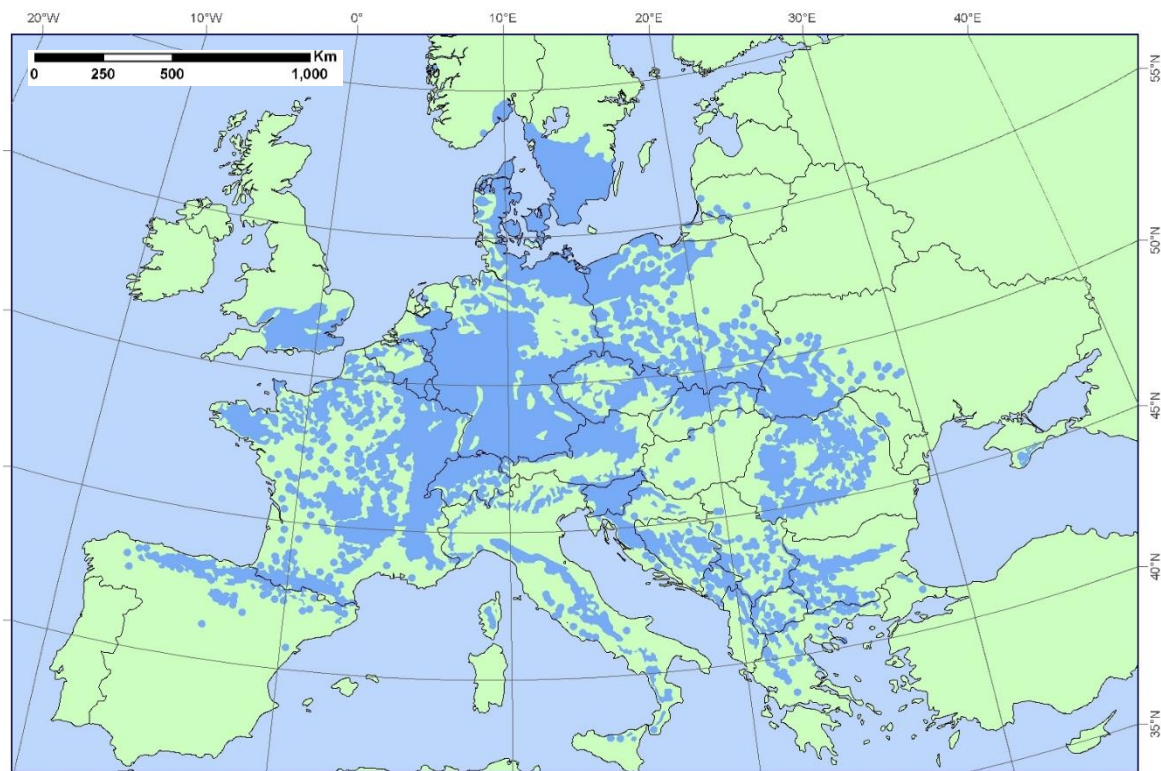


Abb. 1: Arealkarte von *Fagus sylvatica* (Quelle: nach EUFORGEN 2008, abgeändert)

Die Buche, *Fagus sylvatica* L., gehört zu den wirtschaftlich bedeutendsten Laubhölzern Europas. Sie ist eine sommergrüne Baumart und findet ihre natürliche Verbreitung, wie der Abb. 1 zu entnehmen ist, in den gemässigten bis warmgemässigten Klimata Europas (ETHZ 2002). Das grösste und dichteste Vorkommen erreicht sie im zentralen Europa. Die Buche ist vom Kollinen bis ins Submontane, stellenweise sogar noch im Hochmontanen, die vorherrschende Baumart (Nikolova 2007). Sie ist eine typische Schattenbaumart mit ozeanischem Klimacharakter, wobei eine minimale Niederschlagsmenge von 500 bis 600 mm und eine Durchschnittstemperatur zwischen 4 und 15 °C, notwendig sind (Felbermeier und Mosandl 2014). Sie meidet extreme Standorte und findet bei mittlerer Nährstoffversorgung, bei grosser Niederschlagsmenge und hoher Luftfeuchtigkeit, auf frischen und tiefgründigen Böden, ihr Optimum. Sie wächst sowohl auf basenreichen Kalkböden als auch auf eher sauren,

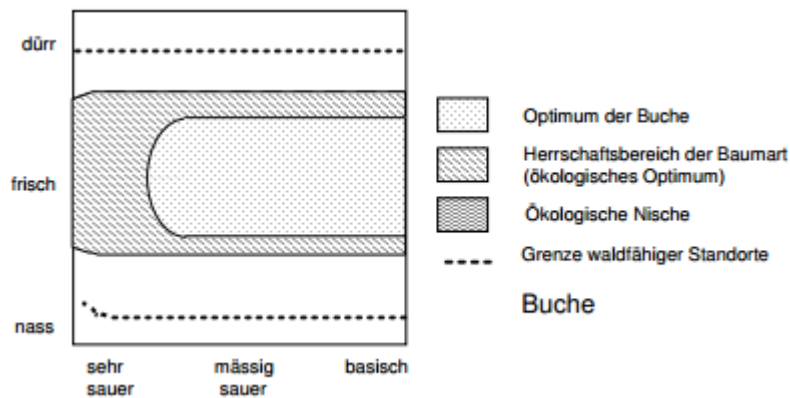


Abb. 2: Ökogramm von *Fagus sylvatica* (Quelle: ETHZ 2002)

von Silikatgestein geprägten, Standorten. Diese Angaben widerspiegeln sich im Ökogramm der Abb. 2. Die Buche ist auch heute bereits auf vielen Standorten ausserhalb ihres physiologischen Optimums dominant (Otto 1994). Östlich kontinental stammende Proven-

ienzen können, abhängig von Topographie und Bodenverhältnissen, Extremereignisse wie 3 monatige Trockenperioden oder extreme Winterkälte von $>-35^{\circ}\text{C}$ überstehen. Kumulieren sich jedoch diese Extremeinflüsse, kann kein konkurrenz-fähiges Buchen-vorkommen mehr garantiert werden, denn diese wirken hauptsächlich in ihrer Intensität, Dauer und Wiederholung (Czajkowski 2006). Im westlichen Eurasien treten zwei Subspezies von *Fagus sylvatica* L. auf: *Fagus sylvatica* ssp. *sylvatica* und *Fagus sylvatica* ssp. *orientalis* (Denk 1999). Übergangsformen der beiden Subspezies werden als weitere Morphotypen von *Fagus sylvatica*, oder als Variationen der beiden Unterarten, beschrieben (ebd.). Die Fähigkeit zur Regelung physiologischer Prozesse scheint zu grösserem Anteil genetisch bedingt zu sein, wie die Auswertungen von Czajkowski und Bolte (2006), über das Verhalten verschiedener Buchenprovenienzen, zeigen. Damit besitzt die Buche ein erhebliches evolutionäres Anpassungspotenzial an Klimaveränderung. Wie anpassungsfähig die Buche in einem kurzen Zeitraum von 85 Jahren bis 2100, wie dieser bei der Abschätzung von Klimaszenarien üblich ist, ist fraglich. Geht man vom ungünstigen Klimaszenario RCP8.5 aus, welches eine globale Temperaturerhöhung von bis zu 4.8°C bis zum Ende des 21. Jahrhunderts prognostiziert, müsste eine Anpassung innerhalb von einer bis zwei Buchengenerationen erfolgen (Czajkowski 2006; IPCC 2014). Die Anpassung über einen solch kurzen Zeitraum, wird wahrscheinlich sogar der Buche Mühe bereiten.

2.1.2 Spezifische Charakteristiken

Oberirdisch

Die Buche kann eine Höhe von maximal 45 m erreichen, wobei das Mittel bei 30-35 m liegt (von Wühlisch 2008). Ihr wirtschaftliches Nutzalter liegt zwischen 80 und 140 Jahren, danach besteht ein erhöhtes Risiko zur Bildung eines Farbkerns, welcher sich monetär entwertend auswirkt (Felbermeier und Mosandl 2014). Unter natürlichen Bedingungen kann sie ein Alter von 300 Jahren erreichen, die ältesten bekannten Exemplare sind sogar 900 Jahre alt. Das typische Merkmal der Buche ist ihre glatte und relativ dünne Rinde. Der Austrieb der Buchenknospen beginnt, je nach Temperaturen, Ende April bis Anfangs Mai (ebd.). Die

Fruchtreife erreicht die Buche, wenn sie frei steht, mit 40 bis 50 Jahren. Im Waldbestand erreicht die Buche die Fruchtreife nach etwa 80 Jahren (Hotovy 1948). Die im Laufe der Vegetationsperiode gebildeten Samen, die Bucheckern, erreichen ihre Reife im Oktober (ebd.). Die Buche verjüngt sich nicht nur generativ, sie kann sich auch vegetativ mit Stockausschlägen und Wurzelbrut vermehren (Nikolova 2007). Mit ihrer intensiven Bodendurchwurzelung und der schnellabbauenden Streu, gilt die Buche als Bodenverbesserer und wird auch als „Mutter des Waldes“ bezeichnet (Kutschera und Lichtenegger 2013). An der Waldgrenze, im südlichen Teil ihres Verbreitungsgebietes, ist die Buche mit buschartigem Habitus anzutreffen. Die Krone ist im Jungwaldstadium kegelförmig und wird später oval bis rund ausgeprägt (ebd.).

Das Buchenholz bietet vielfältige Verwendungsmöglichkeiten, sei es als Industrieholz zur Herstellung verschiedener Holzwerkstoffe, als Schreinerware in der Möbelindustrie oder als Bahnschwellen. Die vermutlich grösste Bedeutung hat das Buchenholz aber in Form von Energieholz (Hotovy 1948).

Unterirdisch

Junge Buchen bilden zunächst eine Pfahlwurzel (Abb. 3, Mitte) welche ab dem 3. Jahr, aufgrund der ausgeprägten Bildung von Seitenwurzeln, in ein Herzwurzelsystem übergeht. In Einzelfällen kann sich die Pfahlwurzel jedoch bis zum 50. Lebensjahr halten (Köstler et al. 1968). Für einen Herzwurzeltyp kennzeichnend ist, eine gleichmässige, etwa halbkugelige Bewurzelung des engeren Stockbereiches (ebd.). Senkwurzelsysteme hingegen sind eher standort- als artenbedingt, und entstehen meist auf staufeuchten, verdichteten Böden, also hauptsächlich auf Pseudogleyböden (Kutschera und Lichtenegger 2013). Unterschiedliche Ausprägungen sind der Abb. 3 zu entnehmen. In der Literatur wird das Wurzelmaterial in verschiedene Wurzelklassen eingeteilt, wobei definitionsgemäss folgendes gilt (Köstler et al. 1968):

- Feinstwurzeln	< 1 mm
- Feinwurzeln	1-2 mm
- Schwachwurzeln	2-5 mm
- Grobwurzeln	5-20 mm
- Derbwurzeln	20-50 mm
- Starkwurzeln	> 50 mm

Indem sich ein Grossteil der Schwachwurzeln in tiefgründigen, lockeren Böden, in der Nähe des Stockbereichs, vertikal vermehrt, erreichen diese bis zu 240 cm Wurzeltiefe, auf allen schweren, dichteren und vor allem schlecht durchlüfteten Böden aber verteilen sich die Wurzeln ausgesprochen flach (Kutschera und Lichtenegger 2013). Die Buche zählt zu den ausgesprochen intensiv wurzelnden Baumarten und hat die höchste, an Waldbäumen festgestellte, Feinwurzelintensität, wobei ihre Bewurzelung schon von frühester Jugend an

extrem dicht ist (Köstler et al. 1968). Häufig bildet die Buche starke Hauptseitenwurzeln, welche an ausgeprägten Wurzelanläufen erkennbar sind. Diese zweigen aber rasch in schwächere Wurzelstränge ab und so sind auch bei älteren Buchen 50 cm vom Wurzelstock entfernt keine Starkwurzeln mehr zu finden. Die Vertikal gerichteten Wurzeln zeigen ein ähnliches Wachstumsverhalten. Sie sind bereits am Ursprung recht schwach ausgebildet und verzweigen sich rasch. Auch bei ungehemmter Entwicklung sind bereits in 50 cm Wurzeltiefe stärkere Vertikalwurzeln nur noch die Ausnahme. Auffallend in Abb. 3 ist, dass die Buche den Boden sehr gleichmässig durchwurzelt. Bereiche, in denen die Wurzelmasse konzentriert ist kommen ebenso wenig vor, wie dazwischenliegende, wurzelfreie Zonen. Unter wechselnden Standortbedingungen kann jedoch auch eine ungleichmässige Durchwurzlung auftreten. Von sämtlichen im europäischen Raum vorkommenden Baumarten, können bei der Buche Wurzelverwachsungen am häufigsten festgestellt werden (ebd.). So kann es gerade bei älteren Buchen auf schwereren Böden öfter der Fall sein, dass sämtliche Horizontal- und viele Herzwurzeln mit- und ineinander verwachsen sind. In den meist engständigen Buchenbeständen kommt es häufig zu Wurzelsymbiosen unter den verschiedenen Individuen. Das Verhältnis zwischen unter- und oberirdischer Biomasse beträgt nach Möller et al. (1954), zitiert in Nikolova (2007), in einer ausgewachsenen Buche lediglich 13-17 %, was auf den niedrigen Anteil der Derbwurzeln zurück zu führen ist. Die Wurzelzellen der Feinwurzeln sind stark mit Ektomykorrhiza befallen, welche die Funktion der Nährsalz- und Wasseraufnahme übernehmen (Leuschner et al. 2004).

Die durchschnittliche Wurzeltiefe beträgt 120-140 cm (Köstler et al. 1968). In kompakten, lehmigen Böden ist die Wurzeltiefe auf 80-90 cm eingeschränkt. In schlecht belüfteten, staunassen Böden beschränkt sich die maximale Wurzeltiefe gar auf nur 50 - 70 cm und das Wurzelsystem wird von einem Herzwurzel- zu einem Senkwurzelsystem. Sowohl die Form als auch die Krümmung der Feinwurzeln wird massgebend von der Bodenart beeinflusst. So können sich am selben Wurzelstock die Feinwurzeln im Oberboden von denen im Unterboden hinsichtlich Aussehen und Grösse massgeblich unterscheiden (ebd.).

Fällt die Bodentemperatur nie unter 0 °C, kann das Wurzelwachstum ganzjährig aufrechterhalten werden, wobei 2 Hauptzuwachszeiten im Frühjahr (April/Mai) und im Herbst (September/Oktober), nach einem zwischenzeitlichen Sommereinbruch, festgestellt werden können (Göttsche 1972; Kutschera und Lichtenegger 2013). Die Feinwurzeln von *Fagus*

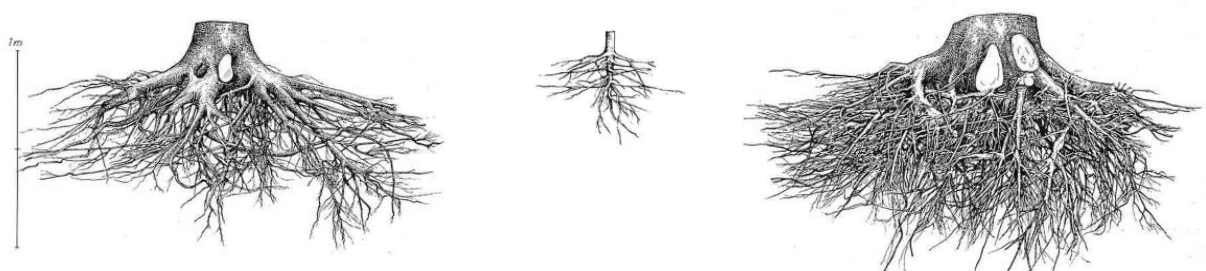


Abb. 3: Schematisch dargestellte Buchenwurzelsysteme mit unterschiedlicher Ausprägung (Quelle: nach Köstler et al. 1968, abgeändert)

sylvatica sind durch das Cutin, in den Zellwänden der Rhizodermis, gegen pathogene Infektionen und Trockenheit geschützt (Kutschera und Lichtenegger 2013). Trotzdem konnte Leuschner et al. (2001) eine höhere Mortalität der Feinwurzeln während der Sommertrockenheit feststellen, wobei diese durch eine höhere Produktion von Feinwurzeln bei erneut feuchtem Boden kompensiert wurde.

2.1.3 Balkanbuche (*Fagus [sylvatica nothosubsp.] moesiaca*) in Mazedonien

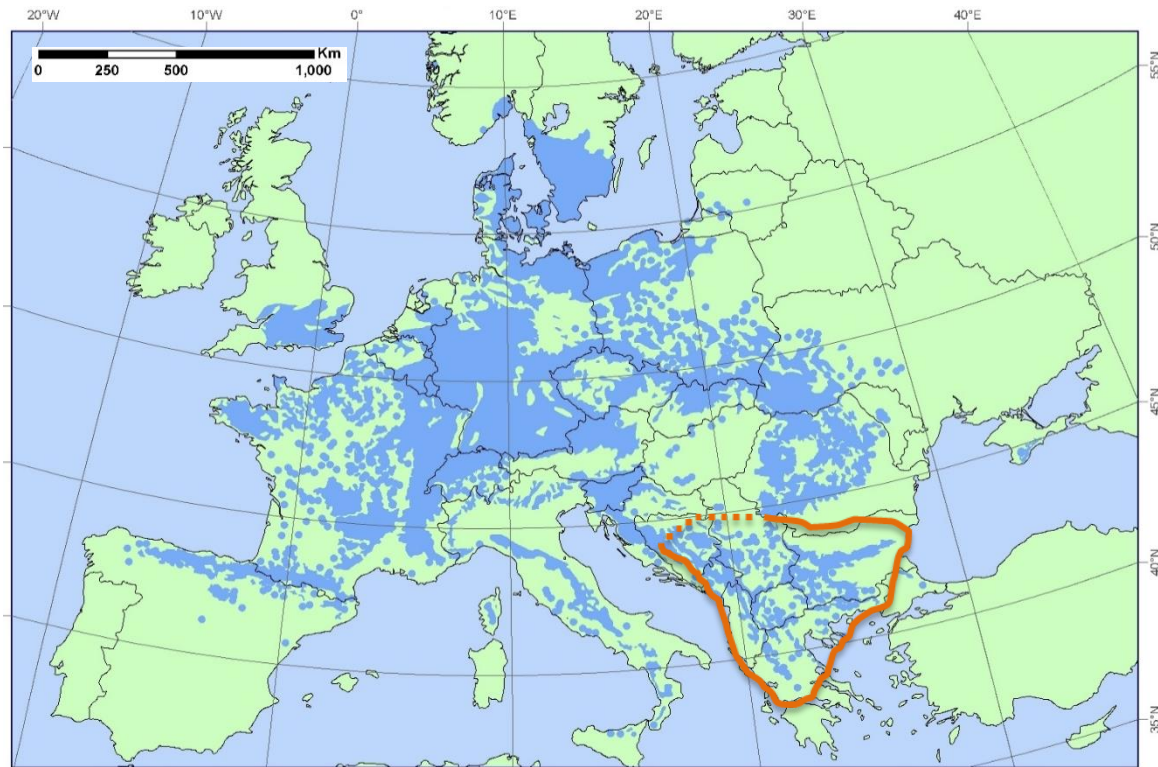


Abb. 4: Arealkarte von *Fagus moesiaca* (Quelle: nach EUFORGEN 2008, abgeändert)

Wie bereits in Kapitel 2.1.1 erwähnt, zeichnet sich die *Buche* (*Fagus sylvatica* ssp. *sylvatica*) durch eine enorme morphologische und genetische Variabilität aus (Denk 1999b). Denk (1999a) konnte mit diversen Geländestudien und morphometrischen Analysen zeigen, dass diese Diversität teilweise durch sich wiederholende phänotypische Muster bedingt ist. Diese drücken sich als Reaktionen auf bestimmte Umweltbedingungen wie trocken-warme Standorte, feuchte Schluchten oder ähnliches aus und treten im gesamten Verbreitungsareal der Buche auf. Morphotypen aus dem in Abb. 4 eingezeichneten Gebiet, bestehend aus dem ehemaligen Jugoslawien, Bulgarien und Griechenland, wurden von Czechtz (1933) als *Fagus moesiaca* (Balkanbuche) beschrieben, welche sowohl mit westlichen als auch mit östlich anschließenden Sippen kinal verknüpft ist. Wissenschaftler sind sich jedoch noch heute uneinig ob es sich dabei allgemein um eine hybride Form zwischen den beiden Subspezies *Fagus sylvatica* ssp. *sylvatica* und *Fagus sylvatica* ssp. *orientalis* -, die sich auf isolierte Populationen in Ostbulgarien beschränkt, - oder um eine eigene Spezies handelt (Marinšek et al. 2013). Die morphologischen Unterschiede zwischen der Europäischen Buche und der

Balkanbuche sind gering. So hat die Balkanbuche grössere Blätter mit mehr lateralen Venen, grössere Bucheckern und der Stiel des Blütenstängels ist länger (Czeczott 1933; Mišić 1957; Stănescu 1979; Gomory et al. 1999). Dazu kommt, dass sie gegenüber der Europäischen Buche ein höheres Austriebsvermögen und eine stärkere Frequenz der Mastjahre hat, dafür aber auch höhere ökologische Ansprüche aufweist (ebd.). Da die *Fagus moesiaca* Populationen morphologisch und genetisch von *Fagus sylvatica* und *Fagus orientalis* Populationen unterschieden werden können, macht es Sinn, *Fagus moesiaca* taxonomisch als separate Subspezies von *Fagus sylvatica* L. zu zählen (Gomory et al. 1999). Im allgemeinen sind die Buchenpopulationen in Europa aber viel homogener als angenommen und können daher gut miteinander verglichen werden (Denk 1999a, 1999b).

Mit einem Flächenanteil von 24 % ist die Buche, nach den verschiedenen Eichenarten, die am zweithäufigsten vertretene Baumart Mazedoniens (Forestry 2014). Die Buche hat jedoch mit 59 %, gegenüber den Eichen mit 25 %, den höheren Vorratsanteil am Gesamtholzvorrat. Dieser signifikante Unterschied ist darauf zurückzuführen, dass es sich bei den Buchenbeständen eher um Hochwälder in üppigeren Regionen und bei den Eichenbeständen hauptsächlich um Niederwälder in kargen Regionen handelt. In Ost-Mazedonien, wo die Feldarbeiten für diese Thesis stattgefunden haben, beträgt der Buchenwaldanteil 23 % (ebd.). Aus der Abb. 5 geht hervor, dass sich die optimalen Buchenstandorte in Mazedonien vor allem in den höheren Lagen befinden.

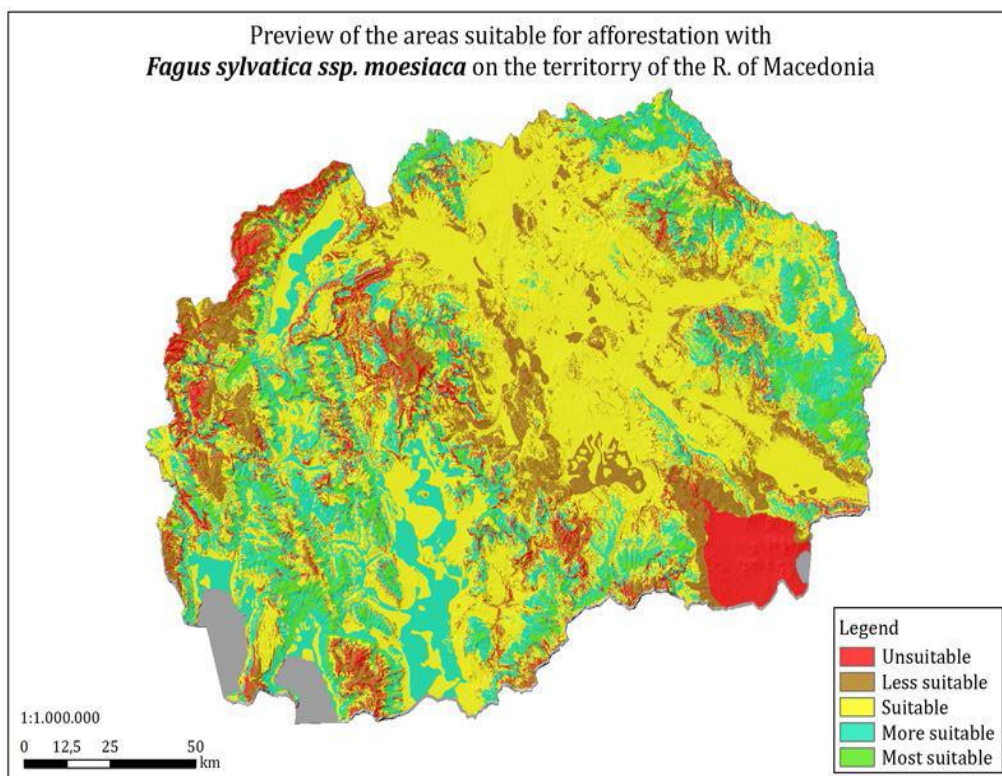


Abb. 5: Potenzielles Buchenverbreitungsgebiet in Mazedonien, wobei sich die gelben, türkis und hellgrünen Bereiche am besten eignen (Quelle: Trendafilov et al. 2007)

In der unteren Abb. 6 sind die Klimazonen Mazedoniens zu sehen, wobei auffällt, dass im Osten wo die Feldarbeiten stattgefunden haben, hauptsächlich die drei grün eingefärbten Klimazonen vorherrschen (Trendafilov et al. 2007).

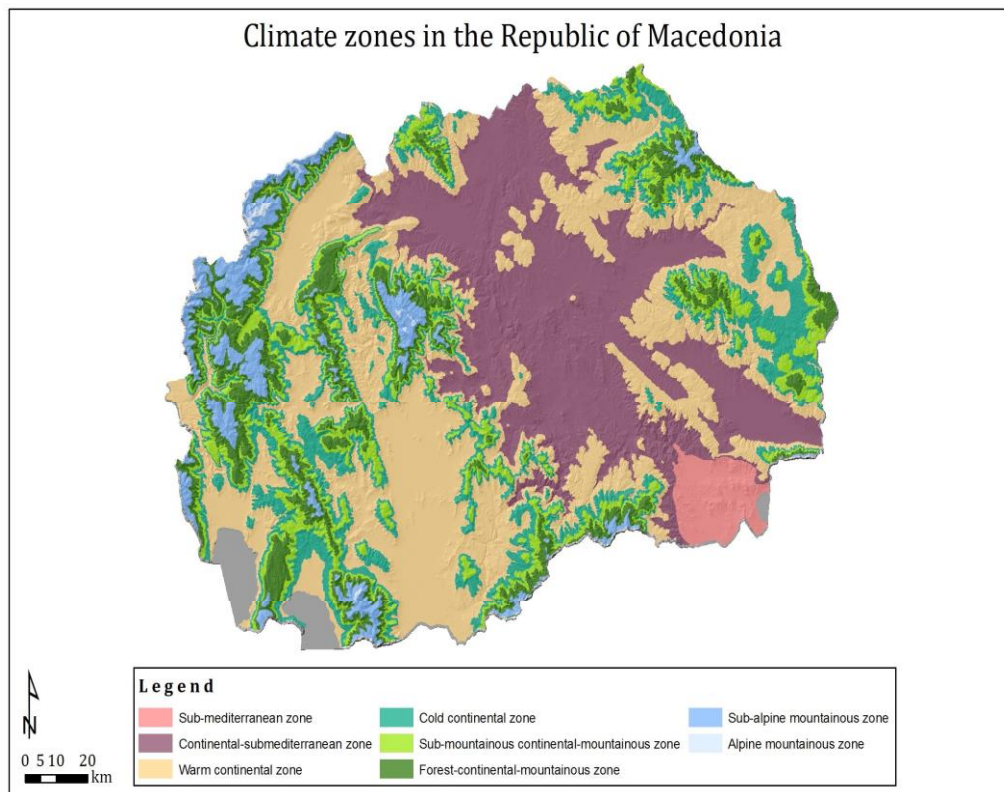


Abb. 6: Klimazonen von Mazedonien. In dieser Arbeit relevant sind türkisgrün die Kaltkontinentale-, hellgrün die Submontane- und dunkelgrün die montane Klimazone (Quelle: Trendafilov et al. 2007)

Nachfolgend werden die drei von Buchen geprägten Klimazonen beziehungsweise Höhenstufen erläutert (Filipovski et al. 1996; Trendafilov et al. 2007; Andonovski et al. 2014). Alle in Kočani untersuchten Bäume befanden sich in der submontanen Klimazone, diejenigen in Males in der submontanen als auch in der montanen Klimazone.

Türkisgrün

Kaltkontinentale Klimazone

Orno-quercetum petraea

Diese Zone erstreckt sich von 900 bis 1'100 m ü. M. Charakteristisch für diese Klimazone ist, dass keine Täler, sondern nur noch hügeliges Gelände anzutreffen ist. Trotzdem ist diese Zone geprägt von landwirtschaftlichen Flächen, sowie Weideland. Der Wald wurde also durch anthropogene Einflüsse stark zurückgedrängt. Die Traubeneiche (*Quercus petraea*) ist hier die vorherrschende Baumart und zugleich diejenige Eichenart, welche den vertikalen Abschluss dieser Vegetationsstufe bildet. Mitherrschende und sonstig anzutreffende Baumarten sind die Balkanbuche (*Fagus sylvatica* ssp. *moesiaca*), die Hopfen- und die Hainbuche (*Ostrya carpinifolia* und *Carpinus betulus*), die Edelkastanie (*Castanea sativa*), und andere Eichenarten wie die Ungarische- und die Flaumeiche (*Quercus frainetto* und *Q. pubescens*). Zusätzlich zu den erwähnten Baumarten können unzählige Strauch- und

Krautarten vorgefunden werden. Der geologische Untergrund ist entweder durch Silikat oder Karbonat geprägt.

Hellgrün Submontane Klimazone *Festuco heterophyllae–Fagetum*

Diese Zone ist von submontanem und kontinental montanem Klima geprägt und erstreckt sich von 1'100 bis 1'300 m ü. M. Das geologische Substrat besteht aus kompaktem Silikatgestein, welches eine saure Braunerde mit mittlerer Tiefe hervorruft, die moderat frisch bis feucht ist. Diese Höhenstufe ist frei von Trockenperioden und deshalb prädestiniert für Buchen- und Buchen-Tannenwälder. Wie bereits mehrfach erwähnt handelt es sich bei der hier vorkommenden Buche um die Balkanbuche. Weiter sind in dieser Zone die Hainbuche (*Carpinus betulus*), die Traubeneiche (*Quercus petraea*), die Schwarzföhre (*Pinus nigra*), der Kirschbaum (*Prunus avium*) und Sträucher wie der Hasel (*Corylus avellana*), die Kornelkirsche (*Cornus mas*), sowie die Elsbeere (*Sorbus torminalis*) vorzufinden. Die Lebensbedingungen sind meist mesophil neutral, wobei die Gebiete im Osten mit pH 4 sehr sauer sind.

Dunkelgrün Montane Klimazone *Calamintho grandiflorae-Fagetum*

In dieser Höhe von 1'300 bis 1'650 m ü. M. kommen die Buchenwälder am häufigsten vor. Das geologische Substrat umfasst kompaktes Silikatgestein, welches ebenfalls eine saure Braunerde mit mittlerer Tiefe hervorruft, die moderat frisch bis feucht ist. Im Gegensatz zur submontanen Klimazone weist die saure Braunerde in der montanen Klimazone einen höheren Humusanteil auf. Die klimatischen Bedingungen in dieser Zone werden charakterisiert durch das Ausbleiben von Trockenperioden, die milden Extremtemperaturen und den häufig auftretenden Nebel. Die Dominanz der Balkanbuche verhindert das Gedeihen anderer Spezies. Daher haben die Weisstanne (*Abies alba*) und die Bulgarische Tanne (*Abies borisii-regis*), Mühe sich zu entfalten und auszubreiten. Vereinzelt kommen die Zitterpappel (*Populus tremula*), der Bergahorn (*Acer platanoides*), die Salweide (*Salix caprea*) und die Bergulme (*Ulmus glabra*), vor. Nach Kahlschlägen von Buchen- und Buchen-Tannenwäldern schafft es die Waldföhre (*Pinus sylvestris*), speziell an kalten, nördlich ausgerichteten Expositionen, sich als Pionierbaumart anzusiedeln. Diese Zone von puren Buchenwäldern ist mesophil und meist basisch bis leicht sauer.

2.2 Forstsektor in Mazedonien: Ein Überblick

Die Wälder in Mazedonien sind dem Ministerium für Land-, Forst- und Wasserwirtschaft unterstellt, für welches seit Juni 2014 Ministerpräsident Mihail Cvetkov zuständig ist (GRM 2014). Der Wald in Mazedonien spielt nicht nur eine Schlüsselrolle in der Holzproduktion, sondern ist essentiell für die Sicherstellung einer hochwertigen Trinkwasserqualität, das Bereitstellen von Nicht-Holzprodukten, die Jagd, den Tourismus und die Naherholung

(MAFWE 2014). Das mazedonische Forstgesetz regelt die Planung, die Bewirtschaftung, den Waldbau und die Schutzfunktion der Wälder (Andonovski et al. 2014). Das Forstgesetz gilt für die gesamte Waldfläche und ist Eigentümer unabhängig (ebd.)

Laut dem aktuellsten Statistikrapport (2014) beträgt die gesamte Waldfläche Mazedoniens 983'388 ha, wovon 43'346 ha als degradierte Waldflächen ausgeschieden sind. Rund 85 % des Waldbestandes besteht aus Laubholz, was mit ein Grund ist, weshalb mehr als 75 % des jährlichen Holzeinschnitts als Brennholz Verwendung findet. Vom gesamten Holzeinschnitt, welcher 2014 531'636 m³ betrug, sind knapp 55 % auf geschlagenes Buchenholz gefallen (ebd.). Aufgrund des grossen Brennholzbedarfes lässt sich der mit rund 60 % hohe Niederwaldanteil erklären (Nestrovski et al. 2009).

Die Baumartenaufteilung kann der Tab. 1 entnommen werden. Da die Feldarbeiten in Ost-Mazedonien stattgefunden haben, sind dessen spezifischen Werte ebenfalls aufgelistet. Auffallend dabei ist, dass sich die prozentualen Werte nur geringfügig unterscheiden. Daher kann man mutmassen, dass die Feldarbeiten nicht nur die Situation in Ost-Mazedonien darstellen, sondern allenfalls auch das gesamte Land repräsentieren.

Tab. 1: Baumartenzusammensetzung und Flächenverteilung (Quelle: nach Statistikrapport 2014, verändert)

	Mazedonien in ha	in %	Ost-Mazedonien in ha	in %
Waldfläche total	983'388	100	139'553	100
Laubhölzer	600'847	61	86'120	62
<i>Fagus moesiaca</i>	232'243	24	32'226	23
<i>Quercus sp.</i>	308'058	31	49'760	36
übriges Laubh.	60'546	6	4'134	3
Nadelhölzer	68'670	7	11'031	8
<i>Picea abies</i>	1'152	<1	-	-
<i>Abies alba</i>	5'847	<1	-	-
<i>Pinus nigra</i>	45'360	5	9'406	7
übriges Nadelh.	16'311	2	1'490	1
Mischwälder	270'525	28	39'430	28
Waldfläche degr.	43'346	4	2'972	2

Aufgrund des turbulenten letzten Jahrhunderts sind die Besitzverhältnisse in Mazedonien relativ einseitig. Die Angaben zu den Besitzverhältnissen stammen aus den Forstinventuren (1938, 1961, 1979), der Strategie für nachhaltige Entwicklung in der mazedonischen Forstwirtschaft (2006) sowie aus den Managementplänen über den Wald, den öffentlichen Forstdienst und die Nationalparks (2004) und wurden von Trendafilov et al. (2008) analysiert. Seit Mazedonien 1991 die Unabhängigkeit erlangen konnte, wurden rund 11 % der zuvor verstaatlichten Privatwälder an die rechtmässigen Eigentümer zurückerstattet. Seit Juni 2007 besteht die nationale Vereinigung der privaten Waldbesitzer Mazedoniens (NAPFO) (Skenderski 2011). Diese vertritt die Interessen der Privatwaldbesitzer nach einer nachhaltigen und rentablen Bewirtschaftung von deren Wäldern. Mittlerweile zählt diese Vereinigung über 1'600 Mitglieder (Stand 2011). Das politische Gewicht dieser Vereinigung zeigte sich durch

die Mitsprache und Involvierung bei der Neugestaltung des Waldgesetzes 2008. Die NAPFO setzt sich auch für die internationale Zusammenarbeit und für gemeinsame Forschungsprojekte ein (ebd.).

Wie in Abb. 7 ersichtlich ist, hat zwischen 1938 und 1979 die gesamte Waldfläche von 615'261 ha auf 905'653 ha zugenommen und war vollständig staatliches Eigentum. Weiter nahm die Waldfläche bis 2006 auf 1'041'799 ha zu, wobei hiervon wieder knapp 10 % als Privatwald ausgeschieden sind (Trendafilov et al. 2008).

Im Allgemeinen sind die Zahlen mit Vorsicht zu geniessen, da aufgrund der schlechten Dokumentation über die Privatwälder und der unscharfen Abgrenzung zwischen forstlichen und landwirtschaftlichen Flächen, Unstimmigkeiten herrschen. Die rund 220'000 Privatwaldparzellen sind auf ca. 65'000 Familien verteilt, was eine durchschnittliche Parzellengrösse von 0.6 ha ergibt (ebd.).

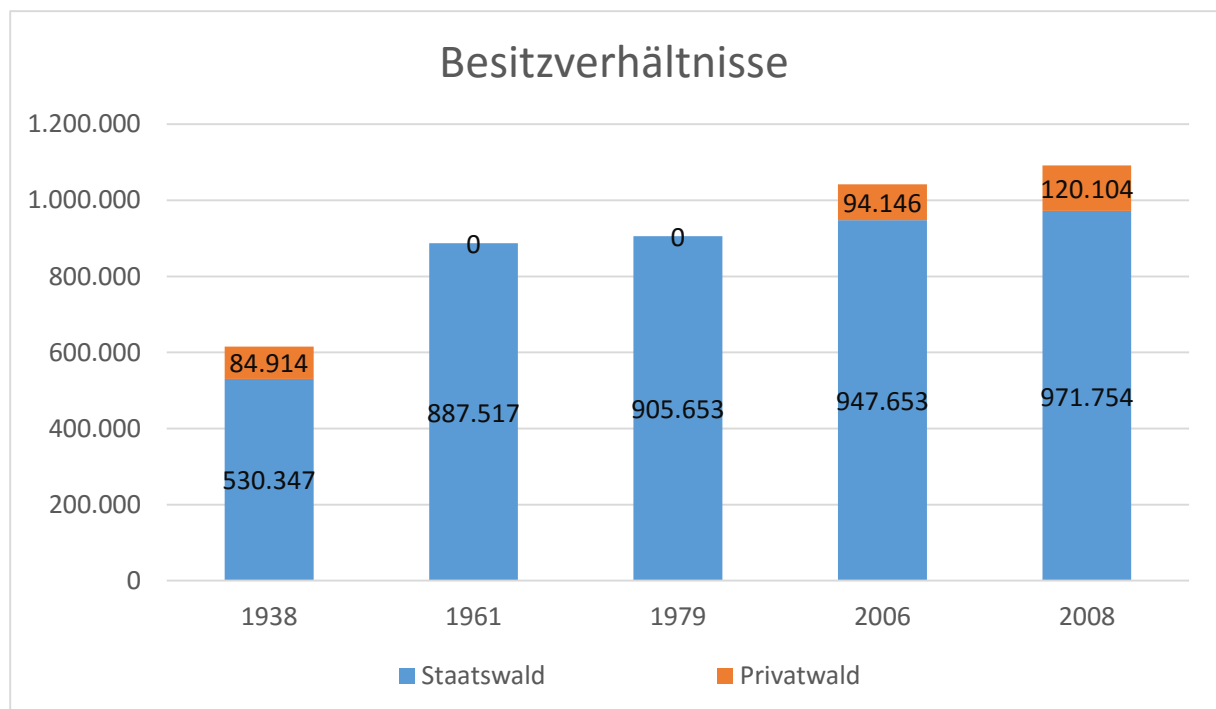


Abb. 7: Waldbesitzverhältnisse (in ha) in Mazedonien (Quelle: nach Trendafilov 2008, eigene Darstellung)

Zurzeit werden die mazedonischen Wälder durch einzelne wenige Firmen bewirtschaftet. Der öffentliche Forstdienst „Public Enterprise of Macedonian Forest“ (PEMF) bewirtschaftet den grössten Teil des Staatswaldes (MAFWE 2014). Nationalparks werden von speziell dafür vorgesehenen Einrichtungen unterhalten. Die privaten Wälder werden von dessen Besitzern unterhalten, wobei die Bewirtschaftung nach den Auflagen des Waldentwicklungsplanes des entsprechenden Forstreviers geschehen sollte. Allgemein sind die Waldentwicklungspläne für 20 Jahre gültig, ist die Parzelle jedoch grösser als 100 ha muss dieser alle 10 Jahre erneuert werden. Die Pläne werden durch das MAFWE abgesegnet und die Umsetzung durch das Forstinspektorat kontrolliert. Die Waldfläche ist auf 270 Forstreviere aufgeteilt. Das Ziel ist es 70 % des jährlichen Zuwachses zu nutzen, über die letzten 15 Jahre gesehen wurden jedoch

nur knapp 40 % genutzt. Dies ist vor allem auf die Einschränkung der Durchsetzung von Kahlschlägen und die schlechte Qualität der Strassen zurückzuführen. So sei es in den feuchten Herbstmonaten oftmals gar nicht möglich einerseits die Arbeiter in den Wald und andererseits das Holz aus dem Wald zu führen. PEMF, die nahezu 80 % der mazedonischen Wälder bewirtschaftet, ist eine sich selbstfinanzierende Firma ohne staatliche Unterstützung. Dabei bleiben die Gewinne nicht im Forstrevier, sondern werden an das MAFWE weitergereicht. Dies ist mit ein Grund dafür, dass die mazedonische Forstwirtschaft weniger nachhaltig ist, als eigentlich angestrebt wird (ebd.).

2.2.1 Bewirtschaftung der Wälder

Die Fläche eines Forstreviers, dessen Bewirtschaftung durch den darauf abgestimmten Waldentwicklungsplan festgelegt wird, darf nicht grösser als 5'000 ha sein, wenn der Hochwaldanteil mehr als 60 % der Waldfläche beträgt. Ist der Niederwaldanteil grösser als 40 % der Waldfläche, darf das Forstrevier bis zu 10'000 ha gross sein. (Andonovski et al. 2014).

Dabei wird in jedem Waldentwicklungsplan zwischen Waldfläche und nicht Waldfläche unterschieden. Zur Waldfläche gehören unter anderem die Waldstrassen und Pflanzschulen. Zu den nicht Waldflächen werden Flächen gezählt, welche keinen direkten Zusammenhang mit der Waldbewirtschaftung haben. So zum Beispiel landwirtschaftliche Flächen, Weiden, Wasserreservoirs, Gebäude und auch die öffentlichen Strassen.

Die Waldfläche in einem Forstrevier ist jeweils weiter in Sektionen und Parzellen aufgeteilt. Seit 2012 wird daran gearbeitet, die Karten mit den Waldbeständen zu digitalisieren, um GIS gestützte Karten nutzen zu können (ebd.).

2.3 Niederwald

Als charakteristischer Niederwald gilt ein Wald, bei dem die Verjüngung durch den Wiederausschlag aus den bei der Nutzung zurückgebliebenen Wurzelstöcken erfolgt. Diese Art von Nutzung wird umgangssprachlich auch als „auf den Stock setzen“ bezeichnet, da die einzelnen Bäume knapp oberhalb des Wurzelstockes abgehauen oder abgesägt werden (Conrady et al. 2007). Die Nutzung des Holzes erfolgt jeweils nach einer kurzen Wachstumsperiode zwischen 15-40 Jahren. Die Rotationsdauer kann jedoch individuell auch kürzer oder aber auch länger ausfallen. Durch die kurze Umtriebszeit wird hauptsächlich Holz in schwachen Dimensionen erzeugt (ebd.).

Abb. 8 charakterisiert den Turnus eines Niederwaldes relativ gut und man kann sich dabei vorstellen, dass nach 5 Rotationen bei der Freifläche die Wurzelstöcke bereits 200 Jahre alt sein können.

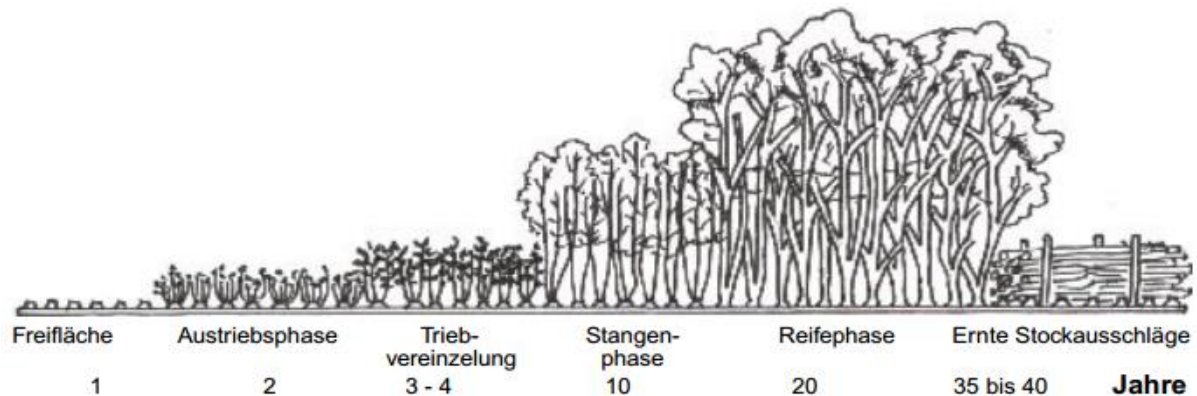


Abb. 8: Sukzessionsphasen im Niederwald (Quelle: waldbesitzer-info.de)

Die Niederwaldbewirtschaftung ist eine Form der Waldnutzung, die auf der vegetativen Regenerationsfähigkeit von Waldbäumen und -sträuchern beruht und nur funktioniert wenn genügend ausschlagfähige Baum- und Straucharten vorhanden sind (Suchomel und Konold 2008). Dabei handelt es sich überwiegend um Laubhölzer wie Eichen (*Quercus sp.*), Rotbuchen (*Fagus sylvatica*), Hagebuchen (*Carpinus betulus*), Birken (*Betula sp.*), Edelkastanien (*Castanea sativa*), Weiden (*Salix sp.*) oder Pappeln (*Populus sp.*). Über sogenannte schlafende Augen im Sekundärmeristem können die erwähnten Laubhölzer unterhalb der Schnittfläche erneut austreiben und zu einem Stamm heranwachsen (ebd.). Es wird daher auch von Ausschlagwald gesprochen (Röhring et al. 2006). Gewisse Arten wie zum Beispiel Edelkastanien (*Castanea sativa*), Pappeln (*Populus sp.*) oder Weiden (*Salix sp.*) können zusätzlich Wurzelbrut betreiben. Durch den periodischen Wundreiz beim Nutzen der Bäume werden die Wurzelstöcke immer wieder zu Regeneration angeregt und können daher ein Alter von mehreren 100 Jahren erreichen (Pyttel et al. 2012).

Besonderheiten des Niederwaldes sind die hohe Lichtdurchlässigkeit der Kronen in jungen Jahren, die eine hohe Licht- und Wärmestrahlung und eine geringe Bodenfeuchte verursachen, was in Bezug auf die Klimaerwärmung als eher negativ zu werten ist. Der Kahlschlag tritt auf Grund der kürzeren Umtriebszeit viel häufiger auf, als im Hochwald. Die nahezu vollständige Nutzung führt zu einem starken Nährstoffaustrag, der früher bei Beweidung und Streunutzung noch erhöht wurde (ebd.).

2.3.1 Niederwald in Mazedonien

Die Primärwälder sind in ganz Südosteuropa ab dem 18. Jahrhundert stark genutzt und mit der Industrialisierung im 19. Jahrhundert aufgrund verschiedener Bedürfnisse wie Bauholz, Holz für die Köhlereien oder Brennholz ganz verschwunden, respektive in Sekundärwälder umgewandelt worden (Stajic et al. 2009). Da der Bedarf an Holz langanhaltend war wurden die Umtriebszeiten kurz gehalten wodurch die eigentlichen Niederwälder entstanden sind.

Viele Waldflächen wurden durch die intensive Viehnutzung zu Weideflächen umgewandelt. Mit der Übernutzung sind die Naturkatastrophen in Form von Waldbränden, eingetroffen, wodurch der Drang nach Bewirtschaftungsrichtlinien gestiegen ist. Mit dem Forstgesetz das Kroatien (1769), Bulgarien (1870) und Serbien (1891) einführten, waren auch die ersten Bewirtschaftungsrichtlinien vorhanden, welche eine nachhaltige Holzproduktion gewähren sollten. Die Armut und die fortwährenden Kriege haben jedoch dazu beigetragen, dass die Übernutzung sogar noch zugenommen hatte. Die Folgen waren der Rückgang der Waldfläche um bis zu 35 %, ein Wechsel der Baumartenzusammensetzung, sowie die typischen Degradierungsprozesse bis hin zu erodierten Landflächen. Obwohl in Westeuropa das Einsetzen von Bewirtschaftungsplänen schon länger üblich war, wurde im Balkan noch lange ohne professionelle Richtlinien gewirtschaftet. Ein organisiertes Umwandeln von Niederwäldern zurück zu Hochwäldern startete erst nach den 1960er und es wurde vermutet, dass diese binnen einiger Dekaden vollendet sei. Heute weiss man, dass sich die Situation aus sozialen und ökonomischen Gründen kaum verändert hat. So sind die Niederwaldflächen in Bulgarien von 1.69 Mio. ha auf 1.75 Mio. ha, in Mazedonien von 0.54 Mio. ha auf 0.56 Mio. ha und in Serbien gar von 1 Mio. ha auf 1.45 Mio. ha gestiegen (ebd.). Das mazedonische Forstgesetz legt die Überführung von Niederwald zu Hochwald fest (Andonovski et al. 2014). In Abb. 9 erkennt man einen typischen Stockausschlag einer Buche. Interessant ist, dass der Durchmesser der Wurzel ausdehnung grösser als die Höhe der Buche ist und dabei die Grösse der herkömmlichen Wurzelbilder in Abb. 3 um ein vielfaches übertrifft. Das Verhältnis zwischen unter- und oberirdischer Biomasse ist aufgrund der geringen Baumhöhe überdurchschnittlich gross. Zur Abb. 9 sind bedauerlicherweise keine detaillierteren Informationen bekannt.

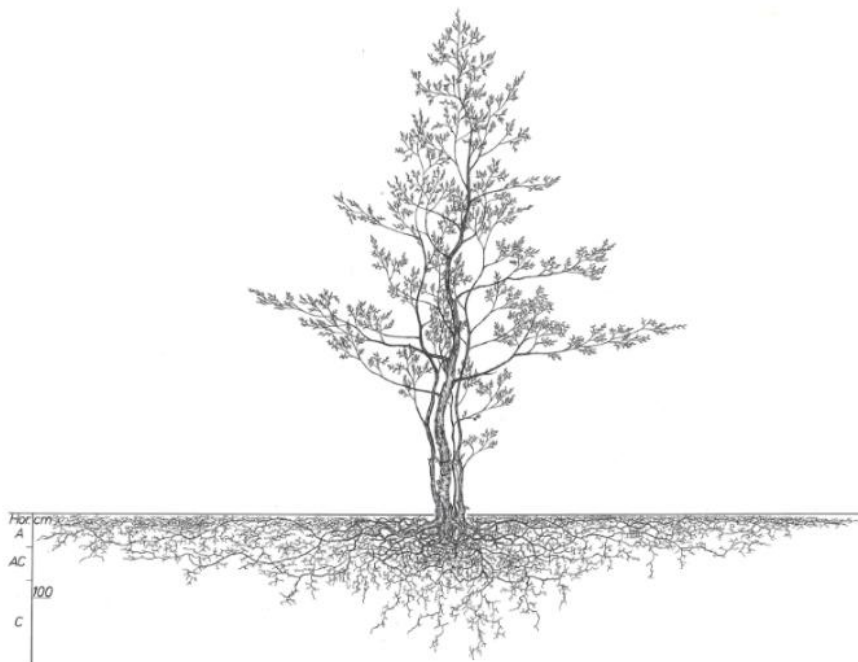


Abb. 9: *Fagus sylvatica* mit Stockausschlag, H-T-S = 585-166-1,009 cm, am Nordfuss des Grimming, Steiermark, auf Moderrendzina über Kalkschutt mit Braunlehmeintrag, 760 m ü. M.
(Quelle: nach Kutschera und Lichtenegger 2013, verändert)

Traditionelle Niederwaldbewirtschaftung

Bäume werden in kurzen Umtrieben genutzt, um eine Regeneration durch Stockausschläge oder Wurzelbrut zu gewährleisten (Stajic et al. 2009). Eine nachhaltige Holzbereitstellung ist dann sichergestellt, wenn die Gesamtfläche des Niederwaldes durch Anzahl Jahre eines Umtriebes in Teilflächen geteilt wird. Die Umtriebszeiten variieren zwischen der Baumart und dem gewünschten Produkt. So reicht 1 Jahr um die Weidenruten für das Herstellen von Körben zu ernten und es braucht 20-40 Jahre um Brennholz oder Schreinerware heranwachsen zu lassen (ebd.). Aus ökonomischen Gründen liegt die Umtriebszeit von Niederwäldern in den mazedonischen Staatswäldern bei 50 Jahren und die Kahlschlagfläche dehnt sich bis zu einer Grösse von 100 ha aus (Andonovski et al. 2014).

Überalterte Niederwälder

Mit dem Gedanken Niederwälder in Hochwälder zu überführen wurden bestehende Niederwaldflächen nach 40 Jahren nicht genutzt, wodurch grosse Dimensionen von Schreinerqualität herangewachsen sind (Stajic et al. 2009). Gut bestockte und gesunde Niederwälder werden so in Rotationen von 80-100 Jahren geerntet. Dafür werden aufgrund des Wertzuwachses mit zunehmender Dimension hauptsächlich Eichen und Buchen verwendet (ebd.).

Niederwaldbewirtschaftung mit Überhältern und Mittelwaldbewirtschaftung

Zum Zeitpunkt des Kahlschlages werden 20-30 Bäume pro ha stehen gelassen. Ziel dieser Bewirtschaftungsmethode ist es, mit dem darauf folgenden Kahlschlag zusätzlich höherwertiges, sägefähiges Holz zu ernten (ebd.). Der Unterschied der Mittelwaldbewirtschaftung ist, dass man hier Bäume die aus Samen herangewachsen sind in der Oberschicht und den Niederwald in der unteren Schicht hat. Diese Bewirtschaftungsform ist vor allem für Privatwaldbesitzer interessant, die dadurch den eigenen Bedarf an Brennholz oder Pfählen stillen- und zugleich höherwertiges Holz produzieren können. Dabei ist es auch möglich Rinder, üblicherweise 3-5 Jahre nach dem letzten Eingriff, darin weiden zu lassen (ebd.).

Schneitelung

Die Schneitelung kommt heutzutage in Mazedonien fast nicht mehr vor (ebd.). Sie dient zur Bereitstellung von Ruten, welche zum Flechten von Körben und Möbel benötigt werden, als auch zum Füttern des Viehs durch den Winter. Damit das Vieh ganzjährig in diesen Beständen weiden kann werden Flaumeiche und die Edelkastanie auf 2-3 m Höhe abgeschnitten (ebd.).

Schutzgürtel

Stockausschläge als Hecken zu nutzen ist ein wichtiges Hilfsmittel um die angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen vor starker Windeinwirkung und der daraus resultierenden Erosion zu schützen (ebd.). Zusätzlich kann der Landwirt alle paar Jahre das anfallende Holz als Brennholz nutzen. Dafür genutzte Baumarten sind Pappeln und in Einzelfällen Eichen. In ariden Gebieten macht es Sinn, die trockenheitsunempfindlichere Robinie dafür zu nutzen (ebd.).

2.3.2 Bedeutung der Niederwälder

Bei einer qualitativen Umfrage in Rheinland-Pfalz sind zehn Förster zur Wahrnehmung von Niederwäldern befragt worden. Dabei wurde untersucht, in wie fern diese Bewirtschaftungsform heutzutage noch Bedeutung hat (Becker 2013).

Wirtschaftliche Aspekte

Da die Nachfrage nach Brennholz in den letzten Jahren aus Gründen der Nachhaltigkeit wieder zugenommen hat, sind die Befragten der Meinung, dass der Niederwald für die Bevölkerung einen hohen Stellenwert hat. Gerade Standorte bei denen ohnehin keine wertvolleren waldbaulichen Ziele verfolgt werden oder verfolgt werden können, bietet sich diese kulturell historische Bewirtschaftungsform an. Obwohl auch Edellaubholzarten, wie zum Beispiel Sorbus, miteingebracht werden und bei guter Pflege durchaus Parkett- oder schwaches Stammholz anfällt, befürchtet der Grossteil der Befragten, dass ein positives Betriebsergebnis nur schwer zu erzielen sei. Dies weil der Holzvorrat zu gering, die Baumartenzusammensetzung nicht angemessen und die anfallenden Kosten für Wildschutz und Wegebau durch die Einnahmen kaum gedeckt werden könnten. Allerdings könnte der wachsende Markt für Hackschnitzel diese Ausgangslage zum Positiven wenden.

Naturschutzfachliche Bedeutung

Der naturschutzfachliche Wert von Niederwäldern ergibt sich nicht durch das Vorkommen seltener Arten, sondern aus dem Arten- und Strukturreichtum, der durch die Vielzahl verschiedener nebeneinander vorkommenden Altersstadien entsteht (Suchomel und Konold 2008). Für Arten die strukturreiche Wälder als ihren Optimallebensraum bevorzugen, bieten sich Niederwälder besonders an (ebd.). Auch gefährdeten Arten, wie zum Beispiel auf Wärme angewiesene Reptilien, bietet sich der Niederwald mit seinem lichtdurchlässigen Deckungsgrad an (Becker 2013). Im Allgemeinen kann sich der durch die häufigen Eingriffe hervorgerufene Grenzlinieneffekt positiv auf die Biodiversität auswirken und auch die typische Schlagflora bleibt erhalten (ebd.).

Wer in Natur und Landschaft eingreift, ist in Deutschland gesetzlich verpflichtet dabei entstehende Beeinträchtigungen von Naturhaushalt und Landschaftsbild zu vermeiden. Nicht vermeidbare, erhebliche Beeinträchtigungen sind durch geeignete Massnahmen zu kompensieren (LUNG 2010). In der praktischen Umsetzung dieser Regelung hat sich gezeigt, dass es zunehmend schwieriger wird, zeitnah, geeignete Flächen und Massnahmen für die Kompensation zu finden. Durch die Ökokontierung soll diesem Problem begegnet werden. Ökokontierung bedeutet, dass Kompensationsmassnahmen zeitlich vorgelagert und ohne konkreten Eingriff durchgeführt, anerkannt und in ein Ökokonto eingebucht werden. Bei zukünftigen Eingriffen können Kompensationspflichtige dann geeignete Massnahmen von diesem Konto abbuchen (ebd.). Eine Ausweisung von Niederwaldflächen als Kompensationsflächen erscheint durchaus sinnvoll (Becker 2013).

Schutzfunktion

Das Potenzial von Niederwäldern in der Rolle des Schutzwaldes wird als hoch angesehen. Gerade in Steillagen eignet sich der Niederwald als Erosionsschutz und zur Hangstabilisierung besonders, da sich durch das wiederkehrende auf den Stock setzen und somit Tiefh alten der Baumhöhe kein Statikproblem ergibt (ebd.). Die Bewirtschaftung solcher Schutzwälder erfordert jedoch eine gut durchdachte Planung. Gerade in Mazedonien wo die Kahlschläge aus wirtschaftlichen Gründen grossflächig ausgeführt werden, kann gerade dadurch die Erosion noch verstärkt zum Problem werden (Andonovski et al. 2014).

Kulturhistorische Bedeutung und Landschaftsästhetik

Die kulturhistorische Bedeutung von Niederwäldern ist allgemein bekannt und ist gerade in ärmeren Ländern wie in Südosteuropa noch heute aktuell (Nikolov 2004; Stajic et al. 2009). Da die PEMF keinerlei staatliche Unterstützung geniesst, steht das Betriebsergebnis im Vordergrund und somit wird die gewinnbringendste Waldbewirtschaftung angestrebt (MAFWE 2014). Die Situation in Deutschland ist simultan zu derjenigen in Mazedonien, so könnte man sich jedoch vorstellen in kulturhistorischen Ortschaften aus denen sich Tourismusstandorte entwickelt haben, die Niederwaldbewirtschaftung in den Tourismus zu integrieren und durch finanzieren zu lassen (Becker 2013). Die Umsetzung in Mazedonien könnte eine Art Freilichtmuseum in Naturparks oder einem Naherholungsgebiet sein, wo der lokale Förster entgeltliche Führungen anbietet, welche frühere Nutzungsformen, wie zum Beispiel das Herstellen von Kohle, aufzeigt.

Landschaftsästhetisch bietet ein Niederwald einen tollen Kontrast zum Hochwald. Der Blick auf das wolkenartige Kronendach aus der Ferne ist man sich heute in Mitteleuropa kaum mehr gewohnt. In den osteuropäischen Ländern wie Mazedonien ist dieses Bild jedoch noch allgegenwärtig. Auch das Bild eines überalterten Buchenniederwalds ist äusserst imposant

und als Waldbild dem Buchenhallenwald mindestens gleichwertig. Die durch den Kahlschlag entstehende Weitsicht kann von der Bevölkerung und den Touristen sowohl positiv als auch negativ angesehen werden.

2.4 Biomasseerhebung

Die Biomasse eines Baumes spielt eine Schlüsselrolle in der nachhaltigen Waldbewirtschaftung und für die Schätzung der Kohlenstoffspeicher. Um die oberirdische Biomasse (AGB) bestimmen zu können, werden verschiedene Methoden angewandt. Die rudimentärste und genaueste davon ist sicherlich den Baum oder die Bäume zu fällen, diese zu trocknen und anschliessend zu wägen. Die in Form von Wasser gespeicherte Feuchtigkeit ist nun verdampft und übrig bleibt die effektive, oberirdische Biomasse. Doch gerade im Hinblick auf den Kohlenstoffspeicher darf die unterirdische Biomasse (BGB) nicht vernachlässigt werden. Diese beträgt in den temperierten Wäldern je nach Vorrat zwischen 20-46 % der AGB (IPCC 2006). Geht man von einem mittleren Waldbaum, mit einem BHD von 40 cm und einer Höhe von 25 m aus, hat dieser frisch geschnitten ein Gesamtgewicht von rund 2 t (West 2015). Das mag für Forschungszwecke, um Anhaltspunkte und um repräsentative Werte generieren zu können, angemessen sein, ist jedoch mit enormem Arbeitsaufwand und grossen Gerätschaften verbunden. Deshalb wird versucht, mittels Formeln und Funktionen, möglichst genaue Hochrechnungen zu erhalten.

2.4.1 Oberirdisch Biomasse

Die oberirdische Biomasse (AGB) lässt sich auch ohne das aufwendige Vermessen, mittels Inventurdaten und mathematischer Formeln abschätzen. Das am weitest verbreiteten mathematische Model ist die allometrische Funktion $AGB = aBHD^b$ wobei a und b Regressionskoeffizienten sind und zusammen mit dem BHD auf die oberirdische Biomasse geschlossen werden kann (Zianis und Mencuccini 2004). Zu erwähnen ist, dass sich diese Funktionen fast ausschliesslich auf Hochwälder, und nicht auf mehrstämmige Niederwälder, beziehen. Weltweit sind so schon hunderte von Studien veröffentlicht worden, in denen Wissenschaftler an unterschiedlichen Standorten Bäume vermessen und gewogen und daraus spezifisch auf ihre Daten abgestimmte Biomassefunktionen entwickelt haben. Um eine solche Funktion zu generieren sollten laut der FAO Guideline von Picard et al. (2012) im Minimum 30 Individuen im homogenen Bestand vermessen werden.

Zianis et al. (2005) haben aus verschiedensten europäischen Studien Biomasse- und Volumenfunktionen für verschiedene Baumarten zusammengetragen und übersichtlich als separate Studie veröffentlicht. Joosten et al. (2004) als auch Vallet et al. (2006) erkannten, dass Biomassefunktionen in denen zusätzlich zum BHD die Baumhöhe eingebunden ist, genauere Werte liefern. Chave et al. (2014) sind noch einen Schritt weiter gegangen und

haben über 4000 Bäume, verteilt auf 58 Bestände, welche sich in klimatisch unterschiedlichen Regionen befinden, analysiert. Daraus wurde eine einzelne, allgemeingültige Funktion entwickelt, welche den BHD, die Baumhöhe und die Rohholzdichte der Baumart beinhaltet. Speziell die Rohholzdichte ist ein wichtiger Faktor, da die Funktion eine grosse Bandbreite an verschiedenen Baumarten abdecken soll. Die mittlere Erwartungstreue und die Varianz dessen Funktion seien nur geringfügig höher als die an lokale Daten angepassten Funktionen.

$$AGB = 0.0673 * (\rho * BHD^2 * H)^{0.976}$$

wobei AGB = kg/ Baum, ρ = Rohholzdichte der Baumart und H = Baumhöhe (ebd.).

Es gibt jedoch noch weitere Methoden, mit welchen die Biomasse berechnet werden kann. Mit dem *Biomass Expansion Factor* (BEF) kann die Biomasse über das Derbholzvolumen und einem spezifischen Faktor berechnet werden (IPCC 2006). Bevor der BEF angewendet werden kann, muss das Derbholzvolumen (m³) mit der Rohholzdichte multipliziert und damit in t/m³ umgewandelt werden. Die genauesten Ergebnisse werden dann erzielt, wenn die BEF's aufgrund des effektiven oder eines repräsentativen Trockengewichts bestimmt worden sind. Genauer ist deshalb der *Biomass Conversion and Expansion Factor* (BCEF), der mit einer Multiplikation von t/m³ ausgehend die AGB errechnet. Der Faktor ist nach Regionen und Laub- und Nadelholz aufgeteilt. Diese Methode ist praktisch, da die Länder, welche Waldinventuren betreiben die dafür nötigen Parameter aufnehmen und die resultierenden Daten so auch unter den Ländern besser vergleichbar sind. Gerritzen (2013) verglich unter anderem eine für Österreich abgestimmte allometrische Funktion mit der BEF und der BCEF an einem Bestand von Fichten (*Picea abies*) und an einem Bestand von Buchen (*Fagus sylvatica*) und ist zum Schluss gekommen, dass bis zu einem BHD 60cm die Resultate in einem vergleichbaren Rahmen liegen

2.4.2 Unterirdische Biomasse

Im Gegensatz zur oberirdischen Biomasse, ist die Unterirdische (BGB) offensichtlich einiges aufwändiger zu bestimmen. Dies setzt eine vorherige Gewinnung der Wurzeln durch Grabung, Freilegung des Wurzelsystems oder durch das Ausreissen der Wurzelstöcke voraus (Bolte et al. 2003). Laut Vanninen und Mäkelä (1999) können die Feinwurzeln, zumindest in der temperierten Zone, vernachlässigt werden, da diese zum Einen nur einen geringen Teil der Gesamtbiomasse ausmachen, nämlich weniger als 5 % wie die Studie von Hristovski et al. (2012) zeigt, und zum Anderen aufgrund des kleinen Durchmessers extrem aufwändig zu separieren sind. Gegenteilig ist der extrem hohe Feinwurzelanteil in der Dahurischen Lärche (*Larix gmelinii*) im borealen Sibirien. So beträgt dieser in jungen, 95-100 jährigen Beständen 58 % und in älteren, bis 280 Jahre alten Beständen noch immer 34 % (Kajimoto et al. 2006).

Bolkenius (2001) erwähnt, dass der technische Aufwand sowohl beim Freilegen der Wurzeln durch Druckluft als auch beim Freispülen der Wurzeln mit Wasser sehr hoch ist. Alternativ dazu kann die Variante des Ausreissens nach vorheriger Freilegung des oberen Wurzelstocks angewendet werden. Sobald auch Bäume mit einem grösseren BHD untersucht werden sollten, macht es Sinn, im Gegensatz zu anderen Untersuchungen nicht den Wurzelstock nach dem Fällen des Baumes herauszuziehen, sondern gleich den kompletten Baum umzuziehen, um wie Neubauer et al. (2015), dessen Hebelwirkung auszunutzen. Zum Umziehen können unterschiedliche Gerätschaften eingesetzt werden (Picard et al. 2012).

Damit die Wurzeln beim Umziehen nicht abbrechen scheint es wichtig die Wurzeln vom Stammfuss beginnend mit Spaten und Pickel freizulegen. Wenn dennoch Wurzeln abbrechen sollten, kann versucht werden diese im Nachhinein manuell auszugraben. Der Wurzelstock und die Wurzeln können mit der Kettensäge vom Stamm getrennt werden (ebd.).

Wie für die AGB sind auch für die BGB verschiedenste allometrische Biomassefunktionen vorhanden und auch hier dient meist der BHD als Eingangsvariable (West 2015). Die einen schätzen die gesamte Wurzelmasse, die anderen nur den Feinwurzelanteil oder aber sie sind unterteilt in die verschiedenen Wurzelkompartimente. Die Schwierigkeit ist, im Waldbestand die Wurzeln dem richtigen Baum zuteilen zu können, um den Anteil an BGB nicht zu verfälschen. Die Heterogenität der Wurzelmasse derselben Baumart, unter verschiedenen Standortsbedingungen und erst recht bei unterschiedlichen Baumarten kann massive Schätzfehler hervorrufen. So bewegt sich nur schon bei der Buche die BGB im Schnitt zwischen 15 t/ha und 74 t/ha (Le Goff und Ottorini 2001; Hristovski et al. 2012). Vielleicht ist das der Grund, weshalb der Fokus der Biomassefunktionen zur Berechnung des BGB, eher auf ganzen Fläche als auf Einzelbäumen liegt (IPCC 2006). Mokany et al. (2006) haben ähnlich wie Chave et al. (2014) verschiedenste AGB und BGB Funktionen aus wissenschaftlichen Studien über Baumarten aus unterschiedlichen Teilen der Welt zusammengetragen und analysiert. Die daraus entstandene Funktion zeigt auf, dass sich das BGB:AGB Verhältnis degressiv verhält.

$$BGB = 0.489 * (AGB)^{0.890}$$

Wobei BGB = t/ha und AGB = t/ha. So sinkt es von 25 - 30 % in jungen oder offenen Beständen bis unter 20 % in alten, hohen Beständen. Die Thematik rund um die Kohlenstoffspeicherung und die Kohlenstoffsenkleistung im Wald ist präsenter denn je, wodurch Wissenschaftler noch immer nach genaueren Funktionen oder Formeln zur Biomasseberechnung oder Schätzung forschen (West 2015).

2.4.3 Biomasse in Buchenbeständen allgemein und in Mazedonien

Laut Zianis und Mencuccini (2003) variiert je nach standörtlichen Gegebenheiten die AGB in Beständen von Buchenhochwald zwischen 87-419 t/ha. Um die Niederwaldwerte mit Hochwaldwerten vergleichen zu können, wurden vergleichbare Studien über Buchenhochwälder gesucht. Zianis und Mencuccini (2001) in (Melovski et al. 2003) haben im Norden Griechenlands, auf 1'420 m ü. M., Bestände von *Fagus moesiaca* untersucht und aus deren Hochrechnungen hat sich eine AGB von 274 t/ha ergeben. Auch für *Fagus moesiaca* Hochwaldbestände in Serbien haben Koprivica et al. (2010) eine AGB von 338 t/ha und eine BGB von 56 t/ha errechnet. Das ergibt ein *root-to-shoot factor (rsf)* von 0.14. Die Bestände befanden sich jedoch auf einer geringen Höhe von 410-520 m ü. M., hatten einen durchschnittlichen BHD von 39.4 cm und die Durchschnittshöhe betrug 31 m. Im Nordwesten Mazedoniens im Mavrovo Nationalpark wurden in den 90er Jahren ebenfalls AGB-Untersuchungen in Buchenhochwald-Beständen durchgeführt (Melovski et al. 2003). Auf 1'400 m ü. M. mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 7.1 °C und einer Niederschlagsmenge von 1'103 mm, gemessen im Jahr 1997, wurden 24 bestandesrepräsentative Bäume mit einem durchschnittlichen BHD von 16 cm vermessen. Die Hochrechnungen ergaben eine AGB von 268 t/ha mit einem jährlichen Zuwachs von 12 t/ha. Am selben Standort wurden zwischen 1997 - 2005 die Buchen auf die BGB untersucht (Hristovski et al. 2012). Die Hochrechnungen von Daten aus 10 Bäumen ergaben eine BGB von 58 t/ha mit einem jährlichen Zuwachs von 1 t/ha. Das entspricht einem *rsf* von 0.22.

Die über den BCEF geschätzte AGB für die Buche betrug in Mazedonien 2010 insgesamt 64.778 Mio. t (FRA 2010). Teilt man diese AGB durch die Fläche des Buchenvorkommens in Mazedonien, das laut dem Forestry (2011) 208'769 ha betrug, ergibt das eine AGB von 310 t/ha. Hinzu kommt mit einem angewandten *rsf* von 0.26, eine BGB von 81 t/ha, was eine Gesamtbiomasse in den Buchenwäldern Mazedoniens von 391 t/ha ergibt. Bei dieser Schätzung muss berücksichtigt werden, dass die Fläche der Mischwälder, in welchen die Buche auch stark vertreten ist, nicht miteinbezogen worden ist. Des Weiteren handelt es sich bei den Zahlen aus dem FRA um sehr rudimentäre Schätzwerte auf nationaler Ebene.

2.5 Wald und Kohlenstoff

Gegenüber der vorindustriellen Zeit haben die weltweit steigenden Treibhausgasemissionen zu einer Erwärmung des Lufttemperaturmittels um 1.1 °C (in Europa) geführt (Müller und Hirschmann 2012). Wälder leisten auf globaler Ebene einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz, indem sie durch den Aufbau von unter- und oberirdischer Biomasse und durch die Anreicherung von organischem Material im Boden der Atmosphäre aktiv Kohlendioxid entziehen, dieses bei der Zersetzung oder Verbrennung aber wieder freisetzen. Der Kohlenstoff, in Form von CO₂, ist der Antrieb für die Klimaerwärmung, zusammen mit Licht und

Wasser jedoch für das Leben essentiell. Wenn Wälder mehr CO₂ speichern als sie abgeben, spricht man von einer Senke, umgekehrt von einer Quelle (Fischlin et al. 2006). Ihre Bedeutung für das Klima wird durch folgende Zahlen offensichtlich: Rund 24 % der zusätzlichen CO₂-Belastung der Atmosphäre stammen aus grossflächiger Waldzerstörung, hauptsächlich in den Tropen und Subtropen, aber auch im borealen Nadelwald, aus der Landwirtschaft und anderer Bodennutzungen (IPCC 2014). Die Wälder der nördlichen Hemisphäre sind zurzeit eine bedeutende Netto-Senke. Der Wald und seine Bewirtschaftung wirken unmittelbar auf die Belastung der Atmosphäre. Er verursacht Emissionen, wenn er abgeholzt wird. Dies äussert sich besonders bei Kahlschlägen und Brandrodungen, den dabei entweicht nicht nur der in der Biomasse gespeicherte Kohlenstoff C, sondern zusätzlich auch die klimawirksamen Gase aus Humus und Böden. Die verschiedenen C-Speicherorte werden *Carbon-Pools* genannt. In der Abb. 10 sind diese illustriert.

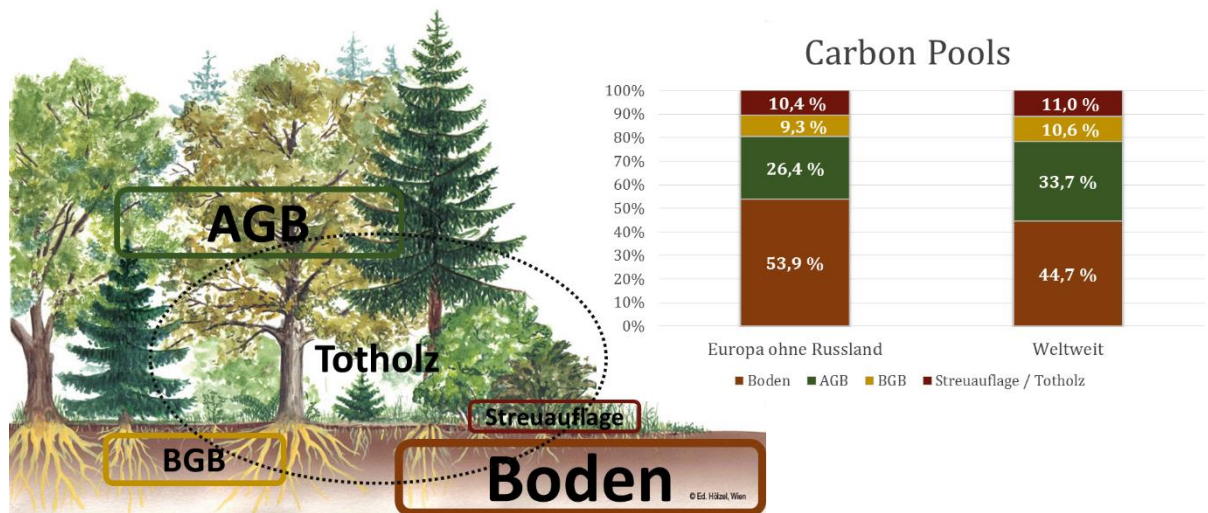


Abb. 10: Carbon Pools auf Waldflächen bezogen mit prozentualer Übersicht Europa- und Weltweit. Die Stärke der Kästen und der Schrift repräsentieren ungefähr deren Speicherleistung.
(Quelle: -Bild, hoelzel.at; -Daten nach FAO, eigene Darstellung)

Der Totholz-Pool umfasst das gesamte tote Material (abgestorbene Wurzeln werden jedoch zum Boden-Pool gezählt), egal ob ober- oder unterirdisch. In der Realität ist das nicht ganz so einfach, da die Erhebungsmethoden Weltweit noch zu unterschiedlich und zu ungenau sind. Deshalb wird das Totholz derzeit noch zur Streuauflage gezählt, wie dies auch in den Säulendiagrammen von Abb. 10 ersichtlich ist. Man kann erkennen, dass der europäische Boden-Anteil im weltweiten Vergleich geringer, der AGB-Anteil dafür höher ist, ansonsten sind die prozentualen Anteile fast gleich. Die Biomasse ist neben dem Boden der wichtigste Kohlenstoffspeicher weltweit. Von der weltweit im Wald geschätzten Kohlenstoffspeicherung von 652'371 Mio. t macht die europäische Leistung von 35'083 Mio. t lediglich 5.4 % aus. Mit einer durchschnittlichen Speicherleistung von 179.1 tC/ha wird in Europa nach Südamerika mit 217.1 tC/ha am zweitmeisten C/ha gespeichert (FAO 2010).

Es wird auch über einen potenziellen 6. Pool diskutiert, der das geerntete und weiterverarbeitete Holz beinhalten soll. Darin dürfte jedoch nur die Akkumulation von

Holzprodukten erfasst werden, was schwierig zu erfassen ist und mit der Menge der Entsorgung von Altholz gekoppelt werden müsste. Das macht aber durchaus Sinn, denn das Holz in welchem das CO₂ gebunden ist, und welches in irgendeiner Form als Substitut weiterverwendet wird, trägt weiter zur Senkung der Treibhausgase bei (Federici 2011).

Um das zu veranschaulichen wurde der Kohlenstoffkreislauf in Abb. 11 auf die im Wald relevanten Kohlenstoffflüsse heruntergebrochen.

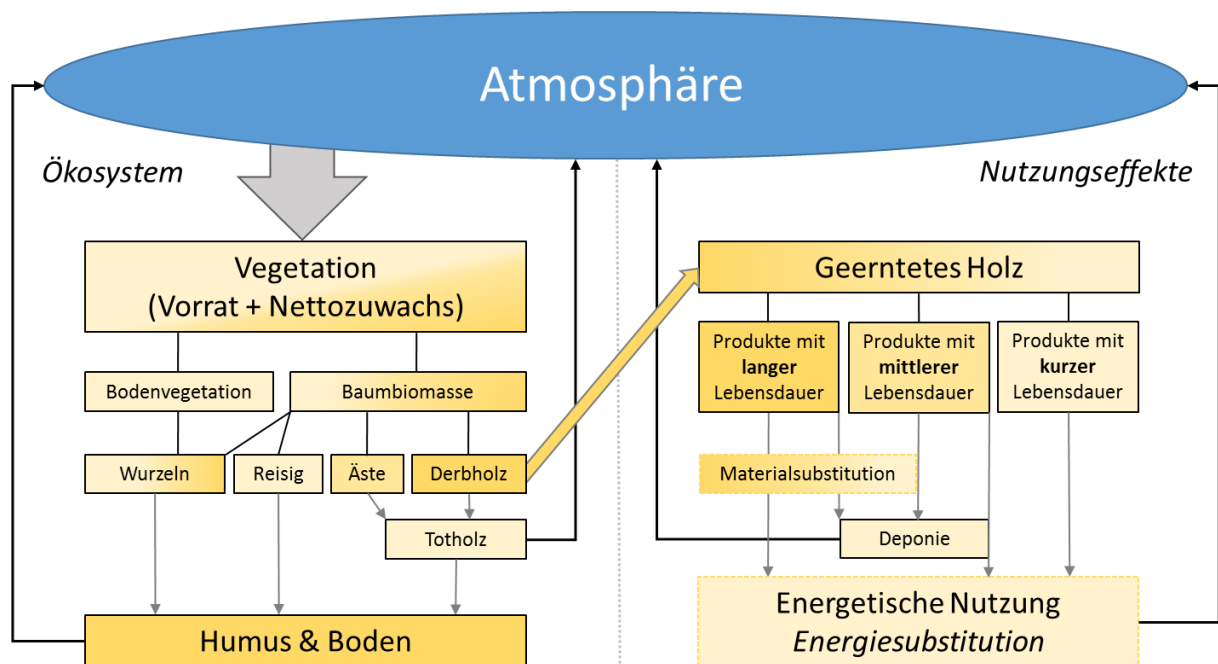


Abb. 11: Integrierte Betrachtung aller relevanten Kohlenstoffflüsse und –speicher im Wald. Die grauen Pfeile zeigen die C-Flüsse in die verschiedenen Speicher. Die schwarzen Pfeile wiederum zeigen, wie der Kohlenstoff als CO₂ von den Speichern zurück in die Atmosphäre fließt. Je gelber der Kasten, desto länger bleibt der Kohlenstoff gespeichert. (Quelle: nach waldundklima.de, eigene Darstellung)

Holz wird, sofern es aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern stammt, mit dem Emissionsfaktor 0 bewertet, weshalb jedes Unternehmen, das von fossilen Energieträgern auf Holz umstellt zum Klimaschutz beiträgt. Das spielt eine wichtige Rolle und sollte nicht vernachlässigt werden. Der Klimawandel betrifft den Wald besonders, weil sich die standörtlichen Bedingungen wie Niederschlagsverteilung, Durchschnittstemperaturen und Dauer der Vegetationsperiode zu schnell für eine Anpassung der Vegetation verändern (Müller und Hirschmann 2012). Mit dem Klimawandel treten verstärkt Kalamitäten auf: Stürme, Trockenheit, Feuer und Massenvermehrungen von Insekten, die neben enormen ökonomischen Verlusten für Waldbesitzer auch die Speicherleistung des Waldes beeinträchtigen und ihn vorübergehend zu einer Quelle für die genannten Treibhausgase machen können (ebd.). Der Wald hat in diesem Zusammenhang auch eine Helferrolle und kann als Instrument für den Klimaschutz dienen: Aufforstungen, nachhaltige Bewirtschaftung und Nutzung von Holz bieten bislang die einzigen Möglichkeiten, kostengünstig bereits emittiertes CO₂ der Atmosphäre über Photosynthese wieder zu entziehen (FAO 2010).

Alle anderen Massnahmen zielen nur auf eine Verlangsamung des Anstiegs der atmosphärischen CO₂-Konzentration ab. In den letzten 25 Jahren hat die weltweite Waldfläche jedoch jährlich um durchschnittlich knapp 7 Mio. ha, also um etwa das 5-fache der Schweizerischen Waldfläche, abgenommen (ebd.). Das Kyoto-Protokoll sowie die Klimarahmenkonvention UNFCCC mahnt alle Mitgliedstaaten die verursachten Treibhausgase sowie die Veränderung des Kohlenstoffvorrates der Wälder zu dokumentieren (IPCC 2006). Richtlinien und Anleitungen sind durch die IPCC entwickelt und den Ländern bereitgestellt worden. Der Umrechnungsfaktor von Biomasse zu Kohlenstoff, der von der IPCC (2006) vorgeschlagen wird, beträgt für die temperierten und borealen Wälder allgemein 0.47, für die Laubwälder 0.48 und für die Nadelwälder 0.51. Die Quantifizierung der Wälder als Kohlenstoffquelle oder Kohlenstoffsенке ist zur Schlüsselrolle im Verständnis und der Beeinflussung des Kohlenstoffkreislaufes geworden. Da die Waldfläche abgenommen hat, reduzierte sich auch die Biomasse und somit der Kohlenstoffvorrat, seit 1990 um rund 1 Mio. t pro Jahr (FAO 2010). Es ist wichtig sich vor Augen zu halten, dass diese Zahlen immer ein Zusammenzug aus den verschiedenen Ländern sind, welche unterschiedliche Definitionen von Wald haben und deren Inventuren oft auf einmaligen Erhebungen, Schätzungen und Hochrechnungen basieren.

Ungenutzte Urwälder sind die grössten C-Speicher, befinden sich jedoch meist im Klimaxstadium und haben dadurch den maximalen Vorrat erreicht. Dabei handelt es sich um einen unberührten und ausgeglichenen Kreislauf, der daher nur als Speicher und nicht als Senke wirkt. Wie bereits eingangs erwähnt trägt die Entwaldung, und die damit einhergehende Umwandlung des Waldes in Landwirtschaftsflächen, mit 24 % der Gesamtemissionen extrem zum Klimawandel bei (IPCC 2014). Im Kampf gegen den Klimawandel muss deshalb die Reduktion der Entwaldung der wichtigste Ansatzpunkt sein.

3 Material und Methoden

Das Kernstück dieser Bachelor-Thesis ist die Feldarbeit, welche dazu beigetragen hat Erkenntnisse über die Biomasseverteilung von Buchenniederwäldern in Ost-Mazedonien zu gewinnen. Damit ein Bezug zu den erzeugten Resultaten geschaffen werden kann, wird im Folgenden die Vorgehensweise zielführend erläutert.

3.1 Literaturrecherche

Mittels Recherche in der Literatur konnte Fachwissen angeeignet, Einzelaspekte vertieft, sowie Erkenntnisse gewonnen, verglichen und einander gegenübergestellt werden. Dabei spielte vor allem das Beschaffen älterer oder grösserer Werke, eine wichtige Rolle. Beispiele hierfür sind Bücher wie: die Wurzeln der Waldbäume (Köstler et al. 1968), der Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher (Kutschera und Lichtenegger 2013) und die Enzyklopädie der Holzgewächse (Felbermeier und Mosandl 2014). Mit dem freien Benutzerkonto im sozialen Netzwerk *Researchgate.net*, kam man im direkten Austausch mit Wissenschaftlern zu spezifischen Forschungsberichten über die Balkanbuche (*Fagus moesiaca*) und die allometrischen Biomassefunktionen, was extrem hilfreich war. Weiter wurde durch die Internetrecherche die *COST Action* über *EuroCoppice* gefunden. Daraus ergab sich schliesslich die Möglichkeit, in Bukarest, an deren jährlich stattfindender Konferenz, über Niederwälder in Europa, teilzunehmen und dort erste Eindrücke und Resultate der Feldarbeit zu präsentieren und sich mit Niederwaldspezialisten auszutauschen.

3.2 Untersuchungsgebiete

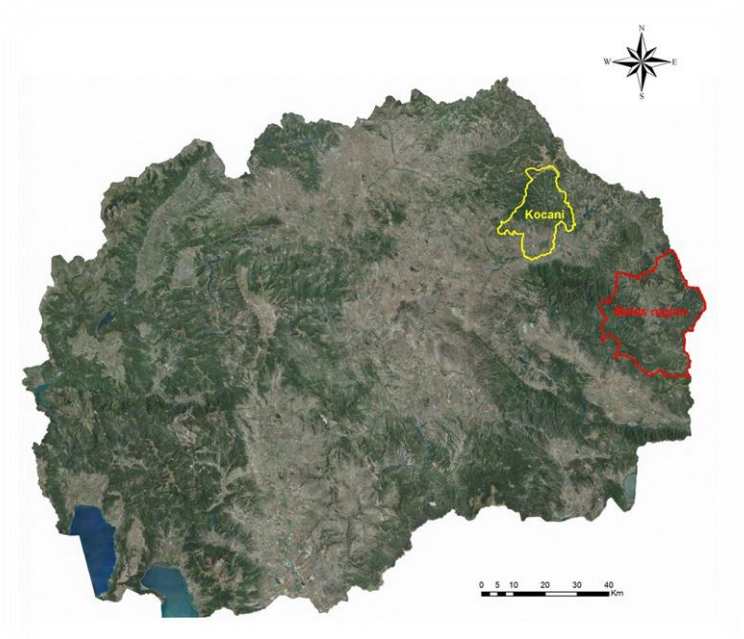


Abb. 12: Mazedonien mit den beiden Untersuchungsgebieten Kočani und Males (Berovo / Pehčevo)
(Quelle: Universität Skopje)

Die Feldarbeiten haben in zwei unterschiedlichen Gebieten stattgefunden. Zum einen in der in Abb. 12 gelb abgebildeten Opštini *Kočani* und zum anderen in den Opština *Berovo* und *Pehčevo* in der rot eingefärbten Males Region. *Opštini* (Plural: *Opština*) ist die Bezeichnung für die lokalen, mazedonischen Verwaltungseinheiten. Von der Flächengrösse kommt ein Opštini einem Kanton in der Schweiz gleich. Im Folgenden wird der Einfachheit halber von Kočani und Males die Rede sein.

3.2.1 Kočani

Generelles über Kočani

Kočani hat 38'000 Einwohner, befindet sich im Nordosten Mazedoniens und erstreckt sich aufgrund des Osogovo Gebirges von 400 bis 2'252 m ü. M. Die grösste gleichnamige Stadt liegt am südwestlichen Rande des Osogovo Gebirges im Kočani-Tal, wo auch der Fluss Bregalnica durchfliesst. Das Osogovo Gebirge ist etwa 110km lang, rund 50km breit und erstreckt sich bis nach Kriva Palanka. Es bildet die Grenzregion zwischen Mazedonien und Bulgarien. Der höchste Punkt bildet der Ruen mit 2'252 m ü. M. Die hügelige, zum Teil Plateau ähnliche Landschaft wurde einst vom Gletscher geformt. 70 % des Gebirges befinden sich in Mazedonien und 30 % in Bulgarien (Dedov und Mitev 2011).

Klima

Temperatur

In der Tab. 2 sind die Temperaturwerte nach Monaten aufgelistet. Während die mittlere Jahrestemperatur in Kočani auf 400 m ü. M. 12.2 °C beträgt, sinkt sie im Osogovo Gebirge. Auf einer Höhe von 700 m ü. M. beträgt sie geschätzte 10.4 °C. Temperaturdaten aus höheren Lagen sind nicht bekannt. Aus diesem Grund wird pro 100 m Höhenzunahme von einer Temperaturabnahme um 0.6 °C ausgegangen (Andonovski et al. 2014). Auf einer Höhe von 1'400 m ü. M., in der sich die höchstgelegenen Bestände der untersuchten Buchenniederwälder befinden, sinkt die mittlere Jahrestemperatur auf 6.2 °C. Mit einer Durchschnittstemperatur von 22.3 °C ist der Juli der wärmste Monat in Kočani. Im Gegensatz dazu ist der Januar mit 1 °C der Kälteste.

Tab. 2: Temperaturübersicht von Kočani (Quelle: nach Climate-data.org, verändert)

Monat	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Ø Jahr
°C Ø	1	3.5	7.5	11.8	16.4	20.2	22.3	22.1	18.7	13.3	7.1	2.5	12.2
°C min.	-2.5	-0.8	2.4	6.1	10.4	13.7	15.1	15.3	11.9	7.6	3.0	-1.0	6.9
°C max.	4.6	7.8	12.6	17.5	22.5	26.7	29.4	29.2	25.6	19.1	11.2	6.0	17.7

Niederschlag

Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge für Kočani beträgt 475 mm wie in Tab. 3 gesehen werden kann. Die Niederschläge sind über das ganze Jahr hinweg relativ gleichmässig verteilt. Am niederschlagsärmsten ist der Februar mit durchschnittlich 31 mm Niederschlag, am niederschlagsreichsten ist der Mai mit durchschnittlich 57 mm. Niederschlagsdaten aus höheren Lagen sind keine bekannt. Aus diesem Grund wird eine Niederschlagszunahme von 40 mm pro 100 Höhenmeter angenommen (Minčev et al. 2014). Auf 700 m ü. M. im Osogovo Gebirge beträgt der durchschnittliche jährliche Niederschlag demnach rund 595 mm und auf 1'400 m ü. M. rund 875 mm.

Tab. 3: Niederschlagsmenge von Kočani in mm (Quelle: nach Climate-data.org, verändert)

Monat	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Ø Jahr
Ø Niederschlag	32	31	34	39	57	47	37	32	32	40	52	42	475

Geologie / Boden

Das Osogovo Gebirge ist von vulkanischem Ursprung und hauptsächlich aus magmatischem Silikat und Granitgestein geformt. Die Höhenlagen zwischen 800 und 1500 m ü. M. werden hauptsächlich von Braunerden geprägt, die aufgrund des Ausgangsgesteins ein saures pH aufweisen. Ab 1'500 m ü. M. werden die Böden aufgrund abnehmender Bodenaktivität flachgründiger, der Oberboden ist deutlich humoser und kann vorwiegend als Ranker bestimmt werden (Dedov und Mitev 2011).

Vegetation

Das Osogovo Gebirge kann in drei Hauptvegetationsstufen eingeteilt werden, die sich gürtelartig der Höhe nach ablösen, was auf Abb. 13 zu erkennen ist (Lazarova et al. 2015).

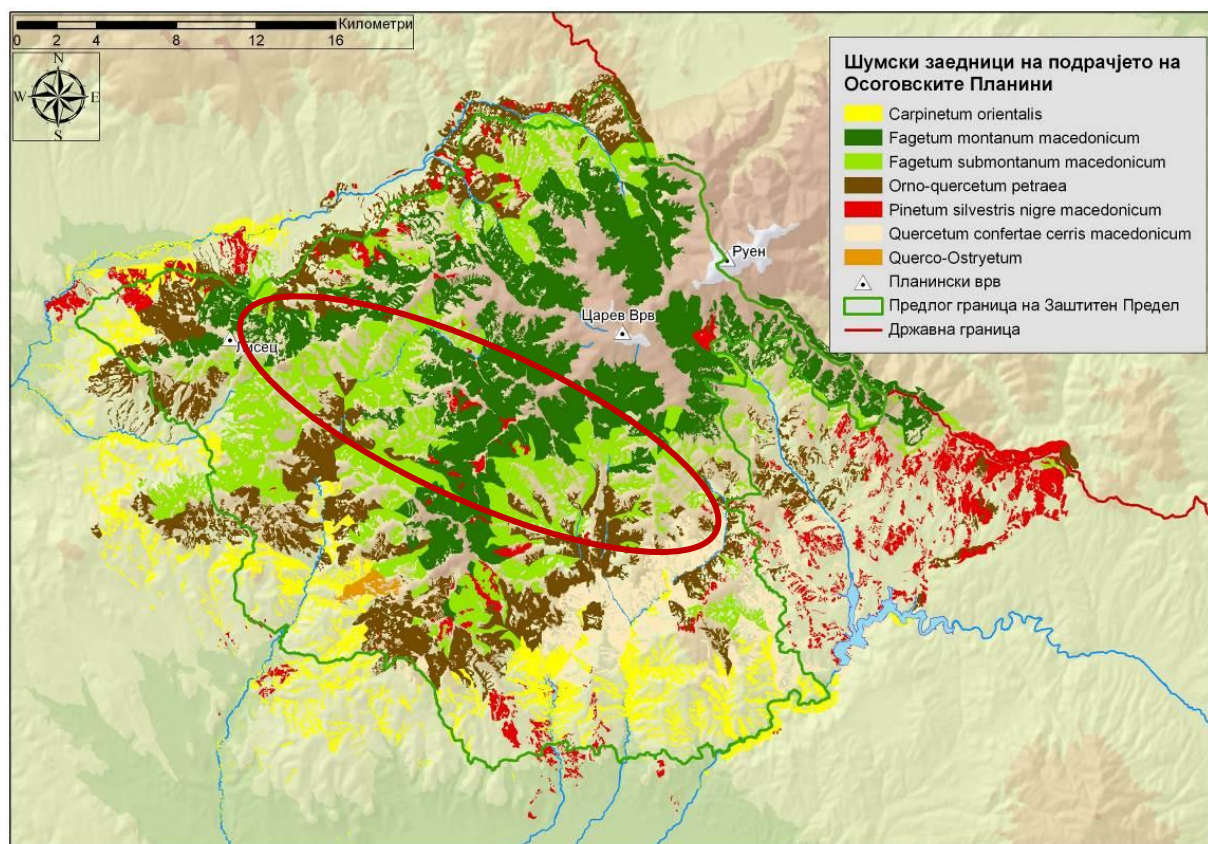


Abb. 13: Osogovo Gebirge mit den Waldgesellschaften, rot eingekreist dem Untersuchungsgebiet und der Grenze zu Bulgarien (Quelle: Ecological Society Macedonia 2012)

Die submontane Stufe bis 1'000 m ü. M. wird von Eichen (*Quercus petraea*, *-pubescens* und *frainetto*), Orientalische Hagebuchen (*Carpinus orientalis*), Buchen (*Fagus moesiaca*) und gepflanzten Schwarzföhren (*Pinus nigra*) dominiert. Ab 1'000 m ü. M. wird die submontane durch die montane Stufe abgelöst, welche fast ausschliesslich durch die Buche (*Fagus moesiaca*) geprägt wird. Die über 1'800 m ü. M. liegende subalpine Stufe bildet mit der Waldföhre (*Pinus sylvestris*) die Waldgrenze, welche durch Wachholder (*Juniperus sp.*) und Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*) teils flächig abgelöst werden. Das ist in der Abb. 13 zwar nicht ersichtlich, wurde jedoch vor Ort so beobachtet. Das Osogovo Gebirge wird relativ stark

durch Bauern / Hirten mit Rindern, Schafen und Pferden beweidet, wodurch die Landschaft immer wieder durch Weide- und Grasflächen geprägt ist (Dedov und Mitev 2011). Die Region um das Osogovo Gebirge zählt knapp 24'000 ha Wald, wovon rund 2'000 ha als nicht Waldfläche, also Weideland oder ähnliches, ausgeschieden sind (Blinkov et al. 2003). Gut 55 % davon sind Niederwald, von dem $\frac{2}{3}$ durch Eichenarten geprägt sind. Lediglich 15 % der Niederwaldfläche sind Buchenniederwälder. Im Hochwald ist die Buche jedoch auf über 50 % der Fläche vertreten. Im Allgemeinen ist die Traubeneiche mit knapp 7'000 ha die am stärksten vertretene Baumart. Die Vorkommen der Ungarischen- und der Stieleiche erstrecken sich über je 2'500 ha (ebd.). Wie in Abb. 14 sichtbar, ist in Osogovo das Nadelholz so gut wie unbedeutend. Zum Vorrat sind keine Zahlen bekannt. Der in Abb. 14 dargestellte Eichenanteil ist verhältnismässig höher als Abb. 13 dargestellt. Die Zahlen entsprechen eher der Realität.

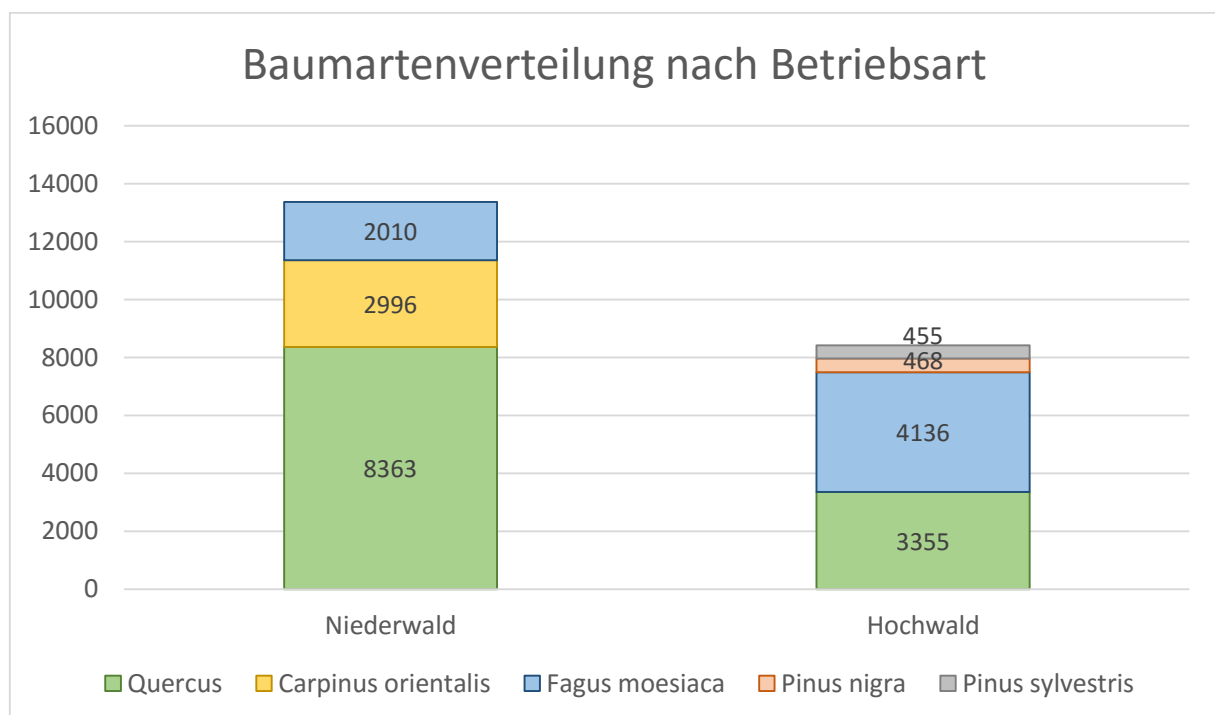


Abb. 14: Baumartenverteilung (in ha) nach Betriebsart in Kočani (Quelle: nach Blinkov et al. 2003, eigene Darstellung)

3.2.2 Males

Generelles über Males

Die Opština Berovo und Pehčevo, in welchen sich das zweite Untersuchungsgebiet befindet, liegen ganz im Osten Mazedoniens in der Region Males, welche, wie bereits Kočani, die Grenze zu Bulgarien bildet. Das grössere der beiden Opština, Berovo, zählt 14'000 Einwohner, Pehčevo 5'500. Mit 7'000 bzw. 3'000 Einwohnern gelten die Ortschaften Berovo und Pehčevo eher als Dörfer. Die beiden Ortschaften liegen auf einem Plateau welches von Gipfeln, die bis zu 1'900 m ü. M. liegen, umgeben ist. Das Plateau selbst ist auf knapp 1'000 m ü. M. und die Ortschaften Berovo und Pehčevo auf 850 bzw. 975 m ü. M. In dieser Region, im Maleševo Bergmassiv, entspringt auf 1'690 m ü. M. der Fluss Bregalnica. Die Bregalnica ist der

zweitgrösste Fluss Mazedoniens und fliesst in den grösseren Vardar, welcher letztlich in die Ägäis mündet.

Klima

Temperatur

Die Klimadaten der Region Males stützen sich auf die Meteodaten der Wetterstation in Berovo, welche sich auf einer Höhe von 847 m ü. M. befindet. Bei den Meteodaten handelt es sich um den Durchschnitt der zwischen 2001 und 2010 aufgenommenen Daten (Andonovski et al. 2014). In der Tab. 4 ist zu sehen, dass die mittlere Temperatur in Berovo über das ganze Jahr 9.3 °C beträgt. Der Januar ist mit -0.5 °C der kälteste Monat und der Juli mit 19.5 °C der Wärmste. Die kälteste gemessene Temperatur beträgt -4.2 °C im Januar und die Wärmste 26.2 °C im Juli. Auch hier muss die mittlere Temperatur für die höhere Lage abgeschätzt werden, da keine weiteren Messstationen vorhanden sind. Auf einer Höhe von 1'372 m ü. M. beträgt die mittlere Temperatur für das gesamte Jahr demnach rund 6 °C.

Tab. 4: Temperaturübersicht von Males (Quelle: nach Andonovski et. al 2014, verändert)

Monat	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Ø Jahr
Ø °C	-0.5	0.3	4.5	8.5	13.8	17.4	19.5	19	14.3	9.6	4.7	0.4	9.3
°C min.	-4.2	-2.8	0.0	3.6	8.0	11.3	13.0	12.9	10.0	5.7	1.3	-2.5	3.9
°C max.	2.9	5.2	9.4	14.3	19.4	23.5	26.2	25.9	22.6	16.5	9.3	4.5	15

Niederschlag

Die durchschnittliche Niederschlagsmenge zwischen 2001 und 2010 betrug 699 mm pro Jahr und verteilt sich, wie der Tab. 5 entnommen werden kann, relativ gleichmässig über das Jahr. Die Niederschlagsärmsten Monate sind Januar bis März, danach kann eine leichte Niederschlagszunahme beobachtet werden. Für die Höhe von 1'372 m ü. M. wurde eine mittlere Jahresniederschlagsmenge von etwa 919 mm berechnet.

Tab. 5: Niederschlagsmenge von Males in mm (Quelle: nach Andonovski et. al 2014, verändert)

Monat	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Ø Jahr
Ø Niederschlag	45	34	44	59	68	72	55	72	50	76	51	75	699

Geologie

Der geologische Untergrund der Region Males besteht aus Silikatgesteinen. Hauptgesteine in der Region sind dementsprechend Granite wie Granodiorit oder Feldspate, Quarzite, zudem sind auch metamorphe Gesteine wie Gneise zu finden. Aus diesem Grund ist in dieser Region,

die daraus entstandene, eher saure Braunerde als häufigster Bodentyp vertreten. In den höheren Lagen wird die saure Braunerde durch die wenig entwickelten, flachgründigen Ranker und Regosol abgelöst.

Vegetation

Besonders in den tieferen Lagen, bis zu den bei 950 m ü. M. beginnenden Buchenwäldern, wird die Waldgesellschaft von Eichenarten geprägt (*Quercus petraea*, *-frainetto* und *-cerris*). Der mit der Höhe zunehmende Niederschlag verhilft der Buche (*Fagus moesiaca*) zu Konkurrenzstärke, welche die Eichengesellschaft ablöst, was in Abb. 15 gut zu beobachten ist.

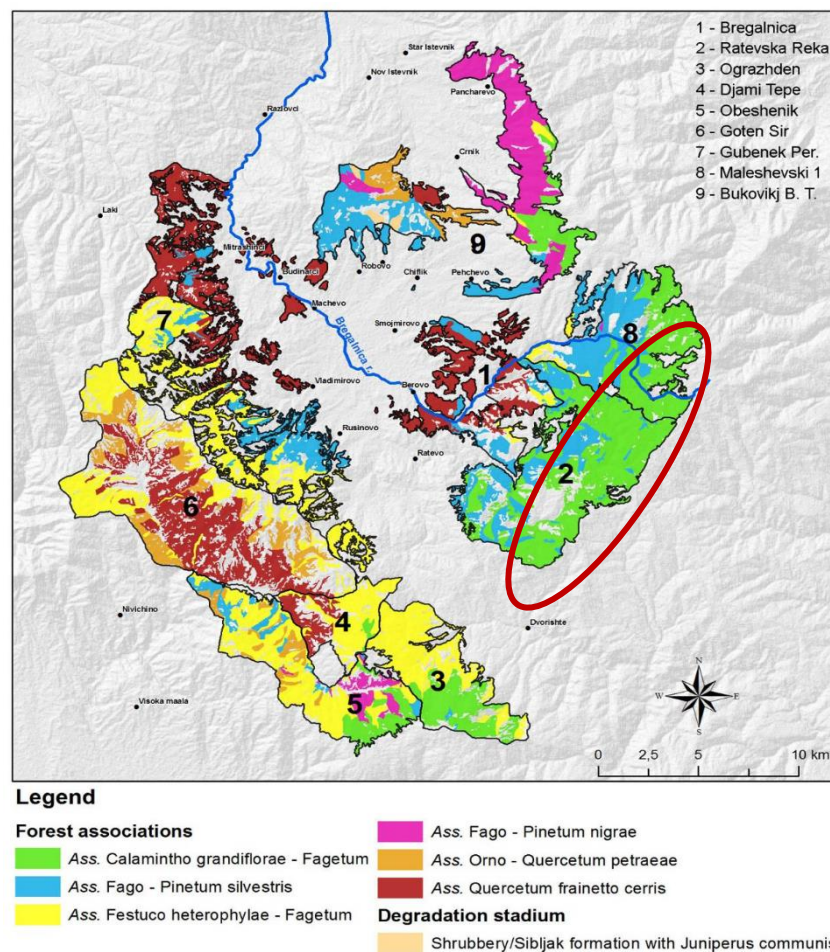


Abb. 15: Region Males mit den Waldgesellschaften, rot eingezeichnet dem Untersuchungsgebiet und der Grenze zu Bulgarien (Quelle: Andonovski et al. 2014)

In diesen submontanen Buchenwäldern (*Calamintho grandiflorae*-Fagetum) kommen auch Baumarten wie die Schwarzföhre (*Pinus nigra*), die Zitterpappel (*Populus tremula*) und die Hagebuche (*Carpinus betulus*) vor. Die montane Buchenwaldstufe löst die Submontane ab und erstreckt sich bis 1'750 m ü. M. An der Baumartenzusammensetzung ändert sich fast nichts, ausser dass in diesen Höhenlagen auch Kirschbäume (*Prunus avium*) und Salweiden (*Salix caprea*) vorkommen. Über 1'750 m ü. M. nimmt die Konkurrenzkraft der Buchen stark ab und die nun zunehmenden Offenflächen werden bis zur Baumgrenze von der Schwarzföhre (*Pinus nigra*), Wachholder (*Juniperus* sp.) und Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*) besetzt.

Im Gegensatz zu Kočani und zum mazedonischen Durchschnitt, beträgt in Males der Niederwaldanteil lediglich 15 % (Andonovski et al. 2014). Die gesamte Waldfläche beträgt rund 33'000 ha wobei, wie in der Abb. 16 zu sehen ist, Buchen mit etwa 50 % Anteil am Hochwald dominieren (ebd.). Die Zahlen zur Baumartenverteilung sind gerundet, da in der Literatur die Baumarten zusätzlich auf Mischbestände aufgeteilt sind, welche $\frac{1}{3}$ ausmachen. Da der Mischungsgrad nicht bekannt ist, sind die geschätzten Zahlen mit Vorsicht zu geniessen. Interessant ist, der Vorratsunterschied, welcher bei der Buche im Hochwald 334 m³/ha und bei der Buche im Niederwald 120 m³/ha beträgt. Den zweithöchsten Vorrat hat die Traubeneiche mit 165 m³/ha im Hochwald. Im Niederwald fällt der Wert sogar auf 75 m³/ha runter. Die restlichen Baumarten sind im Vorratsbereich ähnlich desjenigen der Buche im Niederwald oder tiefer.

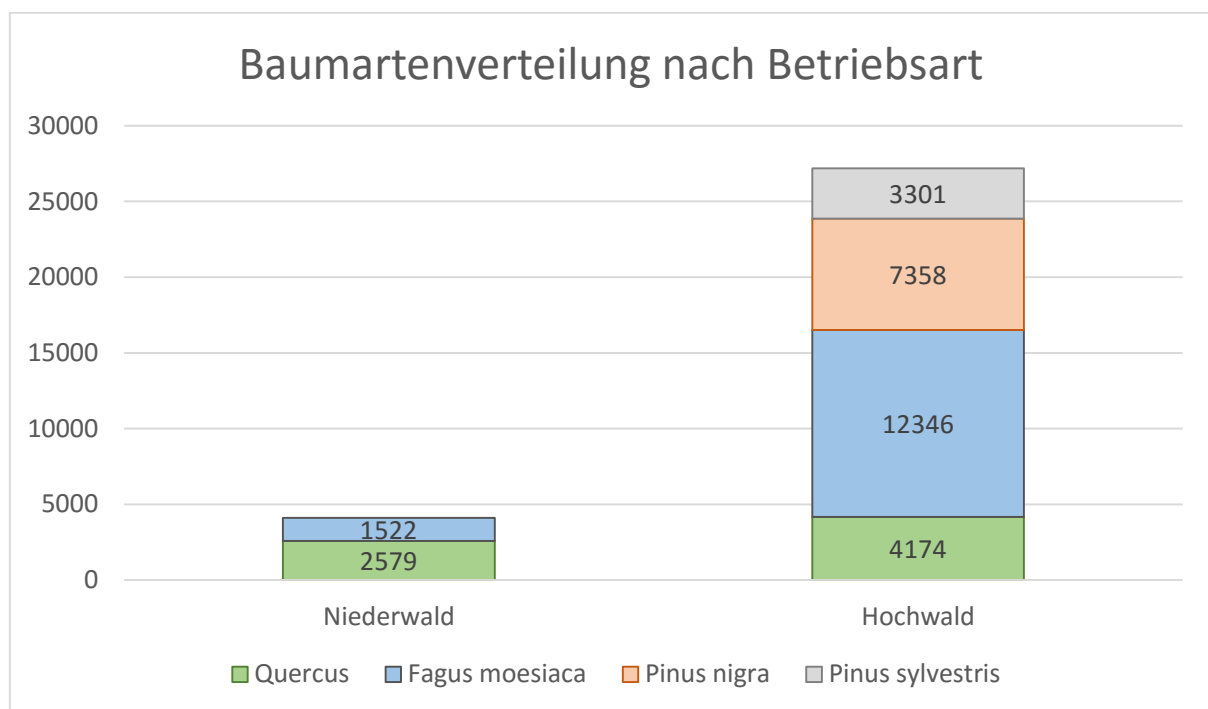


Abb. 16: Baumartenverteilung (in ha) nach Betriebsart in Males (Quelle: nach Andonovski et. al 2014, eigene Darstellung)

3.3 Feldarbeit

Das mazedonische Forstgesetz besagt, dass Niederwälder in Hochwälder überführt werden müssen. Die Bestrebungen dazu dauern schon seit dem Ende des letzten Jahrhunderts an, doch es sind praktisch keine Veränderungen bemerkbar. Über die BGB dieser Niederwälder ist jedoch so gut wie nichts bekannt. Man geht zwar davon aus, dass sie vergleichbar mit der eines Hochwaldes ist, speziell untersucht wurde dies aber nicht. Um das zu ändern wurde entschieden von 12 Bäumen die Gesamtbiomasse zu bestimmen. Die Eichen (*Quercus sp.*) dominieren in Mazedonien flächenmässig, wobei erwähnt werden muss, dass es sich dabei um eine Vielzahl von verschiedenen Eichenarten handelt. Vorratsmässig ist die Buche (*Fagus moesiaca*) die wichtigste Baumart Mazedoniens. Da sich die Klimabedingungen in der

Schweiz, durch die Erwärmung, in Richtung des heute aktuellen Klimas in Mazedonien entwickeln könnten und die Buche (*Fagus sylvatica*) in der Schweiz die dominanteste Laubbaumart ist, wurde die Untersuchungen an der Buche (*Fagus sylvatica*) durchgeführt. Aufgrund der aufwendigen Feldarbeit, der limitierten Zeit sowie dem beschränkten Geldbudget war es nicht möglich mehr als 12 Bäume zu untersuchen. Aus diesem Grund diente die Feldarbeit dazu einen Anhaltspunkt zu erhalten, wie sich die Biomasse in Bäumen des Niederwaldes verteilt und nicht um eine allgemeingültige Biomassefunktion für Buchenniederwälder zu modellieren.

3.3.1 Vorbereitung der Feldarbeit

Im Rahmen einer Semesterarbeit sind verschiedene Methoden zur Biomassenerhebung gesucht und miteinander verglichen worden. Für das Ermitteln der oberirdischen Biomasse konnte relativ schnell ein geeignetes Verfahren gefunden werden. Die Kompartiments-Klassen wurden nach der Guideline der FAO (Picard et al. 2012) festgelegt (Abb. 17).

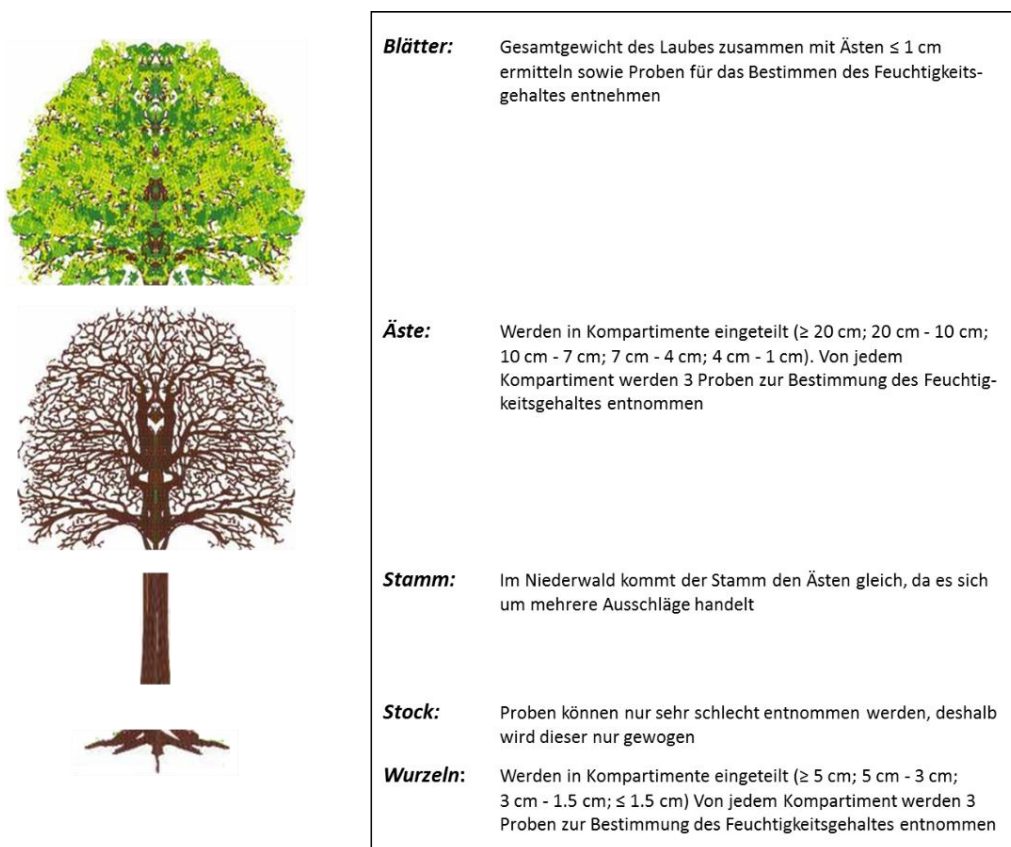


Abb. 17: Darstellung der Biomassekompartimentierung, die nach der FAO-Guideline erstellt wurde

Aufgrund der zeitlichen und maschinellen Einschränkungen, erschien das komplette Ausgraben der Wurzelstöcke, zur Bestimmung der BGB, am besten. Da im mazedonischen Mavrovo Nationalpark durch (Hristovski et al. 2012) bereits Wurzel ausgrabungen an Buchen durchgeführt und Biomassefunktionen dafür modelliert worden sind, wurde entschieden die Kompartiments-Klassen für die Erhebung der unterirdischen Biomasse, basierend auf deren Studie festzulegen, da die Ergebnisse im späteren Verlauf miteinander verglichen werden.

Damit am Ende für jeden Baum dieselben Angaben vorhanden sind und nichts vergessen geht wurde ein Excel-Formular erstellt, welches im Anhang 1 einsehbar ist. Um einen Anhaltspunkt für die Dichte ermitteln zu können, wurden gesamthaft zwei Proben pro Kompartiment entnommen (Anhang 2). Mittels Wasserverdrängungsmethode konnte die Dichte bestimmt werden. Dies ist notwendig, um den Kohlenstoffgehalt exakt bestimmen zu können.

3.3.2 Perimeter

Im Ost-Mazedonien gibt es viele gut dokumentierte Buchenniederwälder. Durch die Waldbewirtschaftungspläne ist bekannt wann die letzten Eingriffe getätigt worden sind. Zeitgleich zur Erhebung der Biomasse wurde im Rahmen einer anderen Bachelor-Thesis von Schwab (2015) eine Waldinventur in denselben Altersstufen und denselben Regionen durchgeführt. Dessen Inventurdaten konnten für Hochrechnungen im späteren Verlauf dieser Arbeit verwendet werden. In Abb. 18 ist der Perimeter zur Veranschaulichung schematisch dargestellt. Die Überlegung dahinter ist, dass Daten für verschiedenen Altersklassen generiert und miteinander verglichen werden können. Die Altersklassen sind folgendermassen aufgeteilt:

- Altersklasse 1: jung; bis 30 Jahre
- Altersklasse 2: mittel; 30 – 45 Jahre
- Altersklasse 3: alt; 45 Jahre und älter

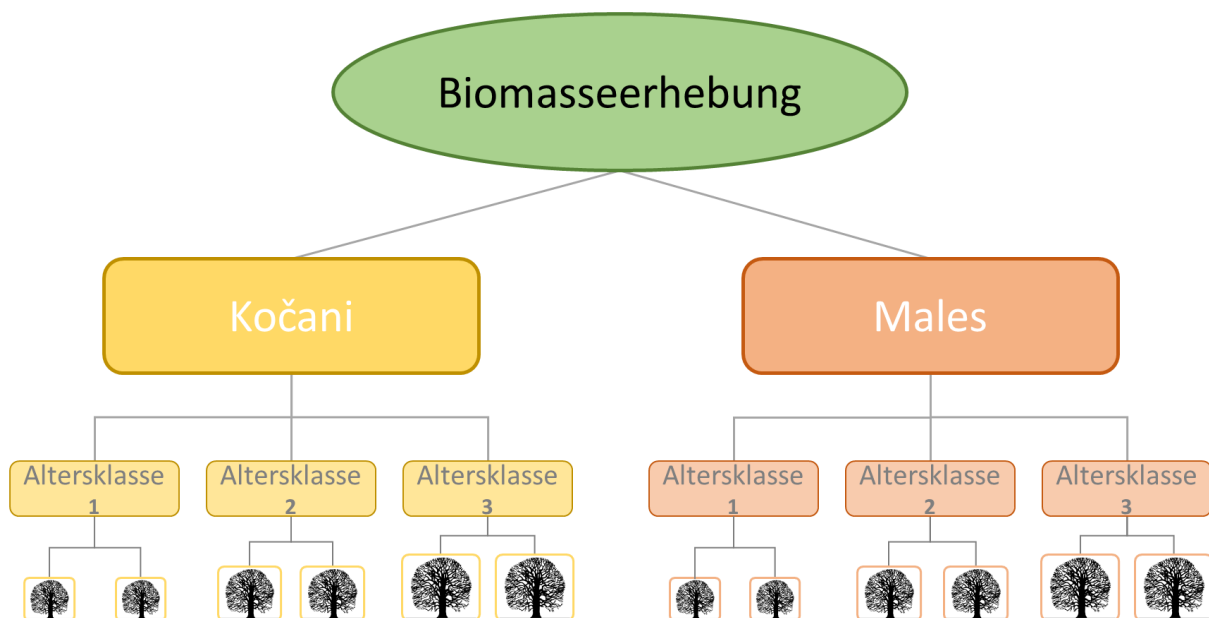


Abb. 18: Darstellung der Perimetraufteilung, nach welcher die Bestände und Bäume im Feld ausgesucht wurden

Durch diese Aufteilung sollen auch bereits mögliche standortabhängige Unterschiede bemerkt werden können. Die ausgewählten Bäume befanden sich jeweils in den Plots, welche für die Inventur der Bachelor-Thesis von Schwab (2015) festgelegt worden sind.

3.3.3 Planung und Umsetzung

Flächensuche

Nachdem Bekanntgeben der Kriterien und Anforderungen an die Buchenniederwaldflächen wurden zusammen mit dem lokalen Förster und dem von Seiten Mazedonien zuständigen Betreuer Dr. Prof. N. Velkowski potenzielle Standorte in den Waldbewirtschaftungsplänen herausgesucht. Da das Forstgesetz eine Überführung der Niederwälder in Hochwälder vorschreibt, wurde es zu einem schwierigen Unterfangen, seit dem letzten Kahlschlag unberührte Flächen zu finden. Fast überall sind in den letzten Jahren Ausdünnungen, positive Auslese oder illegale Nutzung durchgeführt worden.

Beim Aufsuchen der geeigneten Flächen waren die Bestände oft sehr heterogen, lagen weit auseinander, wiesen kaum befahrbare Strassen auf, zeigten ein vom Waldbewirtschaftungsplan abweichendes Bestandesbild und waren zum Teil so weit von der Strasse entfernt, dass die Bäume mit dem Seil nicht hätten umgezogen werden können. Deshalb beanspruchte die definitive Festlegung der zu untersuchenden Flächen relativ viel Zeit.

Feldarbeit

In den Flächen selbst wurde jeweils versucht zwei möglichst bestandesrepräsentative Bäume auszuwählen, dessen Biomasse ermittelt werden konnte. Das Gelände hatte in beiden Regionen eine durchschnittliche Neigung von rund 15 %. Damit nicht gegen die Schwerkraft gearbeitet werden musste wurde darauf geachtet, dass Bäume oberhalb der Strasse ausgewählt wurden. Von der PEMF wurde das nötigste Material zur Verfügung gestellt. Für die praktische Arbeit hatten wir in Kočani zwei Waldarbeiter fix zur Unterstützung. Der Eine war der Maschinist des Forstschleppers, der Andere war für die Sägearbeiten zuständig. Die technischen Daten des Forstschleppers sind unbekannt, nur das Baujahr von 1975 ist gesichert. Das sich auf der Seilwinde befindende Seil war 13 mm stark, hatte aber nur eine Länge von weniger als 20 m. Die Motorsäge war eine für diese Arbeit übermotorisierte Stihl des Modells 066. Bevor ein Baum umgezogen worden ist, wurden die Koordinaten mit einem GPS-Gerät aufgenommen und zusammen mit den benötigten Durchmesserangaben, welche mit einem Durchmesserband ermittelt worden sind, in das vorbereitete Feldformular eingetragen (Anhang 1). Mit Pickel und Schaufel wurde der Boden um den Wurzelstock herum gelockert. Der Maschinist platzierte den Forstschlepper möglichst direkt um die Zugkraft maximal hoch zu halten. Die Arbeitssicherheit entsprach mazedonischem Standard, in der Schweiz ist der Direktzug mit einem solch kurzen Seil nicht erlaubt. Jedoch war dies die einzige Möglichkeit, die uns zur Verfügung stand. Dadurch, dass der gesamte Baum, mitsamt dem Wurzelstock, umgezogen wurde, ist der Baum nur sehr langsam gefallen und wurde durch die benachbarten Bäume zusätzlich gebremst. Dadurch war der Direktzug verantwortbar. Sobald

der Baum am Boden lag, konnte die Baumhöhe gemessen werden. Danach wurde der oberirdische Teil des Baumes vom Stock getrennt. Vom Kleinen zum Grossen wurden die verschiedenen Kompartimente angezeichnet und voneinander separiert. Es mussten verschiedene Vorgehensweisen ausprobiert werden, bis festgelegt werden konnte wie die Arbeit angenehm und effizient erledigt werden konnte. Schon ab dem 2. Baum hat es sich so abgespielt, dass jemand die Kompartimentsgrenzen angezeichnet hat, und während diese vom Säger zersägt wurden, konnte der Helfer die zersägten Stücke sortieren. Nachdem die ganze oberirdische Biomasse zersägt und sortiert war, konnte diese kompartimentsweise gewogen werden. Dazu diente eine digitale Kranwaage der Marke PCE mit einer Genauigkeit von 0,2 kg und einer Maximallast von 1 t. Da der Forstschlepper keinen Kran hatte, wurde das Seilwindenseil an einem Baum befestigt und leicht vorgespannt, damit die Waage auf einer angenehmen Arbeitshöhe eingehängt werden konnte. Für das Wiegen der grösseren Kompartimente diente ein robuster Laubsack, mit einem Füllvolumen von 275 l und einer Maximallast von ca. 250 kg, als Behälter. Nach dem Einhängen des Sackes an der Waage, musste diese mit der Kalibrierfunktion auf null gestellt werden, damit nur der Sackinhalt gewogen wird. Der Sack wurde befüllt und nachdem Spannen des Seiles konnte das Gewicht abgelesen und im Formular notiert werden. Die Äste 1 - 4 cm hätten für das Wiegen im Laubsack zu oft zerkleinert werden müssen. Deshalb wurden diese in voller Länge auf eine Gartenblache gelegt, mittels Gurten festgezurt und wie ein Paket gewogen. Natürlich ist auch bei dieser Methode das Gewicht der Blache und der Zurrgurte, vor dem Wiegen der Äste, abgezogen worden. Das Laub musste von den dünneren Ästen von Hand abgezapft werden, was viel Zeit beanspruchte. Deshalb beteiligten sich daran meist auch die Fahrer, die Betreuer und diejenigen die die Waldinventur vollzogen.

Nun konnte man sich der unterirdischen Biomasse widmen. Dabei ging es in erster Linie darum, den Wurzelstock von der Erde zu reinigen. Dazu dienten der Pickel, die Schaufel und eine Gartenhacke. Der Wurzelstock wurde neben der Waldstrasse, auf ebenem Gelände, auf die Gartenblache gehievt damit keine Wurzelteile beim Zerkleinern verloren gingen. Mit Rebscheren wurden nach und nach die freiliegenden Wurzeln abgeschnitten und, nach Kompartimenten getrennt, in einem der drei dafür vorgesehenen Laubsäcke verstaut. Gerade in höheren Lagen, im flachgründigen Regosol, waren die Wurzeln besonders von Verwachsungen geprägt, wodurch die Reinigung und die Zerteilung in die entsprechenden Kompartimente aufwendig waren. Am Ende war der Wurzelstock soweit „ausgebeint“, dass er zum Kompartiment Wurzeln > 5 cm zählte und in einem Stück gewogen werden konnte.

Nach dem alles gewogen wurde, ist die Arbeit für einen Baum beinahe getan. Pro Kompartiment müssen noch drei Proben entnommen werden, damit der Feuchtigkeitsgehalt und dadurch das Trockengewicht des Baumes bestimmt werden kann. Aufgrund dessen wurde mit dem Laub und mit den Feinwurzeln jeweils ein hitzebeständiger Wäschesack gefüllt

und von den Ästen 1-4 cm jeweils mehrere mit einem Draht zusammengebunden. Die Proben wurden mit einem Code versehen. Aus diesem Code konnten der Ort, der Bestand, der Baum und das Kompartiment herausgelesen werden. Diese Proben mussten am selben Abend in möglichst frischem Zustand gewogen werden. Dazu diente eine 1 g genaue Küchenwaage. Danach wurden sie in luftdurchlässigen Säcken zwischengelagert, bevor sie zum Trocknen nach Skopje ins Labor gebracht wurden.

Für die Dichtebestimmung mussten ebenfalls Proben entnommen werden, wobei die Dichte für das Laub und das kleinste Wurzelkompartiment nicht bestimmt worden sind.

In Males war die Situation weniger angenehm. Da sich der Forstschlepper der zuständigen PEFM in der Reparatur befand, mussten lokale Landwirte aufgebeten werden, um mit den privaten, meist alten und leistungsschwachen Traktoren die Bäume umzuzerren. Das hatte zur Folge, dass oft nicht die gewünschten Durchmesser ausgewählt werden konnten und man auf kleinere Bäume ausweichen musste.

Labor

Im Labor der Agronomischen- und Forstlichen Fakultät in Skopje, konnten Trocknungsöfen zum Trocknen der Proben benutzt werden. Das Trocknen sowie die Dichtebestimmung wurden nach der FAO Anleitung von Picard et al. (2012) durchgeführt. Die Blätter wurden in hitzebeständigen Wäschesäcken, welche in jedem grösseren Supermarkt erhältlich sind, bei 70 °C getrocknet. So konnten die, nach dem Trocknen sehr zerbrechlichen, Pflanzbestandteile noch immer dem richtigen Baum zugeordnet werden. Zweimal pro Tag wurden einzelne Proben gewogen, um zu sehen, ob das Gewicht weiter abnimmt oder bereits stagniert. Bei den Blättern trat die Stagnation bereits nach 48 Stunden ein, vermutlich weil sie bereits einige Wochen vortrocknen konnten.

Die verholzten Bestandteile wurden bei 105 °C getrocknet und auch hier wurden einzelne Proben jeweils 2-mal pro Tag gewogen. Die Stagnation ist bei den verholzten Bestandteilen nach gut 72 Stunden eingetroffen.

Das Trockengewicht aller Proben wurde wiederum in den Feldformularen notiert, wodurch alle notwendigen Daten zur Berechnung der Gesamtbiomasse vorhanden waren.

$$TG_{Baum} = \sum FG_{Kompartiment} * \frac{TG_{Probe}}{FG_{Probe}}$$

wobei mit TG_{Baum} das Trockengewicht der gesamten Biomasse gemeint ist und FG Frischgewicht bedeutet. $\frac{TG_{Probe}}{FG_{Probe}}$ dient zur Berechnung des Feuchtigkeitsgehaltes.

Um die Dichte zu bestimmen wurden die dafür vorgesehenen Proben 72 Stunden in Wasser eingelegt, damit sie wassergesättigt waren. Die gequellten Proben wurden mit einer Stecknadel, in einem auf der Waage stehenden Gefäss, unter Wasser gedrückt. Das von der

Waage angezeigte Gewicht entspricht dem Volumen. Danach wurden die Proben bei 105 °C für mindestens 72 Stunden (oder bis kein Feuchtigkeitsverlust mehr gemessen werden konnte) getrocknet. Anschliessend wurden die trockenen Proben gewogen. Mit der Formel

$$\rho = \frac{TG(g)}{Nassvolumen (cm^3)}$$

konnte nun die Dichte für die einzelnen Kompartimente der beiden Regionen Kočani und Males berechnet und im Feldformular eingetragen werden.

3.4 Datenauswertung

Damit die generierten Daten zur Biomasse der untersuchten Bäume verwendet werden konnten, mussten diese von den Feldformularen digitalisiert, also ins Excel transkribiert, werden (Anhang 1). Die digitalisierten Daten standen nun der statistischen Auswertung und für Berechnungen zur Verfügung.

3.4.1 Statistische Methodik

Die statistische Auswertung und die Berechnungen wurden anfänglich mit *Excel* durchgeführt. Aus den im Feld ermittelten Durchmesser wurde die Grundfläche über $r^2\pi$ berechnet. Sobald ein Baum mehrere Ausschläge hatte, mussten folglich die Grundflächen der Ausschläge addiert werden, um die gesamte Grundfläche zu erlangen. Da für die Hochrechnungen die Inventurdaten von Schwab (2015) verwendet wurden, ist entschieden worden, die Berechnungen mit *R-Statistics* durchzuführen (Anhang digital). Ein spezifisch auf die Daten abgestimmtes Modell erschien aufgrund der geringen Datenmenge als wenig aussagekräftig. Deshalb wurde entschieden verschiedene für Buchen existierende Biomassefunktionen auf die generierten Daten anzuwenden und die Genauste für die Hochrechnungen zu benutzen. Dazu wurden unter anderem auf Buchenbestände angepasste, für Niederwälder geeignete und allgemeingültige Biomassefunktionen, zur Schätzung der BGB, zusammengetragen. Deren wichtigsten Informationen sind übersichtlich in Tab. 6 dargestellt. Die Dichtemessungen haben für Kočani einen durchschnittlichen Wert von 0.584 g/cm³ und für Males einen durchschnittlichen Wert von 0.557 g/cm³ ergeben. Das liegt in der Grössenordnung des Dichtewertes 0.58 g/cm³ für *Fagus sylvatica* von Dietz (1975). Dessen Dichtewerte werden von der IPCC für allgemeine Berechnungen in temperierten und borealen Wäldern vorgeschlagen. Da bei der Inventur nicht nur Buchen vorkamen und deshalb für die Berechnungen auch die Dichtewerte von anderen Baumarten benötigt worden sind, wurden die Werte für die jeweilige Baumart von Dietz (1975) verwendet.

Tab. 6: Infos zu den angewandten Biomassefunktionen, wobei jeweils das Total der AGB- oder BGB geschätzt wird (Quelle: Bolte et al. 2003; Zianis et al. 2005; Mokany et al. 2006; Wutzler et al. 2008; Suchomel et al. 2012; Chave et al. 2014, eigene Darstellung)

Wer	Was	Formel	Parameter			Spannweite		n	r ²
			a	b	c	D (cm)	H (m)		
Zianis	ln(AGB)	$a + b * \ln(BHD)$	-1.3816	2.3485	-	5.4-41	9.2-28	16	0.99
Chave	AGB	$a * (\rho * BHD^2 * H)^b$	0.0673	0.976	-	10-158	9-61	4004	NA
Hochbichler	ln(AGB)	$a + b * \ln(D) + c * \ln(H)$	-2.872	2.095	0.678	NA	NA	42	0.99
Bartelink	AGB	$a * BHD^b * H^c$	0.0306	2.347	0.590	NA	NA	38	0.99
Nihlgård	log(AGB)	$a + \log[H * (BHD^2)] * b$	-1.7194	1.0414	-	12-64	11-29	NA	NA
Calamani 1	AGB	$a * BHD^b * H^c$	0.0474	1.8052	0.9960	NA	NA	NA	0.99
Calamani 2	AGB	$a * BHD^b * H^c$	0.1689	2.4464	-0.143	ø 6.2	8.5-11	19	0.98
Calamani 3	AGB	$a * BHD^b * H^c$	0.0087	2.2545	1.0941	ø 34	25-27	23	0.99
Calamani 4	AGB	$a * BHD^b * H^c$	0.0393	2.0136	0.8783	ø 13.8	14-18	18	0.99
Wutzler	AGB	$a * BHD^b * H^c$	0.0523	2.12	0.655	1-79	2-37	350	NA
Pyttel	AGB	$a * (BHD)^b$	0.258	2.1748	-	NA	NA	24	0.93
Mokany	BGB	$a * (AGB)^b$	0.489	0.890	-	NA	NA	786	0.93
Le Geoff	BGB	$a * (BHD)^b$	0.022	2.54	-	3-20	NA	16	0.99
Bolte	ln(BGB)	$a + b * \ln(BHD)$	0.018	2.32	-	4-53	NA	27	0.94
Wutzler	BGB	$a * (BHD)^b$	0.0282	2.39	-	3-38	7-29	48	NA

Zur Abschätzung der Tauglichkeit wurde für jede Funktion das Bestimmtheitsmass (r^2) sowie der *root mean square error* (*rmse*) berechnet. Dazu wurden die folgenden beiden Formeln angewandt:

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

Das r^2 lässt sich als Quadrat des Korrelationskoeffizienten zwischen den beobachteten und den regressionsanalytisch geschätzten Werten der erklärten Variablen angeben, hat also Werte zwischen Null und Eins. Ist der Wert des Bestimmtheitsmasses nahe bei eins, wird dies als Qualitätsmerkmal eines Regressionsansatzes verstanden.

$$rmse = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}$$

Der *rmse* gibt an, wie gut eine Funktionskurve an die erhobenen Daten angepasst ist, beziehungsweise wie stark eine Prognose im Durchschnitt von den tatsächlichen Beobachtungswerten abweicht. Der *rmse* besteht aus der Quadratwurzel des durchschnittlichen Prognosefehlers. Je grösser der Wert, desto schlechter ist die Anpassung des Modells.

3.4.2 Modellierung und Modellberechnung

Die Daten und Berechnungen in *R-Statistics* sind in Form von einfachen Punktwolken - Diagrammen und Histogrammen dargestellt worden. Dazu wurde für die Schätzung der AGB die Formel von Chave et. al (2014) (ab jetzt „Chave“ genannt) angewandt:

$$AGB = 0.0673 * (\rho * BHD^2 * H)^{0.976}$$

Die BGB wurde mithilfe der Formel von Mokany et. al (2006) (ab jetzt „Mokany“ genannt) bestimmt:

$$BGB = 0.489 * AGB^{0.890}$$

Die Umrechnung von Biomasse zu Kohlenstoff erfolgte nach der Empfehlung von Lamtom und Savidge (2003), wobei die Masseinheit der Werte in Tonnen Kohlenstoff (tC) angegeben wird:

$$Kohlenstoff = 0.48 * TG$$

Als Anwendung wurde mit den Inventurdaten von Schwab (2015) und der Wachstumsfunktion von Schumacher in Bachmann (2009) berechnet:

$$y = a * e^{\frac{-b}{t}}$$

die Kohlenstoffbindung in tC/ha als sigmoide Kurve dargestellt. In diesem Fall steht y für Tonne Kohlenstoff und t für Zeit. Die Identifizierung der Parameter a und b geschah durch die lineare Regression der linearisierten Wachstumsfunktion

$$\log(x) = \log(a) - b * \frac{1}{t}$$

mit Intercept $\log(a)$ und Effekt $-b$.

Die Zuwachskurve konnte mit der Ableitung der Wachstumsfunktion dargestellt werden:

$$x' = \frac{a * b * e^{\frac{-b}{t}}}{t^2}$$

Da die Stockausschläge aufgrund mehrerer Austriebe auch mehrere BHD aufwiesen, muss aus der Summe der Grundfläche der einzelnen Austriebe ein repräsentativer BHD berechnet werden kann:

$$BHD = 2 * \sqrt{\frac{1}{\pi} * \sum_{i=1}^n \pi * \left(\frac{BHD_i}{2}\right)^2}$$

4 Resultate

Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt auf der Analyse des Verhältnisses zwischen ober- und unterirdischer Biomasse von Buchenstockausschlägen (*Fagus moesiaca*). Aufgrund der geringen Datenmenge, von 11 Bäumen deren oberirdische und von 10 Bäumen deren unterirdische Biomasse bemessen werden konnte, ging es darum eine möglichst exakte Methode zu ermitteln, mit der das Verhalten der gesamten Biomasse beschrieben werden kann. Die Details sind nachfolgend erläutert.

4.1 Feldarbeit

Wie in 3.3.3 beschrieben war die Methode zur Ausgrabung der Wurzelstöcke aufgrund der beschränkten Mittel sehr rudimentär. Das führte auch dazu, dass in Kočani die Verwurzelung des 5. Baumes so stark war, dass die beim Umziehen entstandene Kraft grösser war als die Bruchlast des Zugseiles und dieses zerbarst. Tage später trotzte der Baum auch dem fabrikneuen Seil obwohl die Wurzelanläufe freigelegt worden sind. Schliesslich konnte durch schrittweises Umziehen der einzelnen Ausschläge rund $\frac{1}{3}$ der Wurzelmasse ausgegraben werden. Ohne Bagger war mehr nicht möglich. Mit der Formel von Le Goff und Ottorini (2001):

$$\ln(BGB_m) = 3.0096 + 2.0949 * \ln(d)$$

für das Schätzen der Biomasse von abgebrochenen Wurzeln, wurde versucht den im Boden verbliebene Wurzelanteil zu berechnen. BGB_m steht für die Biomasse der abgebrochenen Wurzel und das d für den ermittelten Durchmesser an der Stelle wo die Wurzel abgebrochen ist. Das ergab in der Summe einen unwahrscheinlich kleinen Anteil von 3.9 kg, worauf entschieden worden ist die unterirdische Biomasse dieses Baumes nicht zu werten und mit NA zu versehen, was in der Tab. 7 ersichtlich ist.

Tab. 7: Informationszusammenstellung zu den vermessenen Bäumen. N steht für die Anzahl Ausschläge, der repräsentative BHD wurde über die Grundfläche (g) berechnet und das ρ steht für die Dichte.

Ort	Best.	Baum	N	Ø BHD	g	ρ	Höhe	Alter	AGB	BGB	rsf
K	1	1	5	8,7	300,0	0,58	14	35	230,5	84,3	36,6
K	1	2	3	8,9	186,1	0,58	11,5	45	107,6	31,3	29,1
K	2	1	2	17,8	500,3	0,58	19	65	330,3	70,9	21,5
K	2	2	2	16,0	402,1	0,58	14,5	65	309,4	103,7	33,5
K	3	1	18	7,9	875,7	0,58	13	30	483,0	NA	NA
K	3	2	5	9,1	323,2	0,58	8,8	20	141,0	26,8	19,0
M	1	1	3	7,8	144,1	0,56	10,2	25	58,0	14,5	24,9
M	1	2	3	9,7	222,0	0,56	9,9	25	107,0	22,5	21,0
M	2	1	2	12,2	234,1	0,56	19,4	45	170,6	15,3	9,0
M	3	1	5	9,1	326,4	0,56	15,4	65	159,6	27,6	17,3
M	3	2	3	10,6	266,1	0,56	14,6	45	142,4	25,0	17,6

Eine ähnliche Situation wiederholte sich beim 3. Baum in Males. Dabei handelte es sich um einen hochgewachsenen, hochwaldähnlichen Bestand welcher sich als sehr tiefgründig erwies. Der Traktor, der an diesem Arbeitstag zur Verfügung stand, war für die Arbeit nicht stark genug motorisiert, wodurch es nicht annähernd gelang den Baum umzuziehen. Aus Zeitgründen wurde dann entschieden auch die oberirdische Biomasse nicht zu vermessen. Das ist der Grund, weshalb nicht wie in Abb. 18 vorgesehen, von 12 Bäumen die gesamte Biomasse vermessen wurde. Schlussendlich wurde also von 10 Bäumen die gesamte Biomasse vermessen und von einem zusätzlichen Baum konnte nur die oberirdische Biomasse bestimmt werden. Die Formulare mit den detaillierten Angaben dazu befinden sich im Anhang 1.

4.2 Oberirdische Biomasse

In 3.4.1 wird bereits erwähnt, dass verschiedene Biomassefunktionen auf ihre Tauglichkeit zur Verwendung in Buchenniederwäldern geprüft worden sind. Diese Biomassefunktionen stammen bis auf *Chave* und *Pyttel* aus Untersuchungen in Buchenhochwäldern und verwenden den BHD und die Höhe als Eingangsdaten. Die Biomassefunktion von *Pyttel* ist für Hagebuche (*Carpinus betulus*) Niederwälder konzipiert worden und die von *Chave* wie bereits in 2.4.1 beschrieben, ist allgemeingültig ausgelegt und verwendet die Dichte als zusätzlichen Input. In Tab. 8 ist ersichtlich wie gut die verschiedenen Biomassefunktionen für die gemessenen Daten geeignet sind und weshalb man sich für diejenige von *Chave* entschieden hat. In der Abb. 19 ist die Legende nicht anhand der Tauglichkeit erstellt worden, sondern nach Orientierung, so dass der oberste Name der obersten Funktion entspricht und der unterste Name demnach der untersten Funktion. Der *rmse* zeigt auf, um wie viel, in diesem Fall kg, der geschätzte Datenpunkt im Durchschnitt vom realen Wert entfernt liegt. Das *r-script* befindet sich im digitalen Anhang.

Tab. 8: Informationen zu den verglichenen Biomassefunktionen

Wer	Chave	Hochb.	Calam.4	Calam.1	Zianis	Wutzler	Pyttel	Nihlg.	Bartel.	Calam.2	Calam.3
r^2	0.87	0.80	0.78	0.77	0.77	0.71	0.65	0.62	0.44	0.40	0.19
rmse	43.4	53.0	56.1	57.1	57.3	64.2	70.9	73.5	89.5	92.4	107.1

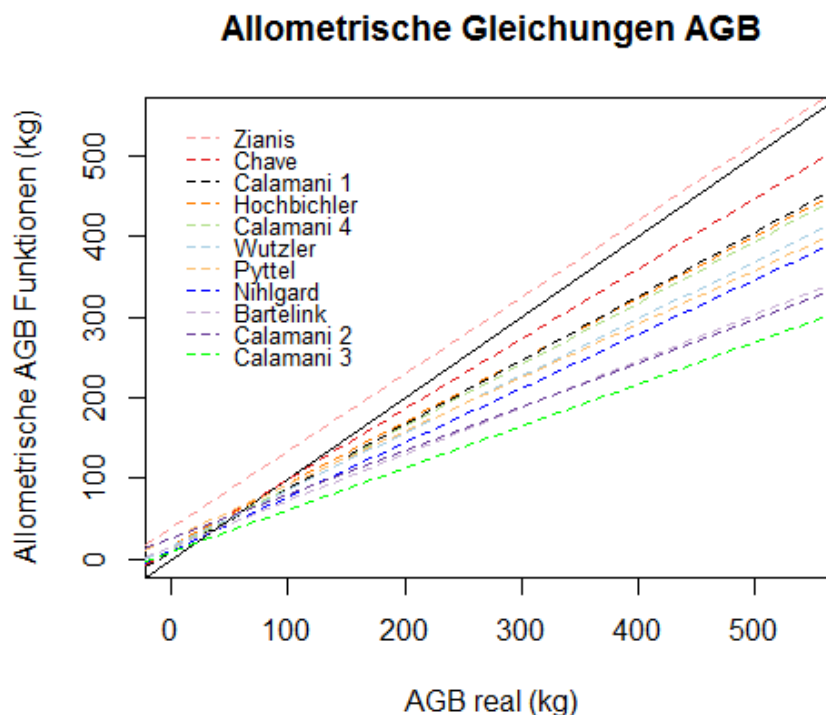


Abb. 19: Allometrische AGB-Funktionen, welche zum Vergleich auf die im Feld erhobenen AGB-Werte angewandt wurden

In der Abb. 20 wird veranschaulicht wie die Funktion von *Chave* auf die erhobenen Daten passt.

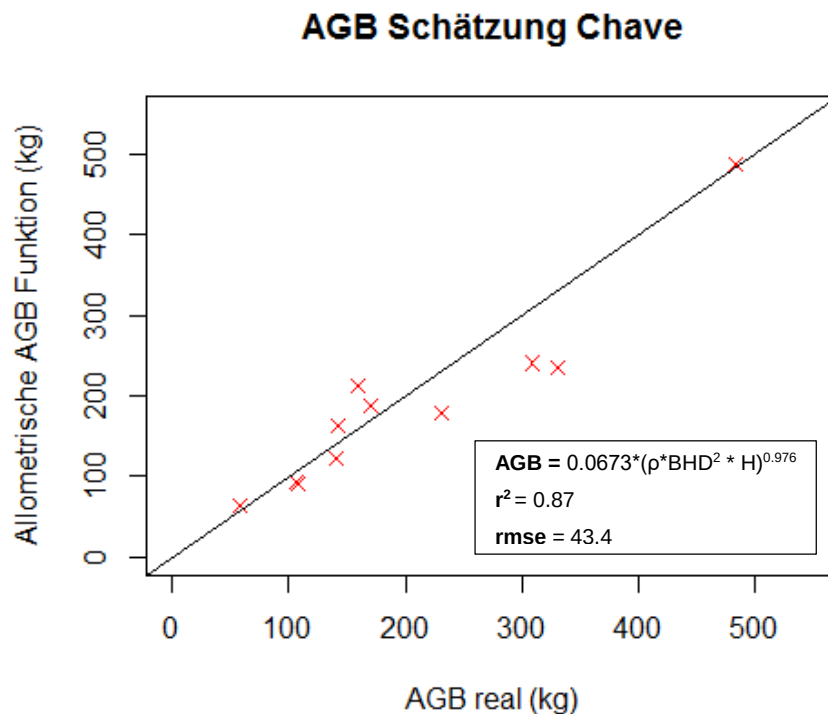


Abb. 20: Vergleich zwischen den gemessenen AGB- und den durch Chave geschätzten Werten

In der Abb. 21 lässt sich erkennen, dass sich von der Grundfläche aus relativ gut auf die oberirdische Biomasse schließen lässt. Das bedeutet, dass wenn man mit der darin abgebildeten Funktion, und mittels in Waldinventuren erhobenen Grundfläche, die AGB berechnet, im Durchschnitt das tatsächliche Gewicht um knapp 59 kg unter- oder überschätzt.

Abhängigkeit der AGB von der Grundfläche

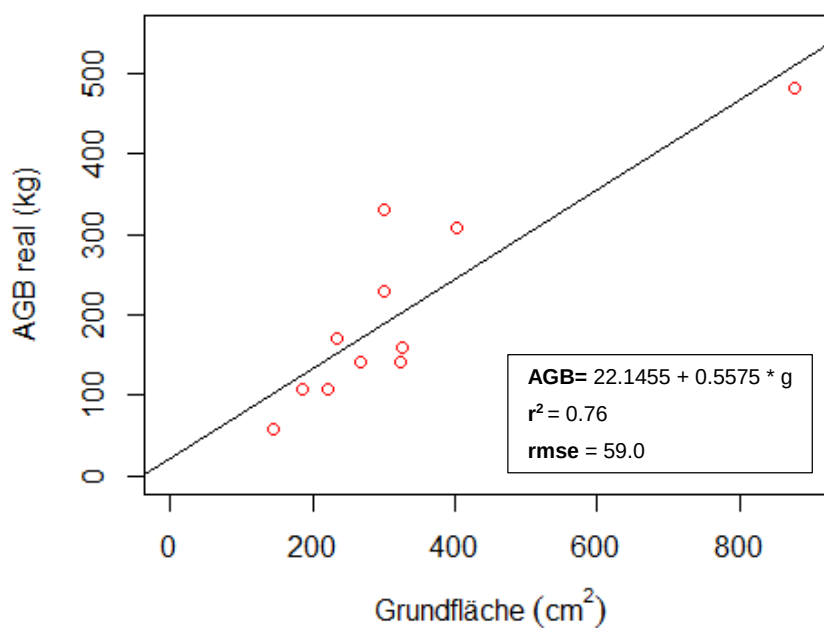


Abb. 21: Abhängigkeit der AGB von der Grundfläche mit dargestelltem Modell

Das Modell von *Chave* beschreibt die geschätzten Daten genauer als das Modell der Abhängigkeit zwischen AGB und g. Dafür werden mit der Baumhöhe und der Dichte zusätzliche Informationen benötigt, wobei diese bei Inventuren problemlos ermittelt werden können.

4.3 Unterirdische Biomasse

Zur Schätzung der unterirdischen Biomasse sind deutlich weniger Biomassefunktionen bekannt, als zur Schätzung der oberirdischen Biomasse. Zur Schätzung der BGB für Buche (*Fagus sylvatica*) gibt es bislang 8 verschiedene Funktionen. Sämtliche 8 wurden auf die erhobenen Daten angewendet. 4 davon waren jedoch so ungenau, dass sie nicht berücksichtigt wurden. Die anderen 4, die sich besser eignen sind in Abb. 22 visualisiert worden. Die Eignungswerte der verschiedenen Funktionen können der Tab. 9 entnommen werden.

Tab. 9: Zusammenzug über die Passgenauigkeit der auf die erhobenen BGB Werte angewandten BGB Funktionen (Die Funktionen sind in Tab. 6 einsehbar, die Funktion der Abhängigkeit der BGB von AGB in Abb. 24)

	AGB	Mokany et al. 2006	Le Geoff in Ziani et al. 2005	Wutzler et al. 2008	Bolte et al. 2003
r^2	0.71	0.66	0.15	-0.01	-0.03
rmse	16.3	17.5	27.9	30.4	30.6

Es ist gut ersichtlich, dass bei kleineren Bäumen die verschiedenen Funktionen allesamt die Wurzelmasse recht genau einschätzen. Bei den Bäumen mit grösserer Grundfläche wird die unterirdische Biomasse jedoch von allen, ausser *Mokany*, massiv unterschätzt. Die geschätzten Werte von *Mokany* sind in Abb. 23 nochmals übersichtlicher dargestellt.

Allometrische Gleichungen BGB

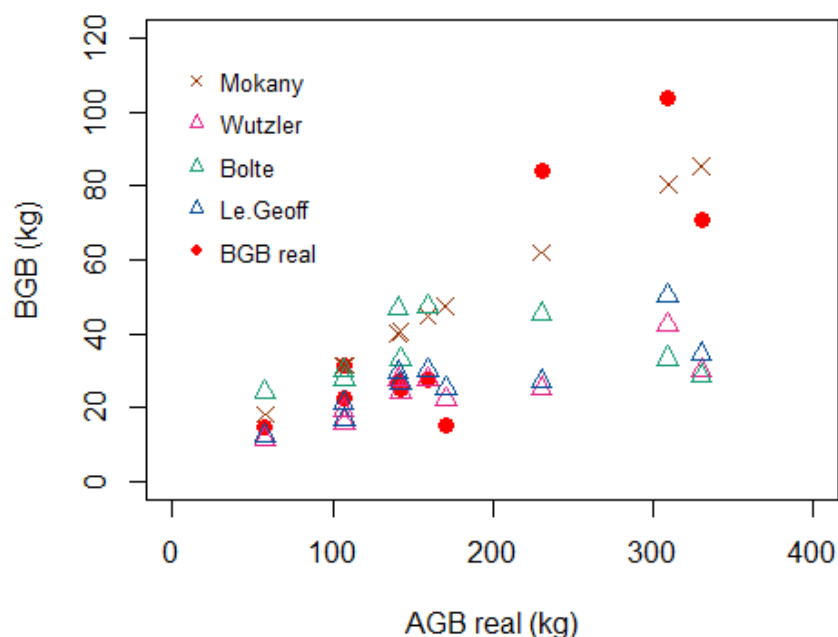


Abb. 22: BGB Funktionen, wobei ersichtlich ist, dass Mokany die erhobenen Daten am genauesten beschreibt

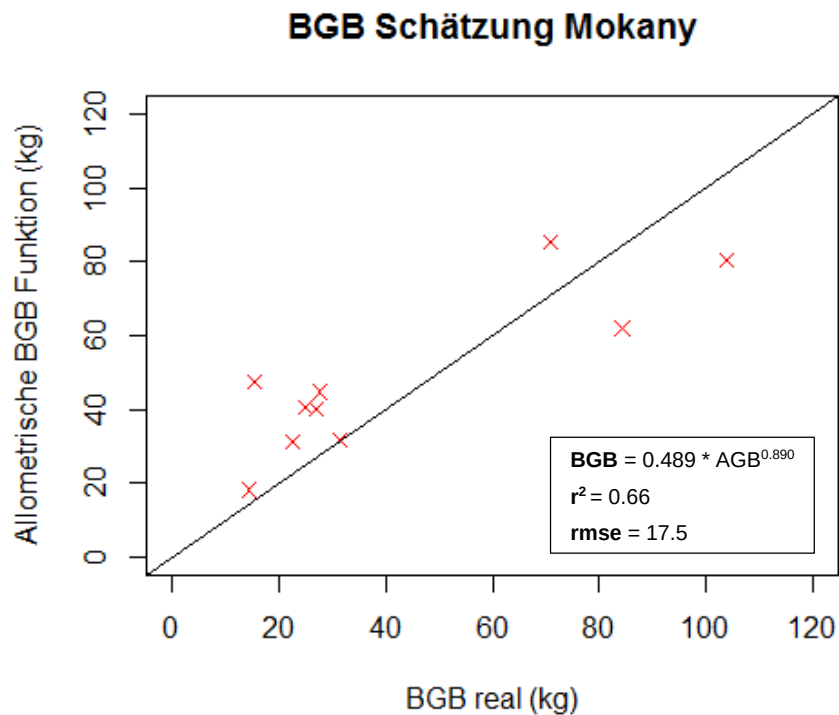


Abb. 24: BGB Schätzung durch die Funktion von Mokany

Die Biomassefunktionen für die BGB stellten sich somit, bis auf diejenige von *Mokany*, als unbefriedigend heraus. Erstaunlich ist, dass die Werte mit geringer BGB von *Mokany* überschätzt werden, da eher das Gegenteil erwartet wurde, dass vor allem bei geringer AGB ein verhältnismässig grosser BGB Anteil vorhanden ist.

Zusätzlich wurde auch die Abhängigkeit der BGB von der AGB geprüft und in Abb. 24 dargestellt.

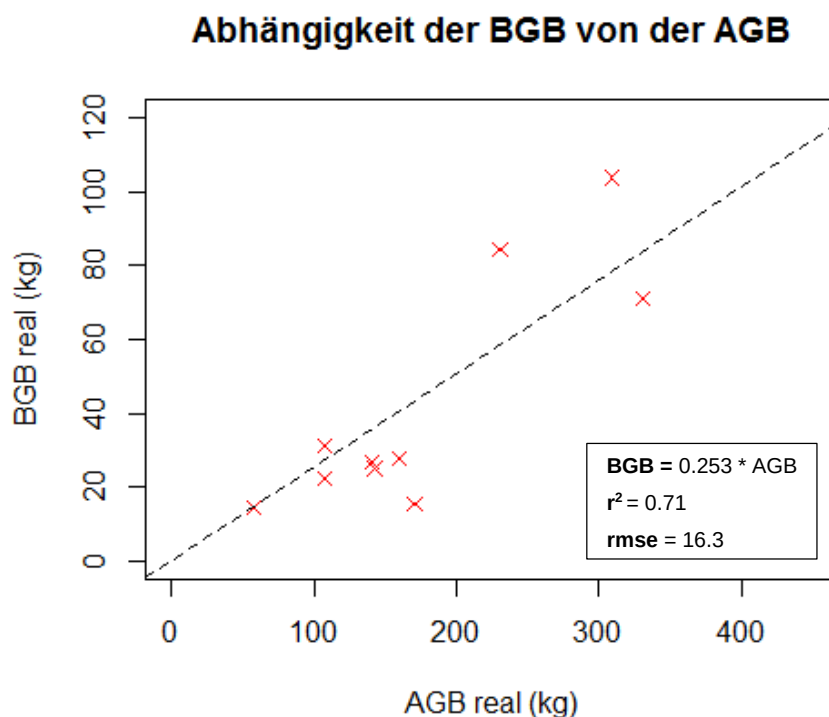


Abb. 23: Detaillierte Modellansicht des Regressionsmodells zur Schätzung der BGB

Der Zusammenhang zwischen der ober- und unterirdischen Biomasse, verhält sich relativ ausgeglichen. Da die Werte der Beziehung zwischen AGB und BGB nicht wesentlich besser sind, als diejenigen von *Mokany*, ist es sinnvoll dessen Modell, das für allgemeine Werte kalibriert wurde, zu verwenden. Dabei handelt es sich auch um einen *rsf*. *Rsfs* können aus den ermittelten Daten auf verschiedene Weisen erhoben werden. Entweder durch den *rsf* des Regressionsmodells, indem grössere Bäume, also Bäume mit mengenmässig mehr Biomasse, gewichtiger sind als kleinere oder über den Mittelwert bzw. den Median wo jeder Baum gleich viel zählt, egal wie gross oder klein dieser ist. Dass die Daten der grösseren Bäume mehr Einfluss haben scheint realitätsnaher, vor allem auch wenn die Verteilung im Histogramm in Abb. 25 betrachtet wird. Der Baum mit der geringsten BGB befand sich in Males, in einem dichten, hochgewachsenen Bestand und zieht sowohl den Mittelwert als auch den Median herunter.

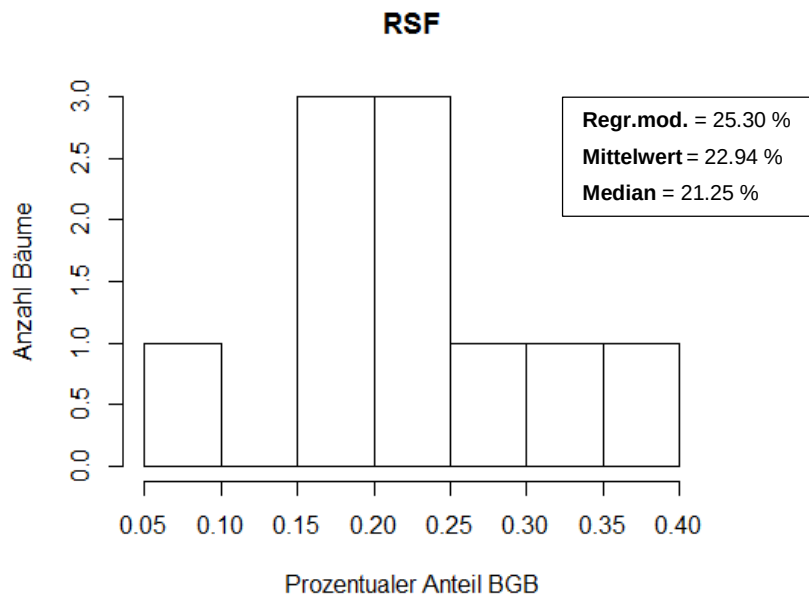


Abb. 25: Histogramm mit den *rsf*'s der vermessenen Bäume

4.4 Kohlenstoffdynamik

Mit den Inventurdaten von Schwab (2015), aus Beständen zwischen 20 und 75 Jahren, konnte einerseits die Kohlenstoffbindung und andererseits dessen jährlicher Zuwachs berechnet und in Abb. 26 bzw. Abb. 27 dargestellt werden. Die Zahlen beziehen sich auf die AGB, da zur Berechnung jedoch der *rsf* von *Mokany* angewandt wurde, können die Werte für die BGB mit wenig Aufwand dazugerechnet werden.

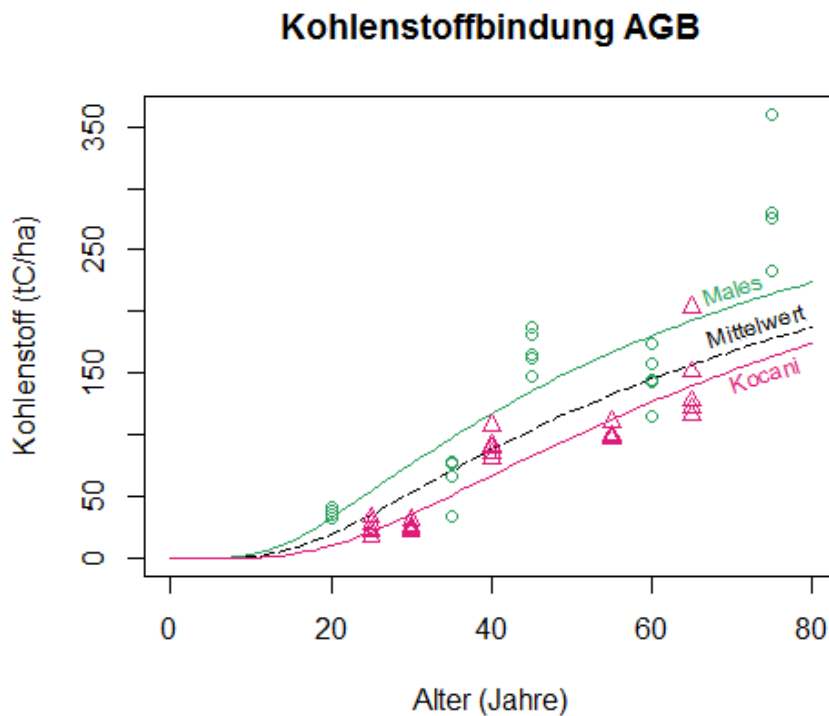


Abb. 26: Kohlenstoffbindung in Buchenniederwäldern in Kočani und Males

In der Abb. 26 ist erkennbar aus welchen Altersstufen und aus welcher Region die Eingangsdaten stammen. Das Modell zeigt die durchschnittliche Kohlenstoffbindung über eine Rotation von 80 Jahren. In diesem Zeitraum werden durchschnittlich 85.7 tC/ha gebunden. Interessant dabei ist auch, wie hoch die Biomasse im Plot des überalterten Niederwaldbestandes ist. Im Allgemeinen sind die in Males aufgenommenen Bestände vorratsreicher als diejenigen in Kočani. Es ist eindrücklich, wenn man bedenkt, dass die Regionen von den Gegebenheiten her sehr ähnlich sind und sich die Kohlenstoffbindung nach 50 Jahren trotzdem um mehr als 50 tC/ha unterscheidet.

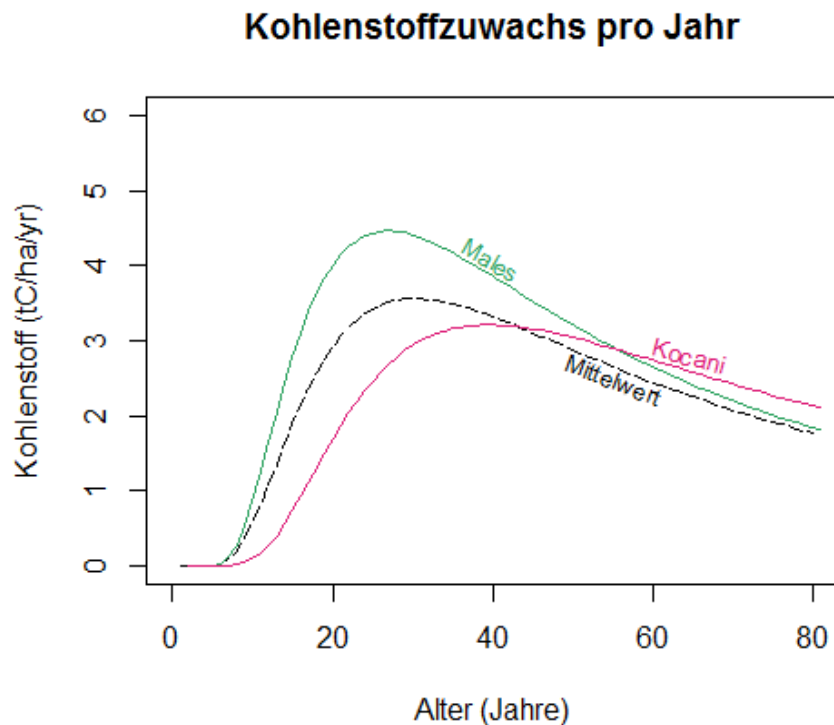


Abb. 27: Kohlenstoffzuwachs in Buchenniederwäldern in Kočani und Males

Dieser Unterschied macht sich auch in der Abb. 27 bemerkbar. So unterscheidet sich der jährliche Kohlenstoffzuwachs nach 26 Jahren von 4.46 tC/ha/yr zu 2.69 tC/ha/yr, also um nahezu 2 tC. Der maximale mittlere Zuwachswert kulminiert nach 30 Jahren bei 3.56 tC/ha/yr.

4.5 Vergleich Niederwald mit Hochwald

In der Tab. 10 ist ersichtlich, dass der geschätzte Kohlenstoffvorrat in den untersuchten Niederwäldern von Kočani und Males deutlich tiefer ist, als der zum Vergleich in Hochwäldern geschätzte Kohlenstoffvorrat aus anderen Untersuchungen.

Tab. 10: Vergleich von oberirdischen Kohlenstoffspeicherleistungen verschiedener Studien und Hochrechnungen (Quelle: 1: Zianis et al. 2003; 2: Koprivica et al. 2010; 3: Melovski et al. 2003; 3: Hristovski et al. 2012; 4: Stajic et al. 2009; 4: FRA 2010; eigene Darstellung)

	Griechenland ¹	Serbien ²	Mavrovo ³	FAO Mazed. ⁴	Kočani/Males
	Hochwald	Hochwald	Hochwald	Hoch-/Niederwald	Niederwald 50 J.
tC/ha	131.3	162.1	128.8	149	43.9
rsf %	NA	14.1	21.5	26	27.3

Aufgrund der durchschnittlich geringeren Bestandeshöhe von Niederwäldern ist im Allgemeinen der Vorrat geringer und somit auch weniger Biomasse vorhanden, respektive weniger Kohlenstoff gespeichert als in einem Hochwald. Laut Andonovski et al. (2014) beträgt der durchschnittliche Vorrat in den mazedonischen Buchenniederwäldern mit 120 m³/ha lediglich 1/3 desjenigen in Buchennhochwäldern wo er 334 m³/ha beträgt. Das widerspiegelt sich auch in den Werten zwischen den Untersuchungen in Mavrovo und Kočani/Males.

Auffallend ist, dass sich nur schon innerhalb dieser 4 Untersuchungen die ermittelten *rsf* um bis zu 13.2 % unterscheiden. Würde in der in Serbien durchgeführten Studie auch von einem *rsf* von 27 % ausgegangen werden, würde auf 1 ha 21.4 tC mehr gespeichert. Das zeigt, dass man bei diesen Schätzungen mit Ungenauigkeiten rechnen sollte.

Mit den Informationen, die aus der in Kočani/Males getätigten Analyse der ober- und unterirdischen Biomasse hervorgegangen sind, konnte die in Abb. 28 dargestellte Grafik erstellt werden. Dabei wurden ganz rudimentär 3 verschiedene Umtriebszeiten simuliert, in denen die durchschnittliche Kohlenstoffbindung ersichtlich ist und verglichen werden kann.

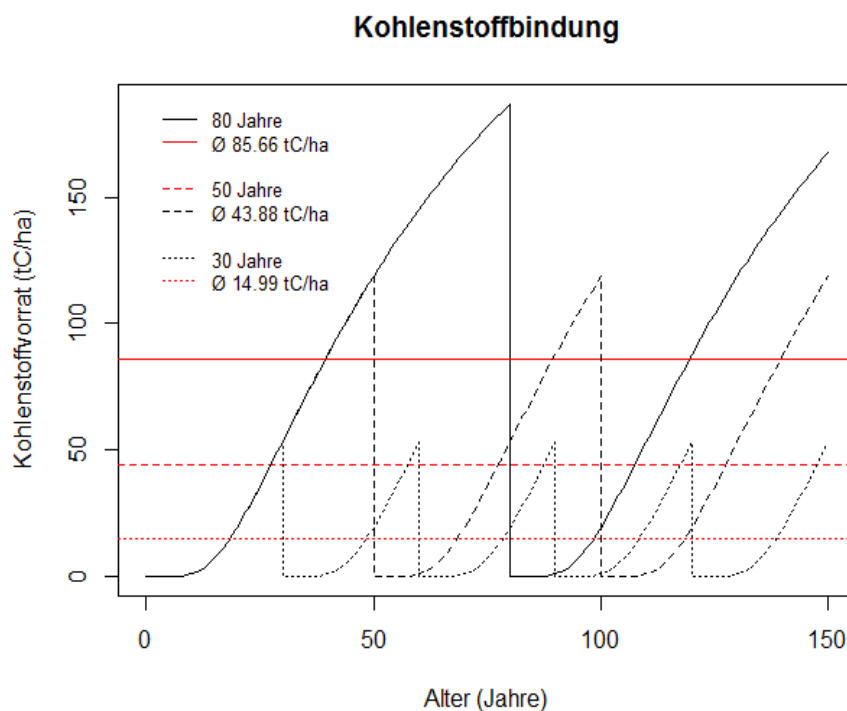


Abb. 28: Simulation der Kohlenstoffbindung unter dem Einfluss unterschiedlicher Umtriebszeiten

5 Diskussion

Im vorliegenden Kapitel werden die erzielten Resultate interpretiert und mit Erkenntnissen aus der Literatur beurteilt und ergänzt. Das Kapitel ist nach Schwerpunkten in drei Teile gegliedert.

5.1 Methodik

Der Bachelor–Thesis vorlagernd, wurde im Rahmen einer Semesterarbeit, die Methodik zur Kohlenstoffanalyse von Buchenniederwäldern in Ost-Mazedonien erarbeitet. Wegweisend dabei waren die FAO-Guideline von Picard et al. (2012) sowie die Wurzeluntersuchungen von Bolte et al. (2003). Aufgrund der beschränkten Mittel die zur Verfügung standen, war schnell klar, dass die Biomasseerhebung sehr rudimentär ablaufen würde. Trotz zahlreichen Bemühungen im Vorfeld, war erst auf dem Feld klar, welche Maschinen und Werkzeug vorhanden waren und eingesetzt werden konnten. So war die Kranwaage, welche für die Feldarbeit angeschafft wurde, mit 1'000 kg Nutzlast überdimensioniert und mit einer Genauigkeit von 200 g zu wenig präzise.

Die Probeflächen, die anhand der Waldentwicklungspläne (in welchen Informationen über die in der Vergangenheit getätigten Eingriffen, die Entwicklungsstufen und die Baumartenzusammensetzung zu finden sind) ausgewählt wurden, zeigten vor Ort zum Teil ein komplett anderes Bild. Basierend auf den Aussagen bezüglich dem Alter der Bäume, wurde in Kočani Bestand für Bestand ausgewählt. Es empfiehlt sich jedoch, direkt vor Ort ein Baum zu fällen und das Alter über das Auszählen der Jahrringe zu bestimmen. Die Durchmesser entpuppten sich als schlechter Schätzwert zur Bestimmung des Alters und so musste des Öfteren eine neue Auswahl getroffen werden. In Males wurde diese Änderung bereits umgesetzt und das Alter wurde jeweils vor Ort bestimmt. Die zeitgleich durchgeführte Inventur von Schwab (2015) war bestimmend für die Lokalität der Bäume, die zur Biomasseerhebung ausgewählt worden sind. Es wurde versucht bestandesrepräsentative Bäume auszuwählen. Da jedoch schon seit Jahren die Umwandlung in Hochwald angestrebt wird, hatte es in den Flächen immer wieder Bäume, die deutlich mächtiger waren als der Durchschnitt und so den durchschnittlichen BHD nach oben drückten. Beim Auswerten der Daten fiel auf, dass der durchschnittliche BHD der gefälltten Bäume eher zu tief war. Um repräsentativere Resultate zu generieren, könnte vorgängig stichprobenartig der durchschnittliche BHD bestimmt werden. Grössere Bäume hätten in unserem Fall und mit den vorhandenen Mitteln sowieso nicht gefällt und vermessen werden können.

Auch zum Wägen der Proben sollte eine präzisere Waage verwendet werden. Denn bei den Proben unter 100 g war die Genauigkeit von 1 % nicht mehr gewährleistet. Für die Arbeiten im Feld konnte jedoch keine genauere Waage organisiert werden. Das Trocknen der Laubproben im Wäschesack bewährte sich als gute Methode.

Die Feldarbeit war ein stetiger Lernprozess, da mit den Anwendungen immer wieder Kleinigkeiten angepasst und Arbeitsschritte optimiert werden konnten.

5.2 Biomasse

Die getätigten Vermessungen zur Biomasse zeigen ein grobes Bild über die Biomassegestaltung von Buchenstockausschlägen in unterschiedlichen Altersklassen. Mit den erhobenen Daten kann kein abschliessendes Urteil zur allgemeinen Biomassesituation in Buchenniederwäldern gefällt werden, da pro Altersstufe im Minimum 5 Bäume analysiert werden müssten um repräsentative Aussagen machen zu können (Picard et al. 2012). Die zum Teil gegenläufigen Resultate, dass jüngere Bäume mehr Biomasse hatten als Ältere, bekräftigen diese Forderung.

Die Dichtemessungen bewegten sich zwischen 0.53 g/cm^3 im Kompartiment D9 (Wurzeln 1.5-5 cm Durchmesser) von Males und 0.62 g/cm^3 im Kompartiment D5 (Äste 10-20 cm Durchmesser) von Kočani (Anhang 2). Im Durchschnitt entsprechen sie jedoch den üblichen Dichtewerten der Buche (Dietz 1975). Die Werte in Kočani sind aber tendenziell leicht höher als diejenige in Males. Im Hinblick auf die Gesamtbiomasse pro ha ist dies jedoch interessant, da diese in Males einiges grösser ist als in Kočani. Das könnte damit zusammenhängen, dass die Bäume in Kočani langsamer wachsen, wodurch das Holz eine höhere Dichte aufweist, die Bestände jedoch einen tieferen Vorrat haben. Die Temperaturen sind mit rund 6°C auf 1'400 m ü. M. an beiden Standorten gleich, wobei in Kočani der durchschnittliche Niederschlag mit 875 mm um 50 mm pro Jahr geringer ist als in Males. Um das beurteilen zu können, müssten detailliertere Untersuchungen vorgenommen werden.

5.2.1 Oberirdische Biomasse

Bei den Vermessungen ist aufgefallen, dass der einflussreichste Faktor auf die Menge der Biomasse die Stämme, und deren Höhen, sind. So hat der Baum mit dem Code K.3.1 wie in Tab. 7 zu sehen ist trotz des geringen durchschnittlichen Durchmessers von 7.9 cm, aufgrund der enormen Anzahl der Austriebe, mit Abstand die höchste AGB.

Wie auch in Niederwäldern mit anderen Baumarten, ist das Stammholz kompartimentsmässig dasjenige, welches am meisten zur Biomasse beiträgt (Hochbichler 2008; Pyttel et al. 2012). Pro Bestand wurden jeweils 2 Bäume untersucht, mit dem Ziel, diese miteinander vergleichen zu können. Wird das Alter der Bäume im gleichen Bestand betrachtet, fällt auf, dass von den 6 untersuchten Beständen lediglich die Bäume im Bestand K.2 und M.1 dasselbe Alter aufweisen. Das ist jedoch nicht weiter tragisch, da für die Auswertung der Resultate nicht das Alter sondern der BHD massgebend war. Es repräsentiert aber auch die Situation des Niederwaldes in Mazedonien. Die Niederwälder werden nicht mehr traditionell im Kahlschlagsystem bewirtschaftet, sondern es werden immer mal wieder Eingriffe getätigt und einzelne Individuen entfernt. Wie unterschiedlich die AGB im selben Alter sein kann, ist im Bestand M.1 gut zu erkennen. Beide Bäume hatten je 2 Ausschläge und waren beinahe gleich gross, trotzdem hat M.1.2 mit der geringeren Höhe fast die doppelte AGB. Der grössere Durchmesser könnte auf die Stärke in der intraspezifischen Konkurrenz aber auch auf natürliche Gründe, wie geringere Beschattung oder ähnliches, zurückzuführen sein (Otto 1994). Interessant wäre auch gewesen noch jüngere Bäume zu analysieren, um vergleichen zu können wie sich der Zuwachs, im Vergleich zum Hochwald, verhält. Denn da könnte, aufgrund der bereits vorhandenen Wurzelmasse, der Niederwald dem Hochwald doch um einiges überlegen sein. Aus den bereits genannten Gründen sind solche jungen Buchenniederwälder in Mazedonien jedoch kaum mehr zu finden. Beim Anwenden der verschiedenen Biomassefunktionen zur Bestimmung von oberirdischer Biomasse, war es doch interessant, dass unter all den geprüften Funktionen, diejenige von *Chave* am besten auf die Daten passt. Vor allem in Anbetracht dessen, dass einige Funktionen speziell auf Buchen kalibriert sind, erstaunt dies. Denn wie in der Abb. 29 zu erkennen ist, stammen sämtliche Eingangsdaten auf denen die Funktion basiert aus den Tropen. Trotzdem scheint sich die Biomasse der Bäume in den Tropen unter den gleichen Faktoren zu verändern, respektive nach dem gleichen Prinzip zu verhalten, wie in der temperierten Zone. Um diese Erkenntnis zu bestätigen, sollte diese Funktion auch auf andere getätigte Biomasseerhebungen angewendet und deren Ergebnisse verglichen werden.

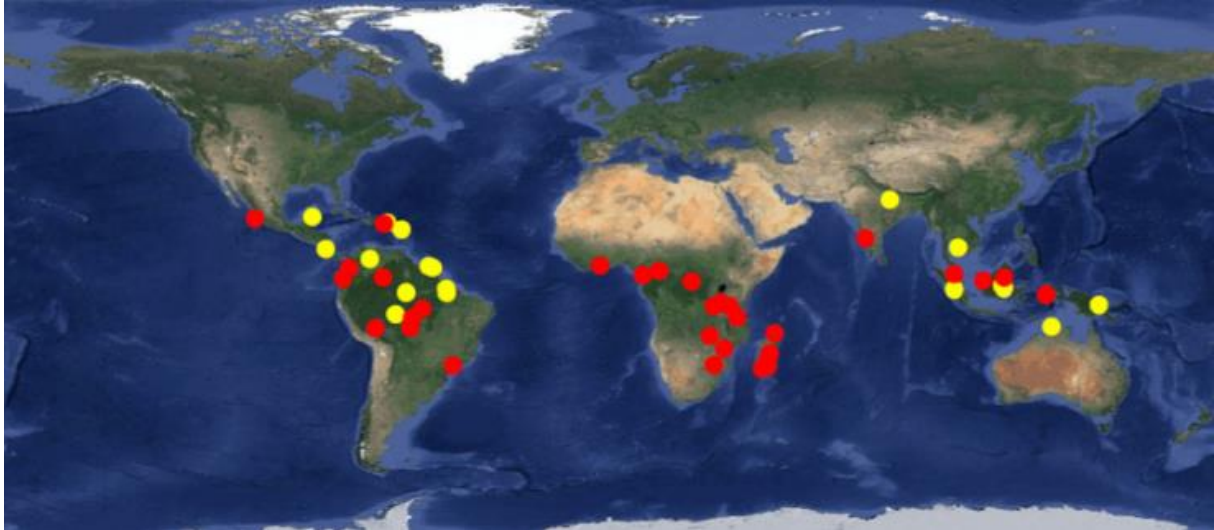


Abb. 29: Geographische Verteilung der Untersuchungsgebiete dessen Daten in der Funktion von Chave berücksichtigt worden sind. Die Daten der 20 gelben Punkte wurden bereits in einer Funktion von Chave 2005 verwendet und zusammen mit den 38 roten wurde die die Funktion kalibriert, die auch in dieser Thesis empfohlen wird (Quelle: Chave et al. 2014)

Die Funktion von *Hochbichler* wurde aus Daten von Buchenhochwäldern in Österreich generiert und beschreibt die in dieser Thesis generierten Daten ebenfalls recht gut. Das ist interessant, da Hochbichler (2002) auch eine Funktion für das Ermitteln der AGB von Eichen, aus Biomasseuntersuchungen in Eichenmittelwäldern, kalibriert hat. Diese wurde von Pyttel et al. (2012) zur Überprüfung deren Daten aus Eichenniederwäldern angewandt und hatte die effektive AGB um 90 t/ha überschätzt. Werden die in Tab. 10 dargestellten Kohlenstoffwerte durch den Faktor 0.48 geteilt, erhält man die Biomassevorräte. Vergleicht man das Ergebnis der AGB Schätzung aus dieser Thesis mit den Biomassevorräten die in Tab. 11 dargestellt sind, beträgt die Diskrepanz zwischen Buchennieder- und Buchenhochwald 176.9 t/ha in Mavrovo und 246.3 t/ha in Serbien. Das ist immerhin ein Unterschied von 60 % bzw. 70 % pro ha.

Dies unterstützt die Tatsache, dass Niederwälder doch einen um einiges tieferen Vorrat aufweisen als Hochwälder, welcher jedoch durch die intensiveren Nutzungszyklen kompensiert werden kann (Becker 2013). Kumuliert man die Biomasse aus 3 Rotationen ergibt das eine AGB von 274.3 t/ha über einen Zeitraum von 150 Jahren.

5.2.2 Unterirdische Biomasse

Dass sich das Verhältnis zwischen unter- und oberirdischer Biomasse, wie in West (2015) beschrieben, von einem höheren Wurzelanteil in jungen, kleinen - zu einem geringeren Wurzelanteil in älteren, grösseren Bäumen - verhält, kann mit den Ergebnissen der Feldarbeit teilweise bestätigt werden. So beträgt der durchschnittliche Wurzelanteil, an der gesamten Biomasse, bei den Bäumen in Kočani 27.9 % und in Males nur 17.9 % (Tab. 7). In Abb. 26 ist gut ersichtlich, dass der C-Vorrat in Males deutlich höher ist als derjenige in Kočani. Da es sich bei der Biomasseumrechnung in Kohlenstoff nur um den Faktor 0.48 handelt, gilt diese



Abb. 30: Wurzel- und Bodenprofil eines Buchenstockausschlages auf einem sehr flachgründigen Ranker in Males

Grafik auch für die Biomasse. Dieses Bild (Abb.30) wurde im Bestand M.3 aufgenommen und zeigt wie flachgründig die Böden zum Teil sind. Das wird vermutlich der Hauptgrund für die geringere BGB sein, denn solch flachgründiger Oberboden wirkt limitierend auf das Wurzelwachstum (Köstler et al. 1968; Kutschera und Lichtenegger 2013). Das konnte beim Kompartimentieren der Wurzeln gut beobachtet werden, denn die Wurzeln waren zum Teil stark verkümmert und die Steine waren oft richtig eingewachsen und konnten nur mühsam getrennt werden. Wurzelbilder, wie dasjenige in Abb. 9 des schematisch dargestellten Buchenstockausschlages, konnten in diesem Ausmass nicht vorgefunden werden. Ein Grund dafür könnte sein, dass die Bestände zum Teil sehr dicht waren und dadurch die Wurzelkonkurrenz sehr ausgeprägt ist. Da die Wurzeln teilweise miteinander verwachsen waren, war es schwierig zu erkennen, ob die Wurzeln zum untersuchenden Baum gehörten oder zum Nebestehenden.

Es muss erwähnt werden, dass die Wurzelausgrabungen, aufgrund der angewandten Methode, nicht extrem genau waren. Die gewogene Masse könnte daher leichte Abweichungen zur effektiven Wurzelmasse haben. Denn bekanntlich verfügt die Buche über eines der intensivsten Feinwurzelerke der europäischen Waldbäume (Köstler et al. 1968).

Der *rsf* von *Mokany* und der *rsf* des Regressionsmodells weisen mit 27,29 % bzw. 25.3 % nur kleine Unterschiede auf. Aufgrund der geringen Unterschiede macht es durchaus mehr Sinn, ein allgemein ausgelegtes Modell anzuwenden, als eines das aus 10 Daten kalibriert wurde. Es muss jedoch mit berücksichtigt werden, dass die jüngsten untersuchten Stockausschläge bereits ein Alter von 25 Jahren aufwiesen. Der *rsf* bei einem 5 jährigen Stockausschlag wäre vermutlich in der Grössenordnung von 0.7 gelegen. Das prozentuale Verhältnis der einzelnen Kompartimente verhält sich ähnlich wie bei den Untersuchungen im Mavrovo Nationalpark. Dort bestand die Wurzelmasse zu knapp 60 % aus Wurzeln > 5 cm, zu 35% aus dem Wurzelstock und zu 5 % aus Wurzeln < 5 cm (Hristovski et al. 2012).

Aus den Untersuchungen dieser Thesis geht hervor, dass das Verhältnis zwischen unter- und oberirdischer Biomasse von Buchenstockausschlägen im Vergleich zu demjenigen von Hochwaldbuchen – das bei ausgewachsenen Bäumen zwischen 14-21 % liegt – tendenziell höher ist (Möller et al. 1954 in Nikolova 2007; Melovski et al. 2003; Koprivica et al. 2010; Hristovski et al. 2012). Die unterirdische Buchenbiomasse bewegt sich im Schnitt zwischen 15 t/ha und 74 t/ha (Le Goff und Ottorini 2001; Hristovski et al. 2012). Somit liegt die durchschnittliche BGB, die aus der Inventur von Schwab (2015) mit der Funktion von *Mokany* berechnet wurde, mit knapp 50 t/ha im oberen europäischen Bereich.

5.3 Kohlenstoff

Die in Abb. 28 simulierte Umtriebszeit von 80 Jahren repräsentiert das Waldbild wie es vor allem in Males angetroffen wurde. Die Stockausschläge der Buchen im 75 jährigen Bestand, hatten zum Teil einen BHD von über 60 cm. Diese sind erntereif, da gerade Stockausschläge mit zunehmendem Alter zu Faulstellen neigen. Mit dem stetig zunehmenden BHD drücken sich die Ausschläge voneinander Weg und wachsen Schräg. Die dadurch erzeugten inneren Spannungen wirken sich negativ auf die Holzqualität aus (Bleile 2006). Die Umtriebszeit von 50 Jahren wurde dargestellt, weil das mazedonische Forstgesetz dies für die Länge einer Rotation in Niederwäldern vorschreibt. Da jedoch die Niederwaldbewirtschaftung, von der Bewirtschaftung durch das Hochwaldprinzip, abgelöst werden soll, findet man viele Niederwälder die ein höheres Bestandesalter aufweisen. Die 30 Jahre wurden aufgrund des maximalen jährlichen Kohlenstoffzuwachses gewählt.

Es ist jedoch klar ersichtlich, dass eine solch kurze Umtriebszeit hinsichtlich der Kohlenstoffbindung keinen Sinn macht, da der Zuwachs des Kohlenstoffvorrates ab 30 Jahren immer noch enorm hoch ist und in den ersten 10 Jahren nach der Ernte aufgrund der geringen Biomasse jeweils nur sehr wenig C gebunden wird. Ob 50 oder 80 Jahre Umtriebszeit ergibt auf 150 Jahre einen Unterschied von 29 tC/ha. Dafür kann das Holz öfters, und mit den zur Verfügung stehenden Mitteln, einfacher genutzt werden. Der Druck auf die Wälder in den ländlichen Gebieten Mazedoniens ist hoch und der Bedarf an Brennholz gross. Das hat zur

Folge, dass immer wieder illegal Holz zur Eigennutzung aus dem Wald geholt wird (Kola und Kampen 2014). Aus diesem Grund müssen alle Beteiligten berücksichtigt und eingebunden werden um eine allgemein zufriedenstellende Lösung erreichen zu können. Hinzu kommt, dass mit einer kürzeren Umtriebszeit auch zur ökologischen Variabilität beigetragen werden kann (Suchomel und Konold 2008).

5.4 Niederwald in Mazedonien

Die Bestrebungen seitens der Regierung die traditionellen Niederwaldbestände in Hochwälder umzuwandeln, hat nicht nur positive Aspekte. Ein solcher Umbau ist mit hohem Aufwand und meist mit enormen Kosten verbunden (Becker 1997). Die Nachfrage nach Brennholz wird sich in absehbarer Zeit nicht vermindern. Dadurch besteht die Gefahr, dass im Falle eines solchen Umbaus, dass dadurch entstehende, höherwertige Holz, am Ende trotzdem nur als Brennholz verwendet wird (Splechtna und Glatzel 2005).

Aus diesem Grund macht es durchaus Sinn, Argumente für ein Fortbestehen dieser traditionellen Bewirtschaftungsform zu sammeln. In Males sind die Wälder weniger gut erschlossen als noch in Kočani. So hatte man aufgrund des sehr unwegsamen Geländes Teils bis zu 2h, um mit dem Geländefahrzeug von Berovo in die Untersuchungsgebiete zu gelangen. Das könnte ein weiterer Grund für die höheren Vorräte in dieser Region sein. Ein nationales Konzept zur Bewirtschaftung der Waldflächen in Mazedonien könnte den Druck auf die Wälder verringern. Zur Bereitstellung von Brennholz könnten speziell ausgewiesene Flächen im Niederwald betrieben werden. Dadurch könnte man zur Umwandlung in Hochwald, den Fokus gezielt auf geeignete Waldflächen legen. Somit könnte relativ einfach eine Qualitäts- und Vorratssteigerung erreicht werden.

Trotz der vielen ärmlichen Gebiete in Mazedonien, gibt es lokale Wochenendtouristen die in der Natur Erholung suchen. So wurde selber beobachtet und erlebt, dass Leute aus Skopje zur Erholung in die Gebirgsregionen Mazedoniens reisen. Bestätigt sich dieser Trend längerfristig, hätte ein Projekt des Staatswaldes im Bereich Tourismus und Niederwald durchaus Potenzial. Etwas in dieser Art wird auf privater Basis bereits in Berovo als „Bela Voda“ angeboten.

6 Schlussfolgerungen

Die traditionelle Niederwaldbewirtschaftung ist in Mazedonien laut Forstgesetz nicht mehr erlaubt und wird nur ausnahmsweise und kleinflächig betrieben (Andonovski et al. 2014). Die Bestrebungen den Buchenniederwald in Hochwald zu überführen laufen seit Jahrzehnten. Aufgrund der hohen Brennholznachfrage durch die Bevölkerung und ebenfalls wegen der mangelnden Infrastruktur der Forstbetriebe, gestaltet sich dieses Unterfangen schwieriger als gedacht (Stajic et al. 2009; Kola und Kampen 2014).

Aus diesem Grund war es eine Herausforderung geeignete Flächen zu finden. Diese mussten einerseits genügend gross für Inventuren sein, andererseits mussten sie auch eine möglichst homogene Altersstruktur aufweisen, um die untersuchten Bäume miteinander vergleichen zu können.

Die Feldarbeiten wurden mit den zur Verfügung stehenden Mitteln so gut wie möglich durchgeführt, sind im wissenschaftlichen Vergleich jedoch eher ungenau. Trotzdem reicht die Qualität der erzeugten Daten um Folgerungen aus den erzielten Resultaten ziehen zu können. Das Verhältnis zwischen unterirdischer- und oberirdischer Biomasse in Buchenstockausschlägen ist mit 25-27 % tendenziell eher grösser als bei Hochwaldbuchen. Um diese Erkenntnis bestätigen zu können, müssten aber weitere Untersuchungen, vor allem auch in jüngeren Beständen, vorgenommen werden. Das Kohlenstoffpotenzial der Buchenniederwälder beträgt rund $\frac{1}{3}$ desjenigen in Buchenhochwäldern. Das entspricht dem Vorratsverhältnis zwischen Buchennieder- und Buchenhochwäldern. Durch den in den Niederwäldern höhere Anteil an Wurzelmasse und durch die Tatsache, dass aufgrund der kürzeren Umtriebszeiten trotzdem ähnlich viel Kohlenstoff gespeichert wird, sind die beiden Betriebsarten miteinander vergleichbar.

Es wurde darauf verzichtet eine verbindliche Zahl zum Kohlenstoffvorrat von Buchenniederwäldern in Ost-Mazedonien zu präsentieren. Die Ergebnisse von Feldarbeiten lassen sich aufgrund ihrer zeitlichen und räumlichen Begrenztheit meist nur schwer verallgemeinern (Diamond 1983). Die Instrumente und Formeln für Hochrechnungen sind zwar vorhanden, jedoch fehlen Inventurdaten über die Flächenausdehnung der Buchenniederwälder gänzlich.

Abschliessend ist zu erwähnen, dass durch die Arbeit auf dem Feld einiges über das Land, die Denkweise und die Bedürfnisse der Bevölkerung erfahren werden konnte. Die Niederwaldbewirtschaftung in Mazedonien hat auch heutzutage, trotz des tieferen Vorrates und der schlechteren Qualität, aus sozialen und ökologischen Gründen durchaus seine Berechtigung und sollte zumindest kleinflächig erhalten bleiben.

7 Dank

Für die Ermöglichung und Betreuung dieser Arbeit und für den Besuch auf dem Feld möchte ich mich herzlich bei Dr. Prof. Jürgen Blaser bedanken. Ohne die organisatorische Unterstützung und dem Übersetzen der kyrillischen Schrift durch Jelena Markovic wäre ich erst gar nicht nach Mazedonien gekommen. Der Empfang und die Organisation durch Cvetan Nikolovski beim Ankommen in Skopje wurden sehr geschätzt. Die stetige Betreuung auf dem Feld durch den Waldbauspezialisten Dr. Prof. Nikolco Velkovski und seine fortwährenden Bemühungen uns den Aufenthalt in Mazedonien so abwechslungsreich wie möglich zu gestalten verdienen ein grosses Dankeschön. Die Zusammenarbeit mit Patrick Schwab und den mazedonischen Studenten Daniel Gjenchevski, Marija Sterjovska und Boris Najdovski verlief extrem gut und ihre Bekanntschaft zähle ich als wertvolle Bereicherung. Die Beherbergung und Verköstigung durch „Igor“, die unzähligen Fahrten im Gelände durch „Goce“ sowie alle beteiligten Professoren und Waldarbeiter ermöglichten und erleichterten die Feldarbeit sehr.

Oliver Gardi war für mich der wichtigste Ansprechpartner in der Datenauswertung und ohne seine geduldige und stets Ideenreiche Unterstützung wären die Resultate nicht zustande gekommen; ihm gilt ein sehr grosses Dankeschön.

Für die finanzielle Unterstützung möchte ich mich bei Helvetas und Farmahem bedanken.

Ich danke Nicola Schutz für das kurzfristige aber sorgfältige gegenlesen meiner Arbeit und Tania Winzenried für die Hilfe beim Übersetzen ins Englische. Der letzte Dank für alles geht an meine Eltern Ernst und Susanne Aeschlimann.

Literaturverzeichnis

- Andonovski V, Acevski J, Vasilevski K, Velkovski N, Minčev I, Simovski B, Trendafilov B, Najdovski B, Mandžukovski D, 2014. Summary of the specific forest management plans for two municipalities of Berovo and Pehcevo.
- Bachmann P, 2009. Waldwachstum: Skript für die Vorlesung, Stand November 2009 - Modul Waldmess- und Ertragskunde, Modellierung des Waldwachstums. überarbeitet und ergänzt von Andreas Zingg. unveröffentlicht. Hochschule für Agrar- Forst- und Lebensmittelwissenschaften, Zollikofen, 100 S.
- Becker A, 1997. Waldbauliche Rahmenbedingungen für ein Gesamtkonzept zum Niederwald-Umbau.
- Becker G, 2013. Schutz durch Nutzung. Ein Raum-Zeit-Konzept für die multifunktionale Entwicklung der Stockausschlagwälder in Rheinland-Pfalz. Verlag der Professur für Landespflege der Universität Freiburg, Freiburg.
- Bleile K, 2006. Vorkommen und Analyse von Zugholz bei Buche als Ursache von Spannungen im Rundholz und Verwerfung des Schnittholzes. PHD.
- Blinkov I, Trendafilov A, Kjaevski I, 2003. The Role of the Forest in decreasing the Water and Sediment discharge.
- Bolkenius D, 2001. Zur Wurzel Ausbildung von Fichte und Weißtanne in gleichaltrigen und ungleichaltrigen Beständen, abgerufen am 29.05.2015, http://www.fva-bw.de/publikationen/fff_bericht/fff_h_35.pdf
- Bolte A, Hertel D, Ammer C, Schmid J, Nörr R, Kuhr M, Redde N, 2003. Freilandmethoden zur Untersuchung von Baumwurzeln, abgerufen am 29.05.2015, http://www.researchgate.net/profile/Andreas_Bolte/publication/232259038_Freilandmethoden_zur_Untersuchung_von_Baumwurzeln_%28Field_methods_for_studying_tree_roots%29/links/0fcfd50e44451d9c3e000000.pdf
- Chave J, Réjou-Méchain M, Búrquez A, Chidumayo E, Colgan MS, Delitti WB, Duque A, Eid T, Fearnside PM, Goodman RC, Henry M, Martínez-Yrizar A, Mugasha WA, Muller-Landau HC, Mencuccini M, Nelson BW, Ngomanda A, Nogueira EM, Ortiz-Malavassi E, Péliissier R, Ploton P, Ryan CM, Saldarriaga JG, Vieilledent G, 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20 (10), 3177–3190.
- Conrady D, Herhaus F, Wasner U, 2007. Niederwald und Naturschutz in NRW. Eine Einführung, abgerufen am 23.05.2015, http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/fachberichte/fabe1/01_Einfuehrung.pdf
- Czajkowski T, 2006. Zur zukünftigen Rolle der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in der natürlichen Vegetation. Waldökologische Untersuchungen zur Buchen-Naturverjüngung an der östlichen Buchenwald-Verbreitungsgrenze.
- Czajkowski T, Bolte A, 2006. Unterschiedliche Reaktion deutscher und polnischer Herkünfte der Buche (*Fagus sylvatica* L.) auf Trockenheit. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, 177, 30–40.
- Czeczott H, 1933. A study on the variability of the leaves of beeches: *F. orientalis* Lipsky, *F. sylvatica* L. and intermediate forms. Part 1. *Rocznik Dendrologiczny* 5, 45–121.

- Dedov IK, Mitev T, 2011. Mollusks Fauna of Mountain Osogovo. *Acta Zoologica Bulgaria*, 63 (1), 37–46.
- Denk T, 1999a. The taxonomy of *Fagus* in western Eurasia, 1. *Fagus sylvatica* subsp. *orientalis*. *Feddes Repertorium*, 110 (3-4), 177–200.
- Denk T, 1999b. The taxonomy of *Fagus* in western Eurasia, 2. *Fagus sylvatica* subsp. *sylvatica*. *Feddes Repertorium*, 110 (5-6), 381–412.
- Diamond JM, 1983. Ecology. Laboratory, field and natural experiments. *Nature*, 304 (5927), 586–587.
- Dietz P, 1975. Dichte und Rindengehalt von Industrieholz. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 33 (4), 135–141.
- ETHZ (Eidgenössische Technische Hochschule Zürich), 2002. Mitteleuropäische Waldbaumarten. Artbeschreibung und Ökologie unter besonderer Berücksichtigung der Schweiz, abgerufen am 27.05.2015, http://www.wm.ethz.ch/docs/document/Baumarten_dt
- (FAO) (Hrsg.), 2010. Global Forest Resources Assessment 2010. Main report. Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO, Communication Division, Rome, 340 S.
- Federici S, 2011. General methods for estimating stock changes in carbon pools. Coalition for Rainforest Nations, abgerufen am 23.05.2015, http://www.rainforestcoalition.org/TinyMceFiles/CD%20REDD%20II,%20May%202011/8%20General%20methods%20for%20estimating%20stock%20changes%20in%20carbon%20pools_Federici.pdf
- Felbermeier B, Mosandl R, 2014. *Fagus sylvatica*. Enzyklopädie der Holzgewächse: Handbuch und Atlas der Dendrologie. 1-20.
- Filipovski G, Rizovski R, Ristevski P, 1996. The Characteristics of the climate-vegetation-soil zones (regions) in the Republic of Macedonia, MASA. Skopje.
- Fischlin A, Buchter B, Matile L, Hofer P, Taverna R, 2006. CO₂-Senken und -Quellen in der Waldwirtschaft - Anrechnung im Rahmen des Kyoto-Protokolls. Umwelt-Wissen Nr. 0602. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Forestry (Republic of Macedonia State Statistical Office), 2011. Skopje: State statistical office of the Republic of Macedonia, 2010. Statistical review: Agriculture.
- Forestry (Republic of Macedonia State Statistical Office), 2014. Skopje: State statistical office of the Republic of Macedonia, 2015. Statistical review: Agriculture.
- FRA (Global Forest Resources Assessment), 2010. Country Reports. The Former Yugoslav Republic of Macedonia.
- Gerritzen T, 2013. Comparison of Carbon Calculation Methods. Master's thesis. Institute of Silviculture, Department of Forest- and Soil Sciences, University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU) Vienna, Austria.
- Gomory D, Paule L, Brus R, Zhelev P, Tomovic Z, Gracan J, 1999. Genetic differentiation and phylogeny of beech on the Balkan peninsula. *Journal of Evolutionary Biology*, 12 (4), 746–754.

- Göttsche D, 1972. Verteilung von Feinwurzeln und Mykorrhizen im Bodenprofil eines Buchen- und Fichtenbestandes im Solling. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg, 88, 68.
- GRM (Government of Republic of Macedonia), 2014. Ministries of the Government of the Republic of Macedonia, abgerufen am 29.11.2015, <http://vlada.mk/?q=node/9138&language=en-gb>
- Hochbichler E, 2002. Vorläufige Ergebnisse von Biomasseinventuren in Buchen- und Mittelwaldbeständen. In: Dietrich, H.P., Raspe, S., Preuhsler, T. (Hrsg.): Inventur von Biomasse- und Nährstoffvorräten in Waldbeständen. Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München, Weihenstephan.
- Hochbichler E, 2008. Fallstudien zur Struktur, Produktion und Bewirtschaftung von Mittelwäldern im Osten Österreichs (Weinviertel). Österr. Ges. für Waldökosystemforschung und Experimentelle Baumborschung, Wien, 246 S.
- Hotovy R, 1948. *Fagus sylvatica* L. Rotbuche. Pharmazie 3, 513–523.
- Hristovski S, Melovski L, Shushlevska M, Grupche L, 2012. Belowground biomass and its annual increment in a montane beech forest in Mavrovo National Park, north-west Macedonia. Journal of Forest Science.
- (IPCC), 2006. 2006 Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Inventories Programme, Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). IGES, Japan.
- (IPCC), 2014. 2014 Intergovernmental Panel on Climate Change Synthesis Report on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 S.
- Joosten R, Schumacher J, Wirth C, Schulte A, 2004. Evaluating tree carbon predictions for beech (*Fagus sylvatica* L.) in western Germany. Forest Ecology and Management, 189 (1-3), 87–96.
- Kajimoto T, Matsuura Y, Osawa A, Abaimov AP, Zyryanova OA, Isaev AP, Yefremov DP, Mori S, Koike T, 2006. Size–mass allometry and biomass allocation of two larch species growing on the continuous permafrost region in Siberia. Forest Ecology and Management, 222 (1-3), 314–325.
- Kola H, Kampen P, 2014. Sustainable coppice forest management in the Balkan. Connecting Natural Values & People, abgerufen am 18.05.2015, <https://www.eurocoppice.uni-freiburg.de/intern/pdf/iufro/peter-kampen.pdf>
- Koprivica M, Matovic B, Jovic D, 2010. Estimation of Biomass in Submontane Beech High Forest in Serbia. Acta Silvatica & Lignaria Hungarica, 161–170.
- Köstler JN, Brückner E, Bibelriether H, 1968. Die Wurzeln der Waldbäume. Parey.
- Kutschera L, Lichtenegger E, 2013. Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher. Leopold Stocker Verlag, Graz, 604 S.

- Lamlom SH, Savidge RA, 2003. A reassessment of carbon content in wood. Variation within and between 41 North American species. *Biomass and Bioenergy*, 25 (4), 381–388.
- Lazarova M, Marinova E, Tonkov S, Snowball I, 2015. A 5000-year pollen and plant macrofossil record from the Osogovo Mountain, Southwestern Bulgaria. *Vegetation history and human impact. Review of Palaeobotany and Palynology*, 223, 1–9.
- Le Goff N, Ottorini J, 2001. Root biomass and biomass increment in a beech (*Fagus sylvatica* L.) stand in North-East France. *Annals of Forest Science*, 58 (1), 1–13.
- Leuschner C, Backes K, Hertel D, Schipka F, Schmitt U, Terborg O, Runge M, 2001. Drought responses at leaf, stem and fine root levels of competitive *Fagus sylvatica* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. trees in dry and wet years. *Forest Ecology and Management*, 149 (1-3), 33–46.
- Leuschner C, Hertel D, Schmid I, Koch O, Muhs A, Hölscher D, 2004. Stand fine root biomass and fine root morphology in old-growth beech forests as a function of precipitation and soil fertility. *Plant and Soil*, 258, 43–56.
- LUNG (Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie), 2010. Naturschutzrechtliche Eingriffsregelung, Kompensationsverzeichnis, Ökokonten, abgerufen am 02.12.2015, http://www.lung.mv-regierung.de/insite/cms/umwelt/natur/ingriffsregelung_portal.htm
- MAFWE (Ministry of Agriculture, Forestry and Water Economy), 2014. National Action Plan to Combat Land Degradation and Desertification and Mitigate the Effects of Drought in the Republic of Macedonia. (first Draft), abgerufen am 29.11.2015, http://www.balkansfoundation.org/docs/NAP%20Macedonia-first%20draft_09-07-2014.pdf
- Marinšek A, Šilc U, Čarni A, Schaminée J, 2013. Geographical and ecological differentiation of *Fagus* forest vegetation in SE Europe. *Applied Vegetation Science*, 16 (1), 131–147.
- Melovski L, Grupche L, Hristovski S, Shushlevska M, 2003. Aboveground Phytomass and primary Production in the Tree Layer of the Beech Ecosystem in Mavrovo National Park, Macedonia, 6 S.
- Mišić V, 1957. Varijabilitet i ekologija bukve u Jugoslaviji. *Biol. Inst. N. R. Srbije, Beograd*.
- Mokany K, (Raison J.R.), Prokushkin A, 2006. Critical analysis of root : shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology*, 12 (1), 84–96.
- Möller CM, Müller D, Nielsen J, 1954. Respiration in stem and branches of beech. *Det Forstlige Forsoegsvaesen. Danmark* 21, 273–301.
- Müller MCM, Hirschmann M (Hrsg.), 2012. *Wald - mehr als Holz. Nutzungsoptionen und Gestaltung unserer Wälder*. Evang. Akad. Loccum, Rehburg-Loccum, 208 S.
- Nestrovski L, Trajkov P, Hinkov G, Dekanic S, Vuckovic M, 2009. Contribution towards Energetic Potential and Possibilities for Forestry Biomass Energy Utilization from Coppice Forests in some Countries of South - Eastern Europe. *Silva Balcanica*.
- Neubauer M, Burkhard D, Bolte A, 2015. Einzelbaumbezogene Schätzfunktionen zur unterirdischen Biomasse der Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris* L.). *Forstarchiv* 86, 42–47.

- Nikolov N, 2004. Country report of the Republic of Macedonia. Illegal logging and trade of illegally - derived forest products in the UNECE region: causes and extent. UNECE, abgerufen am 27.05.2015, http://www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/docs/sem/2004-1/fyr_macedonia.pdf
- Nikolova PS, 2007. Below-ground competitiveness of adult beech and spruce trees. Resource investment versus returns. PhD thesis. Ecophysiology of Plants, 157.
- Otto H, 1994. Waldökologie. Ulmer, Stuttgart.
- Picard N, Saint-André L, Henry M, 2012. Manual for building tree volume and biomass allometric equations. From field measurement to prediction. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 63 S.
- Pyttel P, Suchomel C, Becker G, Bauhus J, 2012. Biomasse in durchgewachsenen Niederwäldern. AFZ-Der Wald.
- Schwab P, 2015. Waldbauliche Analyse von Buchenniederwäldern in Mazedonien. Inventur unterschiedlicher Altersstufen von Buchenniederwäldern in den Regionen Kočani und Males. Bachelor-Thesis. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, Zollikofen.
- Skenderski D, 2011. National Association of Private Forest Owners in R. Macedonia. NAPFO, abgerufen am 27.05.2015, http://refordcentre.org/documents/NAPFOMk_biography.pdf
- Splechtna B, Glatzel G, 2005. Optionen der Bereitstellung von Biomasse aus Wäldern und Energieholzplantagen für die energetische Nutzung. Szenarien, ökologische Auswirkungen, Forschungsbedarf.
- Stajic B, Zlatanov T, Velichkov I, Dubrava T, Trajkov P, 2009. Past and recent coppice forest management in some regions of south eastern Europe. Silva Balcanica.
- Stănescu V, 1979. Dendrologie. Universitatea din Brasov. Brasov.
- Suchomel C, Konold W, 2008. Niederwald als Energiequelle. Chancen und Grenzen aus Sicht des Naturschutzes.
- Tegel W, Seim A, Hakelberg D, Hoffmann S, Panev M, Westphal T, Büntgen U, 2014. A recent growth increase of European beech (*Fagus sylvatica* L.) at its Mediterranean distribution limit contradicts drought stress. European Journal of Forest Research, 133 (1), 61–71.
- Trendafilov A, Atanasovska JR, Simovski B, 2008. Analyses of private forestry in Macedonia and its role in the National Forest Strategy process. Program on Forests.
- Trendafilov B, Minčev I, Simovski B, Velkovski N, 2007. Suitability for Tree species Afforestation using GIS aided Landscape model in the Republic of Macedonia. University Ss.Cyril and Methodius in Skopje, Faculty of Forestry in Skopje.
- Vallet P, Dhôte J, Le Moguédec G, Ravart M, Pignard G, 2006. Development of total aboveground volume equations for seven important forest tree species in France. Forest Ecology and Management, 229 (1-3), 98–110.
- Vanninen P, Mäkelä A, 1999. Fine root biomass of Scots pine stands differing in age and soil fertility in southern Finland. Tree Physiology 19, 823–830, abgerufen am 09.06.2015.

- von Wühlisch G, 2008. EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for European beech (*Fagus sylvatica*). Bioversity International. Rome, Italy, 6.
- West PW, 2015. Tree and forest measurement (3rd ed.). Springer, Cham, 214 S.
- Zianis D, Mencuccini M, 2001. Allometric equations for Beech trees (*Fagus moesiaca* Cz.) and phytomass estimation along an elevation gradient in Vermio Mountain, northern Greece. Proceedings of the International Conference - Forest Research: A challenge for integrated European approach, Thessaloniki, Greece.
- Zianis D, Mencuccini M, 2003. Aboveground biomass relationships for beech (*Fagus moesiaca* Cz.) trees in Vermio Mountain, Northern Greece, and generalised equations for *Fagus* sp. *Annals of Forest Science*, 60 (5), 439–448.
- Zianis D, Mencuccini M, 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management*, 2-3, 311–332.
- Zianis D, Muukkonen P, Mäkipää R, Mencuccini M, 2005. Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. Finnish Society of Forest Science, Helsinki, Finland.

Anhang

Anhang 1

Location	Stand	Tree	Coordinate	Hight	BHD	GHD	H.B.G	Age	G _{BHD}	G _{GHD}
Kočani	1	1	41.98990°	14 m	11	20	1233	~ 35	95,03317777	314,1592654
			022.34818°		4				12,56637061	0
					14	38			153,93804	1134,114948
					5	18			19,63495408	254,4690049
					5				19,63495408	0
									300,8074966	1702,743218

	Compartm. 1	Compartm. 2	Compartm. 3	Compartm. 4	Compartm. 5	Compartm. 6	Compartm. 7	Compartm. 8	Compartm. 9	Compartm. 10
	Leaves <1cm	Br. 1 - 4 cm	Br. 4 - 7 cm	Br. 7 - 10 cm	Br. 10 - 20 cm	Br. > 20 cm	Trunk	Rts. <1.5 cm	Rts. 1.5 - 5 cm	Rts. > 5 cm
	28,38	64,605	40	25,4	159,8	0	68	12,8	29	82
										31,6
Total	28,38	64,605	40	25,4	159,8	0	68	12,8	29	113,6

AGB	386,185	BGB	155,4
-----	---------	-----	-------

fresh biomass	FG	541,585
---------------	----	---------

Samples	1	1055	1437	72	114	994	0	0	433	102	134
	2			104	243	1079				118	646
	3			143	199	795				51	282
Total		1055	1437	319	556	2868	0	0	433	271	1062

Density									45	241
---------	--	--	--	--	--	--	--	--	----	-----

Samples dry	1	566	671	45	71	642			198	50	78
	2			60	145	727				57	367
	3			80	129	512				21	160

dry biomass	15,22566825	30,1669833	23,48484848	15,81366783	104,5982842		41,20621244	5,853117783	13,38844577	65,03891171
-------------	-------------	------------	-------------	-------------	-------------	--	-------------	-------------	-------------	-------------

AGB	230,4956645	BGB	84,28047527
-----	-------------	-----	-------------

TG	314,7761398
----	-------------

rsf (%)	36,56488526
---------	-------------

Anhang 1

Location	Stand	Tree	Coordinate	Hight	BHD	GHD	H.B.G	Age	G _{BHD}	G _{GHD}
Kočani	1	2	41.98936°	11.5 m	11	23	1233	~ 45	95,03317777	415,4756284
			022.34835°		4	9			12,56637061	63,61725124
					10	20			78,53981634	314,1592654
									186,1393647	793,252145

	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4	Comp. 5	Comp. 6	Comp. 7	Comp. 8	Comp. 9	Comp. 10
	Leaves <1cm	Br. 1 - 4 cm	Br. 4 - 7 cm	Br. 7 - 10 cm	Br. 10 - 20 cm	Br. > 20 cm	Trunk	Rts. <1.5 cm	Rts. 1.5 - 5 cm	Rts. > 5 cm
	18	44	23	29	60	0	14,4	5	20	28
Total	18	44	23	29	60	0	14,4	5	20	28

AGB 188,4

BGB 53

FG 241,4

Samples	1	555	1114	66	123	240	0	0	630	82	762
	2			60	194	365				124	230
	3			50	99	320				59	101
Total		555	1114	176	416	925	0	0	630	265	1093

Samples	1	265	658	35	69	141			420	49	475
	2			34	108	219				57	141
	3			30	53	193				32	62

dry	8,594594595	25,98922801	13,01010101	15,9792917	35,8125		8,25305637	3,333333333	10,66407518	17,26913481
-----	-------------	-------------	-------------	------------	---------	--	------------	-------------	-------------	-------------

dry TOTAL AGB 107,6387717 BGB 31,26654332

dry TG 138,905315

rsf % 29,04765898

Anhang 1

Location	Stand	Tree	Coordinate	Hight	BHD	GHD	H.B.G	Age	G1	G2
Kočani	2	1	41.98958°	19 m	21	53	1226	~ 65	346,3605901	2206,183441
			022.34836°		14	31			153,93804	754,767635
									0	0
									500,2986301	2960,951076

	Stand	Tree	Coordinate	Hight	BHD	GHD	H.B.G	Age	G _{BHD}	G _{GHD}
	Leaves <1cm	Br. 1 - 4 cm	Br. 4 - 7 cm	Br. 7 - 10 cm	Br. 10 - 20 cm	Br. > 20 cm	Trunk	Rts. <1.5 cm	Rts. 1.5 - 5 cm	Rts. > 5 cm
	24	43,6	27,4	58,2	122	105,6	40,6	5	20,6	98,2
					99					
					26					
Total	24	43,6	27,4	58,2	247	105,6	40,6	5	20,6	98,2

AGB	546,4	BGB	123,8
-----	-------	-----	-------

fresh biomass

FG	670,2
----	-------

Samples

1	701	1338	339	150	232	848	0	500	67	289
2			261	155	793	1050			60	265
3			395	95	769	776			83	590

Total	701	1338	995	400	1794	2674	0	500	210	1144
-------	-----	------	-----	-----	------	------	---	-----	-----	------

Density						1,927				
---------	--	--	--	--	--	-------	--	--	--	--

Samples dry

1	402	756	176	90	154	556		323	38	163
2			143	92	466	697			33	156
3			206	56	455	466			45	335

dry biomass	13,76319544	24,63497758	14,50908317	34,59062818	151,7495936	67,58348485	23,46575542	3,23	11,3940856	56,31736272
-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	------	------------	-------------

dry TOTAL	AGB	330,2967183	BGB	70,94144832
-----------	-----	-------------	-----	-------------

dry biomass

TG	401,2381666
----	-------------

rsf %	21,47809663
-------	-------------

Anhang 1

Location	Stand	Tree	Coordinate	Hight	BHD	GHD	H.B.G	Age	G _{BHD}	G _{GHD}
Kočani	2	2	41.98934°	14.5 m	16	23	1229	~ 65	201,0619298	415,4756284
			022.34826°		16	25			201,0619298	490,8738521
									0	0
									402,1238597	906,3494806

	Compartm. 1	Compartm. 2	Compartm. 3	Compartm. 4	Compartm. 5	Compartm. 6	Compartm. 7	Compartm. 8	Compartm. 9	Compartm. 10
	Leaves <1cm	Br. 1 - 4 cm	Br. 4 - 7 cm	Br. 7 - 10 cm	Br. 10 - 20 cm	Br. > 20 cm	Trunk	Rts. <1.5 cm	Rts. 1.5 - 5 cm	Rts. > 5 cm
	30	47	46,8	28,2	141		46,8	7,8	36,6	120,6
					136					
Total	30	47	46,8	28,2	277	0	46,8	7,8	36,6	120,6

AGB	475,8	BGB	165
-----	-------	-----	-----

fresh biomass

FG 640,8

Samples	1	528	1627	52	69	537		582	447	67	337
	2			55	110	684				86	472
	3			52	197	1135				68	119
		528	1627	159	376	2356	0	582	447	221	928

Samples dry	1	309	968	32	45	335		411	294	43	219
	2			35	71	439				49	294
	3			30	130	862				37	77

dry biomass	17,55681818	27,96312231	28,52727273	18,4007532	186,986113		29,98138418	5,130201342	21,41924883	77,17563082
-------------	-------------	-------------	-------------	------------	------------	--	-------------	-------------	-------------	-------------

AGB	309,4154636	BGB	103,725081
-----	-------------	-----	------------

dry biomass

TG 413,1405446

rsf	33,52291439
-----	-------------

Anhang 1

Location
Kočani

Stand	Tree	Coordinate	Hight	BHD	GHD	H.B.G	Age	G _{BHD}	G _{GHD}
3	1	41.98615° 022.32101°	13 m	8,6	11	1114	~ 30	58,08804816	95,03317777
				7	15			38,48451001	176,7145868
				8,6	16			58,08804816	201,0619298
				7,3	13			41,85386813	132,7322896
				9,5	9			70,88218425	63,61725124
				7,1	18			39,59192142	254,4690049
				9,1	11			65,03882191	95,03317777
				9,6	14			72,38229474	153,93804
				8	6			50,26548246	28,27433388
				10,3	6			83,32289115	28,27433388
				6,6	5			34,211944	19,63495408
				8,1				51,5299735	0
				10,4				84,94866535	0
				8,7				59,44678699	0
				3				7,068583471	
				4				12,56637061	
				5				19,63495408	
				6				28,27433388	
				plus 4n <7cm				875,6796823	1248,78308

estimated broken roots from function
just estimated 70%

Compartm. 1	Compartm. 2	Compartm. 3	Compartm. 4	Compartm. 5	Compartm. 6	Compartm. 7	Compartm. 8	Compartm. 9	Compartm. 10
Leaves <1cm	Br. 1 - 4 cm	Br. 4 - 7 cm	Br. 7 - 10 cm	Br. 10 - 20 cm	Br. > 20 cm	Trunk	Rts. <1.5 cm	Rts. 1.5 - 5 cm	Rts. > 5 cm
28	119,8	64,2	81,6	36,6		20,8	1	7,2	40,6
16		68,4	111,4	48,8		72		1	2,9
19		74	22,4			1,4	0,7	5,74	30,45
Total 63	119,8	206,6	215,4	85,4	0	94,2	1,7	13,94	73,95

AGB 784,4

BGB 89,59

fresh biomass

FS 873,99

Anhang 1

Samples

1	436	1370	51	354	696		0	332	44	226
2			84	524	897				36	468
3			109	436	726				93	387

Total	436	1370	244	1314	2319	0	0	332	173	1081
-------	-----	------	-----	------	------	---	---	-----	-----	------

Density		12	28	75	280					
---------	--	----	----	----	-----	--	--	--	--	--

Samples dry

1	237	773	29	217	440			250	28	133
2			50	357	564				19	296
3			69	312	463				54	239

dry biomass	34,24541284	67,59518248	123,746036	144,3099864	54,04930407		59,06059786	1,280120482	8,107441621	45,32014083
-------------	-------------	-------------	------------	-------------	-------------	--	-------------	-------------	-------------	-------------

AGB	483,0065197
-----	-------------

BGB	54,70770294
-----	-------------

dry biomass

TG	537,7142227
----	-------------

rsf	11,32649368
-----	-------------

Anhang 1

Location	Stand	Tree	Coordinate	Hight	BHD	GHD	H.B.G	Age	G _{BHD}	G _{GHD}
Kočani	3	2	41.98598°	8.8 m	9,8	13	1115	~ 20	75,42963961	132,7322896
			022.32157°		10	16			78,53981634	201,0619298
					7	9			38,48451001	63,61725124
					7,5	11			44,17864669	95,03317777
					10,5	17			86,59014751	226,9800692
									323,2227602	719,4247177

Total	Compartm. 1	Compartm. 2	Compartm. 3	Compartm. 4	Compartm. 5	Compartm. 6	Compartm. 7	Compartm. 8	Compartm. 9	Compartm. 10
	Leaves <1cm	Br. 1 - 4 cm	Br. 4 - 7 cm	Br. 7 - 10 cm	Br. 10 - 20 cm	Br. > 20 cm	Trunk	Rts. <1.5 cm	Rts. 1.5 - 5 cm	Rts. > 5 cm
	19,4	41,6	48,4	65,2	28,8		15	3	6,2	37,4
	19,4	41,6	48,4	65,2	28,8	0	15	3	6,2	37,4

AGB 218,4

BGB 46,6

fresh biomass

FG 265

Samples fresh

1	617	2185	222	821	1139		0	490	80	202
2			359	714	906				54	213
3			251	405	289				117	219

Total 617 2185 832 1940 2334 0 0 490 251 634

Density		12	28	75	280					
---------	--	----	----	----	-----	--	--	--	--	--

Samples dry

1	377	1282	142	583	817			329	49	112
2			254	492	574				33	115
3			146	257	197				67	131

dry biomass	11,85380875	24,40787185	31,11851925	44,20023521	19,51210423		9,872738306	2,014285714	3,71227208	21,10027047
-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	--	-------------	-------------	------------	-------------

dry TOTAL AGB 140,9652776

BGB 26,82682827

dry biomass TG 167,7921059

rsf 19,03080583

Anhang 1

Location	Stand	Tree	Coordinate	Hight	BHD	GHD	H.B.G	Age	G _{BHD}	G _{GHD}
Males	1	1	41.56481°	10.2 m	8,6	11,6	1187	~ 25	58,08804816	105,6831769
			022.84834°		7,5	10,4			44,17864669	84,94866535
					7,3	6,6			41,85386813	34,211944
									0	0
									0	0
									144,120563	224,8437862

	Compartm. 1	Compartm. 2	Compartm. 3	Compartm. 4	Compartm. 5	Compartm. 6	Compartm. 7	Compartm. 8	Compartm. 9	Compartm. 10
	Leaves <1cm	Br. 1 - 4 cm	Br. 4 - 7 cm	Br. 7 - 10 cm	Br. 10 - 20 cm	Br. > 20 cm	Trunk	Rts. <1.5 cm	Rts. 1.5 - 5 cm	Rts. > 5 cm
Total	10,2	19	40,8	17,4	3		9,8	3,6	7,4	13,8
	10,2	19	40,8	17,4	3	0	9,8	3,6	7,4	13,8

	AGB	100,2		BGB	24,8
--	-----	-------	--	-----	------

fresh biomass	FG	125
---------------	----	-----

Samples										
1	620	949	298	427	1087			393	72	229
2			164	461	873				64	362
3			207	484	756				63	640
Total	620	949	669	1372	2716	0	0	393	199	1231

Samples dry	1	345	550	178	269	747		265	38	132
	2			92	261	553			38	206
	3			115	280	449			36	360

dry biomass	5,675806452	11,01159115	23,30831378	10,29296709	1,914575736		5,86297668	2,427480916	4,175958995	7,856707942
-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	--	------------	-------------	-------------	-------------

	AGB	58,06623089		BGB	14,46014785
--	-----	-------------	--	-----	-------------

	TG	72,52637874
--	----	-------------

rsf	24,90285254
-----	-------------

Anhang 1

Location	Stand	Tree	Coordinate	Hight	BHD	GHD	H.B.G	Age	G _{BHD}	G _{GHD}
Males	1	2	41.56674°	9.9 m	8	11,6	1195	~ 25	50,26548246	105,6831769
			022.84728°		10,8	14,9			91,60884178	174,3662463
					10,1	14,6			80,11846665	167,4154725
									0	0
									0	0
									221,9927909	447,4648956

	Compartm. 1	Compartm. 2	Compartm. 3	Compartm. 4	Compartm. 5	Compartm. 6	Compartm. 7	Compartm. 8	Compartm. 9	Compartm. 10
	Leaves <1cm	Br. 1 - 4 cm	Br. 4 - 7 cm	Br. 7 - 10 cm	Br. 10 - 20 cm	Br. > 20 cm	Trunk	Rts. <1.5 cm	Rts. 1.5 - 5 cm	Rts. > 5 cm
	19	41,2	27	54	24,2		10,1	3	6,6	30
Total	19	41,2	27	54	24,2	0	10,1	3	6,6	30

	AGB	175,5		AGB	39,6
--	-----	-------	--	-----	------

fresh biomass	FG	215,1
---------------	----	-------

Samples										
1	541	753	372	776	1387			520	102	167
2			226	496	1676				40	240
3			171	378	1170				78	149
Total	541	753	769	1650	4233	0	0	520	220	556

Samples dry	1	337	444	226	477	845		334	54	95
	2			129	331	1108			23	134
	3			98	223	712			43	84

dry biomass	11,83548983	24,29322709	15,76280481	33,69557738	15,15624552		6,152833265	1,926923077	3,642526395	16,90953998
-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	--	-------------	-------------	-------------	-------------

dry TOTAL	AGB	106,8961779		BGB	22,47898945
-----------	-----	-------------	--	-----	-------------

dry biomass	TG	129,3751674
-------------	----	-------------

rsf	21,02880561
-----	-------------

Anhang 1

Location	Stand	Tree	Coordinate	Hight	BHD	GHD	H.B.G	Age	G _{BHD}	G _{GHD}
Males	2	1	41.63517°	19.4m	11,8	16,8	1245	~ 45	109,3588403	221,6707776
			022.93116°		12,6	18,2			124,6898124	260,1552876
									0	0
									0	0
									0	0
									234,0486527	481,8260653

Compartm. 1	Compartm. 2	Compartm. 3	Compartm. 4	Compartm. 5	Compartm. 6	Compartm. 7	Compartm. 8	Compartm. 9	Compartm. 10
Leaves <1cm	Br. 1 - 4 cm	Br. 4 - 7 cm	Br. 7 - 10 cm	Br. 10 - 20 cm	Br. > 20 cm	Trunk	Rts. <1.5 cm	Rts. 1.5 - 5 cm	Rts. > 5 cm
13,6	26,8	17,6	86,4	66,2		3,2	2	8,8	17,6
				79,2					
13,6	26,8	17,6	86,4	145,4	0	3,2	2	8,8	17,6

AGB	293	BGB	28,4
-----	-----	-----	------

fresh biomass	FG	321,4
---------------	----	-------

Samples										
1	290	1012	170	410	1179			384	128	217
2			227	400	546				42	261
3			143	512	765				36	275
									32	
Total	290	1012	540	1322	2490	0	0	384	206	753

Samples dry	1	221	564	88	219	741		222	72	122
	2			130	210	302			19	137
	3			83	301	457			19	152
									16	
dry biomass	10,36413793	14,93596838	9,801756002	47,43466463	86,22209831	0	1,809312315	1,15625	4,525132275	9,620415017

AGB	170,5679376	TG	15,30179729
-----	-------------	----	-------------

TG	185,8697349
----	-------------

rsf	8,971086542
-----	-------------

Anhang 1

Location	Stand	Tree	Coordinate	Hight	BHD	GHD	H.B.G	Age	G _{BHD}	G _{GHD}
Males	3	1	41.76422°	15.4 m	12,5	17,3	1525	~ 65	122,718463	235,0618163
			022.98137°		11,7	15,5			107,5131546	188,6919088
					8,5	14,8			56,74501731	172,0336137
					5,7	7,2			25,51758633	40,71504079
					4,2	5,5			13,8544236	23,75829444
									326,3486449	660,260674

Compartm. 1	Compartm. 2	Compartm. 3	Compartm. 4	Compartm. 5	Compartm. 6	Compartm. 7	Compartm. 8	Compartm. 9	Compartm. 10
Leaves <1cm	Br. 1 - 4 cm	Br. 4 - 7 cm	Br. 7 - 10 cm	Br. 10 - 20 cm	Br. > 20 cm	Trunk	Rts. <1.5 cm	Rts. 1.5 - 5 cm	Rts. > 5 cm
13,6	35,4	44,6	72,4	84,6		18,6	6,6	10,6	30,4
Total	13,6	35,4	44,6	72,4	84,6		18,6	6,6	30,4

AGB	269,2	BGB	47,6
-----	-------	-----	------

fresh biomass TOTAL 316,8

Samples	1	438	816	475	882	812		482	135	245
	2			418	538	877			66	147
	3			327	560	827			50	112

Total	438	816	1220	1980	2516	0	0	482	251	504
-------	-----	-----	------	------	------	---	---	-----	-----	-----

Density									88	182
---------	--	--	--	--	--	--	--	--	----	-----

Samples dry	1	245	461	259	531	493		277	79	147
	2			234	328	520			38	87
	3			189	376	489			26	64

dry biomass	7,607305936	19,99926471	25,0213942	45,44632021	50,51655321	0	11,01586182	3,792946058	5,939331089	17,8677551
-------------	-------------	-------------	------------	-------------	-------------	---	-------------	-------------	-------------	------------

AGB	159,6067001	BGB	27,60003225
-----	-------------	-----	-------------

dry biomass TG 187,2067323

rsf (%)	17,29252734
---------	-------------

Anhang 1

Location	Stand	Tree	Coordinate	Hight	BHD	GHD	H.B.G	Age	G _{BHD}	G _{GHD}
Males	3	2	41.76435°	14.6 m	7,5	10,1	1512	~ 45	44,17864669	80,11846665
			022.98185°		8,5	11,7			56,74501731	107,5131546
					14,5	22,9			165,1299639	411,8706509
									0	0
									0	0
									266,0536279	599,5022721

Compartm. 1	Compartm. 2	Compartm. 3	Compartm. 4	Compartm. 5	Compartm. 6	Compartm. 7	Compartm. 8	Compartm. 9	Compartm. 10
Leaves <1cm	Br. 1 - 4 cm	Br. 4 - 7 cm	Br. 7 - 10 cm	Br. 10 - 20 cm	Br. > 20 cm	Trunk	Rts. <1.5 cm	Rts. 1.5 - 5 cm	Rts. > 5 cm
11,6	28	41,8	44,8	89,4		21,4	3,2	11,8	32
Total	11,6	28	41,8	44,8	89,4	21,4	3,2	11,8	32

AGB	237	BGB	47
-----	-----	-----	----

fresh biomass

FG	284
----	-----

Samples

1	527	753	317	501	800		536	86	187
2			213	721	598			40	318
3			342	527	821			106	88

Total	527	753	872	1749	2219	0	0	536	232	593
-------	-----	-----	-----	------	------	---	---	-----	-----	-----

Density		46	244	826	1453					
---------	--	----	-----	-----	------	--	--	--	--	--

Samples dry

1	313	444	194	322	477		289	47	99
2			121	415	373			19	174
3			204	335	478			56	47

dry biomass	6,889563567	16,50996016	24,75331526	27,6860663	53,70593632	0	12,88790485	1,725373134	6,095933158	17,18050651
-------------	-------------	-------------	-------------	------------	-------------	---	-------------	-------------	-------------	-------------

AGB	142,4327465	BGB	25,0018128
-----	-------------	-----	------------

dry biomass

TG	167,4345593
----	-------------

rsf (%)	17,55341621
---------	-------------

Anhang 2

Density Kočani

Compartment	D2	D3	D4	D5	D6	D9	D10
Volume (cm ³)	10	55	73	284	2035	53	242
		25					

Drymass (g)	6	34	43	177	1121	27	141
		15					

Density (g/cm ³)	0,6	0,61818182	0,5890411	0,62323944	0,55085995	0,50943396	0,58264463
		0,6					

Ø Density (g/cm³)	0,58417511
-------------------	------------

Density Males

Compartment	D2	D3	D4	D5	D6	D9	D10
Volume (cm ³)	48	259	857	1469	NA	95	185

Drymass (g)	26	145	466	888	NA	50	105
-------------	----	-----	-----	-----	----	----	-----

Density (g/cm ³)	0,54166667	0,55984556	0,54375729	0,60449285	NA	0,52631579	0,56756757
------------------------------	------------	------------	------------	------------	----	------------	------------

Ø Density (g/cm ³)	0,55727429
--------------------------------	------------